



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 166

Харків 2016

УДК 656.2(062)

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

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

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

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

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

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

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

Реферативна база

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

ISSN (p) 1994-7852

ISSN (online) 2413-3795

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Друкується за рішенням вченої ради університету, протокол № 9 від 20 грудня 2016 р.

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

Редакційна колегія

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

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

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

ISSN 1994-7852

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

© Український державний університет
залізничного транспорту, 2016

ЗМІСТ

<i>Стороженко Л. І., Давиденко Ю. О., Горб О. Г.</i> Застосування керованих вібрацій при влаштуванні клейових з'єднань сталі та бетону	5
<i>Даниленко А. В., Ксёнишевич Л. Н.</i> Влияние молотого известняка и механоактивации на эффективную вязкость цементных суспензий	12
<i>Мурадян Л. А.</i> Граничний ресурс вагона в процесі експлуатації	17
<i>Огар О. М., Дребот М. С., Мумінов А. Б.</i> Математична модель визначення раціонального місця розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у великому залізничному вузлі	23
<i>Мороз В. І., Братченко О. В., Тищенко В. С.</i> Геометрична модель механізму привода клапанів тепловозного дизеля Д49	30
<i>Шаповалов А. Н., Руденко В. В.</i> Теоретические основы обеспечения надежности многоэтажных железобетонных каркасных зданий в случае прогрессирующего обрушения	38
<i>Кичаева О. В.</i> Оценка влияния динамического действия транспорта на систему «основание – фундамент – реконструируемое здание»	47
<i>Мамонов К. А., Нестеренко С. Г., Вяткін К. І., Угоднікова О. І.</i> Геоінформаційні системи в землеустрої: напрями, особливості та практика застосування в міському середовищі	60
<i>Шаповал Г. В., Шелехань Г. І., Занік І. В.</i> Дослідження впливу поїздоутворення на ефективність сортувального процесу	68
<i>Крот О. П., Ровенський О. І., Конєв В. В.</i> Експериментальні дослідження методів зменшення викидів від процесів термічного знешкодження побутових відходів	78
<i>Розсоха О. В., Берестов І. В., Шаповал Г. В., Мамедов З. З.</i> Визначення оптимальних конструктивних параметрів роз'язок колій в залізничних вузлах	87
<i>Бондаренко В. В., Скуріхін Д. І., Мельник Я. П.</i> Притрій акустичного контролю колісних пар на основі мікроконтролера	97
<i>Крот О. Ю., Вінниченко В. І., Савченко О. Г., Супряга Д. В., Ручка А. В.</i> Експериментальні дослідження процесу активації матеріалу у вібраційно-валковому переробнику	103
<i>Винниченко В. І., Крот А. Ю., Вищенко Н. Ю.</i> Использование извести при изготовлении прессованных силикатных изделий	113
<i>Павишенко А. В., Карпенко Н. П.</i> Нова конструкція каретки струмознімального пристрою для швидкісного електротягового рухомого складу	118
<i>Ломотько Д. В., Носко Н. А.</i> Методи удосконалення роботи залізничних станцій з невеликим обсягом роботи шляхом залучення додаткових вантажів	123
<i>Семененко Ю. А.</i> Стабилизация и активная фильтрация выпрямленного напряжения в замкнутой структуре	131
<i>Арсененко Д. В.</i> Розробка оптимальної моделі управління рухомим складом оператором інфраструктури в ринкових умовах розвитку галузі	141
<i>Левенко А. М.</i> Исследование возможности закрепления песчаных и пылевато-глинистых грунтов силикатизацией	149

<i>Александрович В. А.</i> Влияние параметров динамической нагрузки на деформацию грунтового основания	156
<i>Котенко А. М., Шевченко В. І.</i> Зовнішньоекономічна діяльність на засадах глобальної логістики	162
<i>Рудковський О. В., Калабухін Ю. Є.</i> Обґрунтування вибору варіанту оновлення локомотивів з урахуванням життєвого циклу	172
<i>Харламов П. О., Деміденко А. А.</i> Обґрунтування профілю колісних пар для високошвидкісних поїздів	179
<i>Фалендиш А. П., Клецька О. В., Бітюра Є. А.</i> Модель розрахунку твердопаливного котла невеликої потужності	184

УДК 624.016:621.792-26

ЗАСТОСУВАННЯ КЕРОВАНИХ ВІБРАЦІЙ ПРИ ВЛАШТУВАННІ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ СТАЛІ ТА БЕТОНУ

Д-р техн. наук Л. І. Стороженко, кандидати техн. наук Ю. О. Давиденко, О. Г. Горб

ПРИМЕНЕНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ ВИБРАЦИЙ ПРИ УСТРОЙСТВЕ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛИ И БЕТОНА

Д-р техн. наук Л. И. Стороженко, кандидаты техн. наук Ю. А. Давиденко, А. Г. Горб

APPLICATION OF CONTROLLED VIBRATIONS DURING FORMATION OF ADHESIVE CONNECTIONS OF STEEL AND CONCRETE

Dr. sc. sciences L. I. Storogenko, phd. tehn. Y. O. Davydenko, O. H. Horb

Виконано дослідження проблеми забезпечення сумісної роботи сталі та бетону в сталезалізобетонних конструкціях із застосуванням клейових з'єднань. Виявлено особливості роботи і руйнування цих елементів, а також фактори, що впливають на їх несучу здатність. Для мінімізації факторів, що знижують міцність клейових з'єднань, запропоновано застосування керованих вібрацій, які мають позитивний вплив на фізико-механічні властивості з'єднання і бетонного блока.

Ключові слова: сталезалізобетонний елемент, клейове з'єднання, навантаження, несуча здатність, керовані вібрації.

Выполнены исследования проблемы обеспечения совместной работы стали и бетона в сталежелезобетонных конструкциях с применением клеевых соединений. Выявлены особенности работы и разрушения этих элементов, а также факторы, влияющие на их несущую способность. Для минимизации факторов, снижающих прочность клеевых соединений, предложено применение управляемых вибраций, которые оказывают положительное влияние на физико-механические свойства соединения и бетонного блока.

Ключевые слова: сталежелезобетонной элемент, клеевое соединение, нагрузки, несущая способность, управляемые вибрации.

The article presents results of experimental research on the composite steel and concrete elements in which joint work of steel and concrete is provided with gluing. Tests conducted to determine the features of work, breaking and bearing capacity of elements. Problems of providing joint work of the steel and concrete in composite steel and concrete structures using glue joints were identified. Application of controlled vibrations that have a positive effect on physical and mechanical properties of the connection and concrete block for minimization of factors that reduce the strength of glue joints was proposed. The results of experiments with non-stationary modes of compaction concrete mixtures were researched. Optimal amplitude-frequency characteristics of controlled vibrations were discovered. Modern types of mobile vibrating equipment were researched. Schemes of entering vertical and horizontal elements of composite steel and concrete bearing and protecting structures in non-stationary vibration field were proposed.

Keywords: composite steel and concrete element, glutinous connection, loading, bearing capacity, controlled vibrations.

Вступ. Із року в рік розширюється асортимент залізобетонних, сталезалізобетонних та інших композитних будівельних конструкцій, оскільки складна економічна ситуація вимагає мінімізації вартості, зниження витрат матеріалів та трудомісткості при зведенні будівель і споруд. Із моменту утворення окремого класу конструкцій сталезалізобетон, у результаті постійного вдосконалення, і сьогодні відповідає цим вимогам повною мірою, оскільки дає можливість найбільш раціонально поєднати сталь та бетон шляхом максимально відокремленого застосування в розтягнутій і стиснутій зонах перерізу. Проте розробники цих конструкцій постійно стикаються з проблемою забезпечення сумісної роботи їх складових частин. Останнім часом набуває поширення застосування клеїв при виготовленні та реконструкції несучих композитних конструкцій для забезпечення сумісної роботи сталі та бетону (навіть у вигляді рухомої бетонної суміші). Найефективнішими в цих випадках виявляються акрилові та епоксидні клеї. Однак досвід їх застосування виявив ряд недоліків влаштування клейових з'єднань, зокрема утворення пустот на межі контакту сталі з бетоном. Отже, виникає необхідність у пошуках шляхів усунення факторів, що знижують міцність клейових з'єднань сталі і свіжоукладеної бетонної суміші.

Не розв'язаною раніше частиною проблеми було визначення механічних способів усунення браку під час приклеювання акриловими клеями свіжоукладеної бетонної до сталеві опалубки при виготовленні несучих конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Протягом останніх років дослідження клейових з'єднань сталі та бетону [1-4] значно розширили їх сферу застосування (від замонолічування анкерних болтів і підсилення залізобетонних елементів до приклеювання


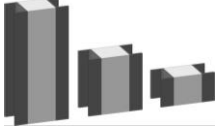
свіжоукладеної бетонної суміші до сталеві опалубки). Експериментально доведено значну перевагу поміж усіх клеїв, що застосовуються в будівництві, саме акрилових. Ці клеї прості і надійні у приготуванні та застосуванні за рахунок низької в'язкості, яка не залежить від температури навколишнього середовища, добре укладаються, довговічні. Влаштування клейових з'єднань у порівнянні навіть з останніми розробками традиційних анкерних засобів [5-7] є менш матеріалозатратним і трудомістким, а також не потребує високої кваліфікації робітників. Проте було виявлено ряд факторів, що можуть істотно знизити очікувану міцність з'єднання і виробу в цілому, зокрема утворення пустот на межі контакту сталі, клею та бетону, а також у бетоні у прикордонній зоні зі з'єднанням. Таким чином, виникає необхідність у виявленні дешевих та універсальних способів [8, 9] ліквідації факторів, що негативно впливають на несучу здатність елементів з клейовим з'єднанням сталі та бетону.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою написання статті є обґрунтування застосування технології керованих вібрацій для поліпшення якості клейового з'єднання свіжоукладеної бетонної суміші зі сталеві опалубкою і міцності затверділого бетону.

Основна частина дослідження. Попередні експериментальні дослідження клейових з'єднань при роботі на розтяг та зріз дали можливість визначити їх несучу здатність, вплив складу клею на особливості сумісної роботи сталі та бетону, характер руйнування дослідних зразків.

Зазначені результати (див. таблицю) були отримані при випробуванні сталезалізобетонних елементів, що працюють на розтяг та стиск, із використанням різних геометричних характеристик, бетонних сумішей за класом міцності та акрилових клеїв різного складу.

Несуча здатність дослідних елементів

Зразок (Р – робота клейового з'єднання на розтяг; З – зріз)	Несуча здатність клейового з'єднання		Розбіжність, %	
	нормативне значення, МПа	клейове з'єднання, МПа		
	Р-1	2,04	1,71	16
	Р-2	2,75	2,11	23
	Р-3	3,39	2,94	13
	З-100	5,5	3,79	31
	З-200		3,52	36
	З-400		3,49	37

Дослідні зразки, що працювали на розтяг, склалися з бетонних кубів розміром $100 \times 100 \times 100$ мм, відрізків сталевих прокатних швелерів № 10 довжиною 100 мм, до яких приклеєний акриловим клеєм протилежними гранями куб зі свіжоукладеної бетонної суміші. У зв'язку з особливостями випробування зразків на розтяг посередині стінки швелера приварювалися сталеві стержні діаметром 28 мм та довжиною 300 мм. Розтягнуті зразки відрізнялися між собою складом застосованої для їх виготовлення бетонної суміші.

Стиснуті зразки являли собою бетонні куби та призми, які під час твердіння з двох боків приклеювалися до відрізків швелерів відповідної їм довжини. Куби мали розмір $100 \times 100 \times 100$ мм; призми: $100 \times 100 \times 200$, $100 \times 100 \times 400$ мм. Відрізки прокатного сталевих швелерів № 10 довжиною 100, 200, 400 мм розміщувалися з двох протилежних граней бетонних елементів. Особливістю виготовлення зразків є умови їх бетонування в горизонтальному положенні з використанням, як незнімної опалубки відрізків швелера. Відрізнялися стиснуті елементи один від одного геометричними характеристиками, тобто у зразка З-100 куб має висоту 100 мм, у З-200 призма – 200 мм, у З-400 – 400 мм.

Для влаштування клейового з'єднання використовувався двокомпонентний (полімерне в'язуче, затверджувач) акриловий клей із наповнювачем. Найоптимальнішим складом клею для проведення будівельних робіт є: 100 мас-частин полімеру, 100 мас-частин затверджувача, 200 мас-частин наповнювача у вигляді кварцового піску із крупністю зерен 0,315 мм.

Недоліком влаштованих клейових з'єднань було недосконале укладання клейової суміші, яка внаслідок сильної дії поверхневого натягу намагається звернутися, що призводило до утворення «раковин» у тілі шва (рис. 1). Це явище знижує несучу здатність з'єднання, що і показала розбіжність експериментальних і теоретичних результатів. Навіть при ретельному ручному укладанні клейової суміші через кілька хвилин після введення наповнювача не вдалося використати поверхню контакту в повній мірі.

Багато років тому фахівцями, які розробляли і створювали вібраційну техніку, було помічено, що змінні амплітудно-частотні режими ущільнення бетону призводять до суттєвого збільшення міцності бетонних виробів. Також було виявлено, що нестационарні режими віброобробки різноманітних середовищ є більш енергонасиченими порівняно з

усталеними стаціонарними режимами. Це доводить, що їх використання в технологічних цілях дозволить підвищити

механічні властивості оброблюваних матеріалів.

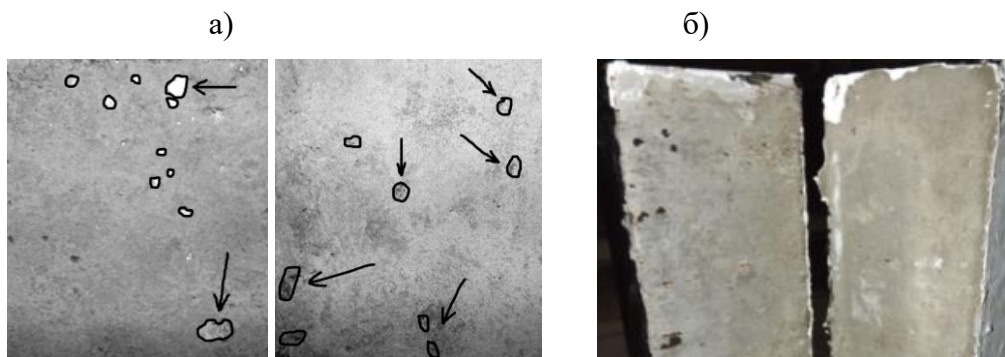


Рис. 1. Поверхні сталі (ліворуч) та бетону після руйнування зразків, які працюють: на розтяг (а); стиск (б)

Досліджуючи вплив нестационарних режимів ущільнення на міцність бетонних виробів, були використані шість різних за формою (рис. 2) вібраційних режимів, що реалізовувались на керованій вібраційній машині. Час вібраційної дії змінювався від

30 до 210 секунд, частота коливань складала 29,5 Гц, а величини амплітуди змінювалась так, щоб забезпечити максимальне прискорення робочого органа $W_{max}=2,67g$ і мінімальне прискорення $W_{min}=2g$, де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

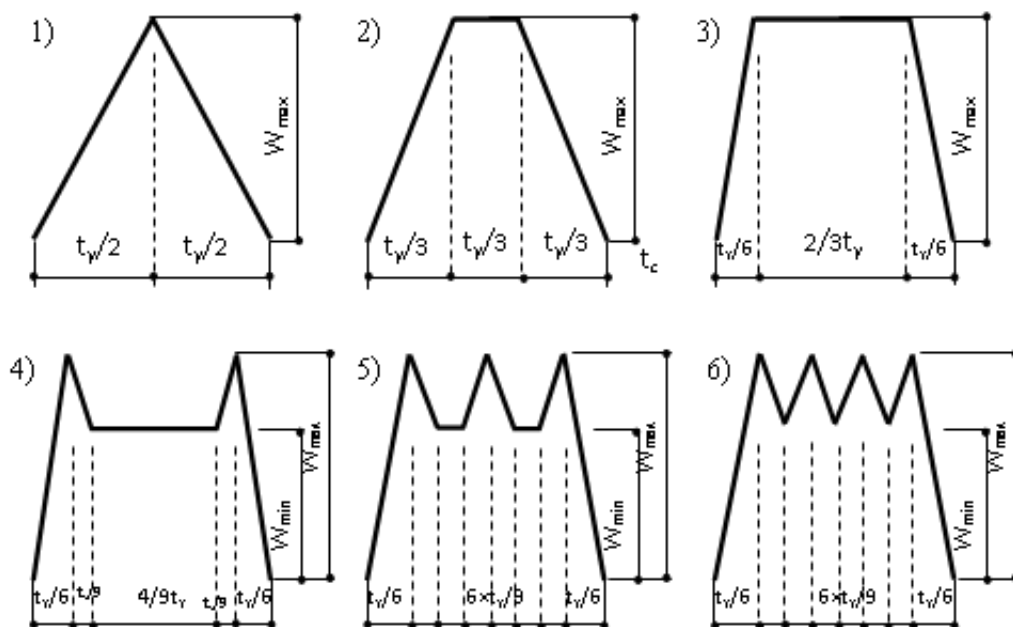


Рис. 2. Нестационарні режими віброущільнення

Для оцінки ефективності кожного режиму виготовлялись бетонні кубики розміром $10 \times 10 \times 10$ см, за допомогою яких визначалась міцність бетону на стиск у віці 28 діб. Кожний дослід повторювався 6-8 разів. Результати досліджень наведені на рис. 3.

Найкращі результати отримані для п'ятого режиму ущільнення. Максимальне значення міцності склало 15,03 МПа при

тривалості ущільнення 90 секунд. Для ретельнішого дослідження цього режиму слід застосовувати метод математичного планування експерименту, а саме п'ятифакторний план, що враховує три рівні зміни кожного фактора: верхньої межі прискорення, нижньої межі прискорення, часу ущільнення, часу досягнення верхньої межі прискорення та часу зміни амплітуди коливань.

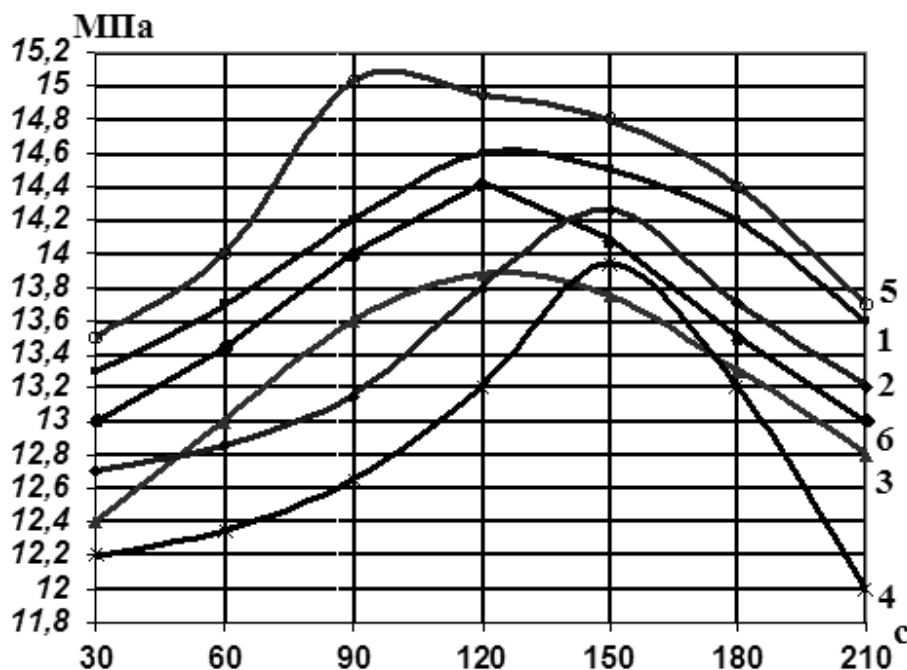


Рис. 3. Залежність міцності бетонних елементів від тривалості та режиму ущільнення

Головною складністю запропонованого методу ущільнення свіжоукладеної бетонної суміші під час приклеювання її до незнімної опалубки є розроблення способів внесення елементів несучих конструкцій у нестационарне вібраційне поле (рис. 4-5). Оскільки більшість сучасних вібраційних установок є громіздкими і, в переважній більшості, стаціонарними, то актуальним стає пошук малогабаритних мобільних вібраційних пристроїв.

Вирішити поставлену задачу можливо з використанням останніх розробок вібраційного устаткування кафедри будівельної та теоретичної механіки

Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, які дають можливість доставити джерело вібрацій до оброблюваного середовища за допомогою пересувних швидкокомтованих риштувань та розширити поле дії, застосовуючи віброрейки у випадку влаштування горизонтальних сталезалізобетонних елементів. Вертикальні конструктивні елементи доцільно ущільнювати із застосуванням мобільних керованих дебалансних вібраторів, із симетричним чи асиметричним розміщенням, з подальшим пересуванням по висоті.

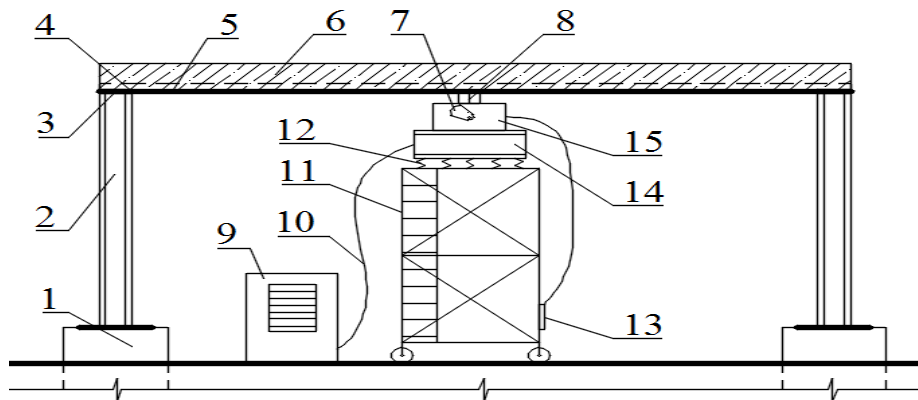


Рис. 4. Схема процесу застосування керованих вібрацій при влаштуванні сталезалізо-бетонних горизонтальних елементів: 1 – фундамент; 2 – колона; 3 – торцеве зовнішнє армування сталевими кутиками; 4 – незнімна сталева опалубка; 5 – шар клею; 6 – бетонний блок; 7 – вал з дебалансами; 8 – вібраційна рейка; 9 – мобільне джерело живлення; 10 – силовий кабель; 11 – пересувне риштування; 12 – амортизатор; 13 – пульт керування; 14 – електродвигун; 15 – джерело керованих вібрацій

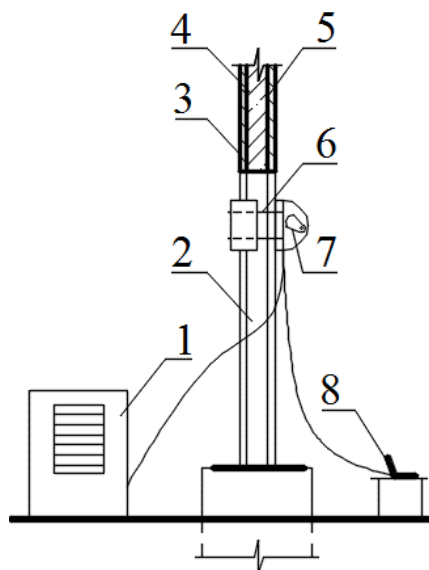


Рис. 5. Схема процесу застосування керованих вібрацій при влаштуванні сталезалізо-бетонних вертикальних елементів: 1 – мобільне джерело живлення; 2 – колона; 3 – незнімна сталева опалубка; 4 – шар клею; 5 – бетонний блок; 6 – кріплення вібробуджувального обладнання; 7 – джерело керованих вібрацій; 8 – пульт керування

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Прийнята методика забезпечення сумісної роботи сталі та бетону шляхом приклеювання свіжоукладеної бетонної суміші до сталевій незнімній опалубки довела свою

доцільність під час досліджень. Її подальше вдосконалення можливе при застосуванні нестационарних режимів віброущільнення при влаштуванні клейового шва. Оскільки керовані вібрації підвищують міцнісні характеристики готових бетонних виробів у 1,5 разу, то і несуча здатність клейових

з'єднань буде зростати за рахунок міцності бетону і видалення повітря на межі контакту сталь-бетон. Подальші дослідження мають бути спрямовані на

виявлення оптимальних амплітудно-частотних характеристик керованих механічних вібрацій для підвищення якості сталезалізобетонних виробів.

Список використаних джерел

1. Стороженко, Л. І. Конструкції залізобетонних перекриттів по профільному настилу із забезпеченням сумісної роботи бетону і сталі за допомогою склеювання [Текст] / Л. І. Стороженко, О. І. Лапенко, О. Г. Горб // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2010. – № 662. – С. 360–365.
2. Стороженко, Л. І. Міцність клейкових з'єднань сталі та бетону [Текст] / Л. І. Стороженко, П. С. Білокуров, О. Г. Горб // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 149. – С. 113–118.
3. Kachan, T. Experience of using adhesive bonding for strengthening of reinforced building structures in world practice [Text] / Kachan T., Bilokurov P., Mashkova A., Gorb O. // Problems of Energy Saving and Nature Use 2013. – Budapest, 2014. – P. 59–64.
4. Zolotov, S. Adhesive on the Basis of Acrylic Compound to Join Concrete and Reinforced Concrete Elements [Text] / Zolotov S. // Science, Education and Society II International Scientific Conference University of Zilina. – Zilina, 2003. – Part I. – P. 319–322.
5. Лапенко, О. І. Залізобетонні конструкції з робочим армуванням незнімною опалубкою [Текст] / О. І. Лапенко. – Полтава: АСМІ, 2009. – 360 с.
6. Namdeo, Adkuji Hedaoo Design of composite slabs with profiled steel decking: a comparison between experimental and analytical studies [Text] / Namdeo Adkuji Hedaoo // International Journal of Advanced Structural Engineering. – 2012. – № 3. – P. 118–133.
7. Nathan, de Wit Composite Structural Steel and Prestressed Concrete Beam for Building Floor Systems [Text] / Nathan deWit – Lincoln: University of Nebraska, 2012. – 112 p.
8. Сердюк, Л. І. Керовані вібраційні машини з дебалансними збуджувачами [Текст] / Л. І. Сердюк, О. М. Черевко, Ю. О. Давиденко. – Полтава: ТОВ "АСМІ", 2013. – 370 с.
9. Navvab, Shafiei Vibration behavior of a rotating non-uniform FG microbeam based on the modified couple stress theory and GDQEM [Text] / Navvab Shafiei, Alireza Mousavi, Majid Ghadiri // Composite Structures. – Elsevier BV, 2016. – Vol. 149. – P. 157–169.

Стороженко Леонід Іванович, д-р техн. наук, професор кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Давиденко Юрій Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельної та теоретичної механіки Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Горб Олександр Григорович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри будівельної та теоретичної механіки Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Тел.: (066) 687-08-06. E-mail: olhorb@gmail.com.

Storogenko Leonid Ivanovich, d-r of techn. sciences, prof. at the chair of "Metal, Timber and Plastic Structures", Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University.

Davydenko Yurii Oleksandrovich, ph. doct. of techn. sciences, docent at the chair of "Building and Theoretical Mechanics", Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University.

Horb Olexandr Hrigorovich, ph. doct. of techn. sciences, senior lecturer at the chair of "Building and Theoretical Mechanics", Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Tel.: (066) 687-08-06. E-mail: olhorb@gmail.com.

Стаття прийнята 08.11.2016 р.

УДК 691.53

ВЛИЯНИЕ МОЛОТОГО ИЗВЕСТНЯКА И МЕХАНОАКТИВАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНУЮ ВЯЗКОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ СУСПЕНЗИЙ

Кандидаты техн. наук А. В. Даниленко, Л. Н. Ксёншкевич

ВПЛИВ МЕЛЕНОГО ВАПНЯКУ ТА МЕХАНОАКТИВАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНУ В'ЯЗКІСТЬ ЦЕМЕНТНИХ СУСПЕНЗІЙ

Кандидати техн. наук А. В. Даниленко, Л. М. Ксьоншкевич

THE INFLUENCE OF GROUND LIMESTONE AND MECHANOACTIVATION ON EFFECTIVE VISCOSITY OF CEMENT SUSPENSIONS

Cand. of techn. sciences A. Danilenko, L. Ksenschkevich

В статье рассматриваются вопросы влияния режимов механоактивации, количества молотого известняка и С-3 на смену эффективной вязкости суспензии вяжущего. Обнаружен синергетический эффект снижения вязкости цементосодержащих суспензий с добавкой молотого известняка при совместном действии на них скоростного смешения и суперпластификатора С-3. Проведенный эксперимент позволил установить оптимальные режимы активации цементосодержащих суспензий с добавкой молотого известняка, обеспечивающей предельно возможное разрушение начальной структуры системы.

Ключевые слова: механоактивация, молотый известняк, портландцемент, эффективная вязкость, скоростное смешение, синергизм.

У статті розглядаються питання впливу режимів механоактивації, кількості меленого вапняку та суперпластифікатора С-3 на зміну ефективної в'язкості суспензії в'язучого. Виявлений синергетичний ефект зниження в'язкості цементовмісних суспензій з добавкою меленого вапняку при спільній дії на них швидкісного змішування і суперпластифікатора С-3. Проведений експеримент дозволив встановити оптимальні режими активації цементовмісних суспензій з добавкою меленого вапняку, що забезпечує гранично-можливе руйнування початкової структури системи.

Ключові слова: механоактивація, мелений вапняк, портландцемент, ефективна в'язкість, швидкісне змішування, синергізм.

The paper examines the influence of mechanical activation modes, the amount of ground limestone and C-3 to replace the effective viscosity of the binder suspension. Discovered synergistic effect of reducing the viscosity of the cement suspensions with the addition of ground the limestone in the joint action of high-speed mixing and superplasticizer C-3. The experiment has allowed to establish the optimal activation regimes cement-containing suspensions with the addition of ground limestone, which provides the maximum destruction of primary structure of the system.

Key words: mechanoactivation, of ground limestone, Portland cement, effective viscosity, high-speed mixing, synergy.

Введение. К растворным смесям предъявляются достаточно жесткие требования по подвижности, расслаиваемости,

водоудерживающей способности. Как известно, управлять реологическими свойствами можно за счет использования

тонкомолотых минеральных добавок [1,2], использования поверхностно-активных веществ [3], активации вяжущих [4,5,6].

Минеральные добавки целенаправленно используются в портландцементе в течение многих десятилетий для улучшения качества бетонов и растворов.

Вторым по значимости методом повышения качества строительных материалов является применение механохимической активации минеральных вяжущих, подтверждено работами И. Барабаша [4,6], С.И. Федоркина [5] и др.

Представляло интерес изучить совместное влияние концентрации молотого известняка в портландцементе, содержание суперпластификатора С-3 и механоактивации на изменение эффективной вязкости цементосодержащих суспензий.

Анализ последних исследований и публикаций. Известняк-ракушечник является распространенным природным камнем в южном регионе Украины, при этом отходы его камнепиления доступны и дешевы. Являясь относительно малопрочным материалом, он легко подвергается помолу, что позволяет использовать его в качестве минеральной добавки к портландцементу [7,8]. На данный момент накоплен достаточно существенный опыт по применению молотого известняка в строительных материалах и конструкциях [7-11]. Известно, что тонкодисперсные частицы известняка могут выполнять роль смазки, располагаясь в пространстве между зернами цемента [9]. Молотый известняк также способствует улучшению теплотехнических характеристик кладочных и штукатурных растворов [11]. Помимо того, известняк в цементных композициях не полностью инертен. Он химически взаимодействует с минералами цемента, способствуя увеличению прочности контакта между заполнителем и матрицей [9,11].

Определение цели и задач исследований. Цель – выяснить влияние расхода молотого известняка в механоактивированном портландцементе на изменение эффективной вязкости суспензий. Задача исследования – получить синергетический эффект снижения вязкости цементосодержащих суспензий с добавкой молотого известняка при совместном действии на них скоростного смешивания и суперпластификатора С-3.

Основная часть исследований. Известно, что наиболее эффективными технологическими воздействиями на цементные суспензии являются те, которые позволяют достичь предельного разрушения исходной структуры системы, которая характеризуется минимальным показателем ее эффективной вязкости [10]. Одним из путей выполнения данной задачи является применение интенсивных гидродинамических воздействий на суспензии вяжущего в скоростных смесителях-активаторах [4-6].

Для этой цели использовался скоростной трибосмеситель с числом оборотов рабочего органа смесителя 2800 об/мин.

Для приготовления суспензии использовался портландцемент марки 500 и известняк, размолотый до удельной поверхности $400 \text{ м}^2/\text{кг}$. Количество молотого известняка в эксперименте принималось равным 20, 40, 50 и 60 % от массы вяжущего. В качестве контроля использовалась цементная суспензия без добавки молотого известняка. Использовался суперпластификатор С-3 в количестве 0, 0.5 и 1 % от массы вяжущего. Исследованию подвергались суспензии как на механоактивированном вяжущем, так и суспензии, вяжущее которых активации не подвергалось. Время активации цементосодержащих суспензий в эксперименте варьировалось от 0 до 180 с.

Эффективная вязкость цементных суспензий определялась с помощью ротационного вискозиметра с коаксиальными цилиндрами.

Критерием оценки эффективности рецептурно-технологических факторов цементосодержащих суспензий был избран коэффициент K , который определяется как отношение вязкости, которую суспензия получает в результате:

а) только применения скоростного смешивания ($K_{см}$) (1);

б) только введения суперпластификатора С-3 ($K_{ПАВ}$) (2);

в) совместного воздействия на суспензию скоростного смешивания в присутствии добавки С-3 (K_{Σ}^e) (3):

$$K_{см} = \frac{\eta_0}{\eta_{см}} \quad (1)$$

$$K_{ПАВ} = \frac{\eta_0}{\eta_{ПАВ}} \quad (2)$$

$$K_{\Sigma}^e = \frac{\eta_0}{\eta_{см+ПАВ}} \quad (3)$$

где η_0 – эффективная вязкость практически не разрушенной структуры цементосодержащей суспензии, сП; $\eta_{см}$ – эффективная вязкость суспензии (С-3=0 %) после скоростного смешения, сП; $\eta_{ПАВ}$ – эффективная вязкость суспензии (скоростное смешение отсутствует) с содержанием С-3=0.5 %.

Общий анализ экспериментальных данных свидетельствует о влиянии на эффективную вязкость суспензии как времени скоростного смешивания, так и содержания молотого известняка и суперпластификатора С-3. Результаты исследований эффективной вязкости суспензий приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние содержания молотого известняка в портландцементе, концентрации С-3 и времени смешения компонентов на изменение эффективной вязкости (η) суспензии

№ п/п	Портланд-цемент, %	Молотый известняк, %	С-3, %	Время скоростного смешения суспензии, с					
				0	30	60	90	120	150
1	100	0	0	1160	570	550	650	790	840
2	80	20		1350	690	830	975	1000	1035
3	60	40		1515	805	955	980	1005	1045
4	50	50		1555	865	937	955	990	1130
5	40	60		1710	1100	1120	1170	1355	1460
6	100	0	0.5	720	320	336	365	372	380
7	80	20		965	380	408	406	418	425
8	60	40		998	446	430	448	452	446
9	50	50		1005	490	492	513	517	522
10	40	60		1026	526	530	532	540	545
11	100	0	1	520	66	60	75	80	90
12	80	20		556	75	70	77	90	105
13	60	40		590	90	80	85	99	114
14	50	50		670	95	90	95	102	118
15	40	60		756	105	95	105	108	123

Установлено, что введение в цемент молотого известняка приводит к

увеличению эффективной вязкости суспензии с 1160 (известняк = 0 %) до

1710 сП (известняк = 60 %). Введение в суспензию суперпластификатора С-3 (1 %) приводит к снижению эффективной вязкости. В частности, для цементной суспензии без добавки молотого известняка вязкость снизилась с 1160 сП до 520 сП, что почти в два раза. Для цементной суспензии с содержанием молотого известняка равной 60 % эффективная вязкость суспензии при введении 1% С-3 снизилась с 756 до 520 сП.

Представляло интерес выяснить влияние на изменение эффективной вязкости цементосодержащей суспензии совместного воздействия на неё скоростного смешения и суперпластифицирующей добавки С-3. Критерием количественной оценки данного эффекта был принят уровень синергизма (Y_c), определяемый как

отношение реального коэффициента снижения эффективной вязкости (K_{Σ}^{ε}), полученного экспериментальным путем, к его расчетному значению ($K_{\Sigma}^P = K_{cm} \times K_{ПAB}$) из условия аддитивного влияния данных факторов на изменение вязкости (4):

$$Y_c = \frac{K_S^e}{K_S^P} \quad (4)$$

В результате проведенных исследований выявлен значительный синергический эффект снижения вязкости цементных суспензий с добавкой молотого известняка при воздействии на них скоростного смешивания в присутствии суперпластификатора С-3, табл. 2.

Таблица 2

Влияние содержания молотого известняка в портландцементе на изменение уровня синергизма Y_c

Концентрация молотого известняка, %	K_{cm}	$K_{ПAB}$	K_{Σ}^P	K_{Σ}^{ε}	Y_c
0	2,1	2,2	4,3	14,5	3,3
20	2,0	2,4	4,4	15,7	3,6
40	1,9	2,6	4,4	18,9	4,3
50	1,8	2,3	4,1	19,4	4,7
60	1,6	2,3	3,8	20,9	5,5

Согласно данным построен график, отображающий влияние количества молотого известняка на Y_c (рисунок).

Установлено, что уровень синергизма начинает значительно повышаться в цементосодержащих суспензиях с большой концентрацией молотого известняка. Увеличение содержания молотого известняка с 0 до 60 % приводит к увеличению Y_c с 3.3 до 5.5 т.е. больше чем в 1.6 раза.

Выводы из исследования и перспективы дальнейшего развития в данном направлении. Проведенные экспериментальные исследования позволили оценить влияние каждого из перечисленных факторов (механоактивации, содержание молотого известняка в вяжущем, концентрации С-3) на изменение эффективной вязкости суспензий.

Установлено, что скоростное смешение суспензий (для всех исследуемых концентраций молотого известняка и С-3 в вяжущем) вызывает снижение эффективной вязкости от 1.4 до 4.5 раз.

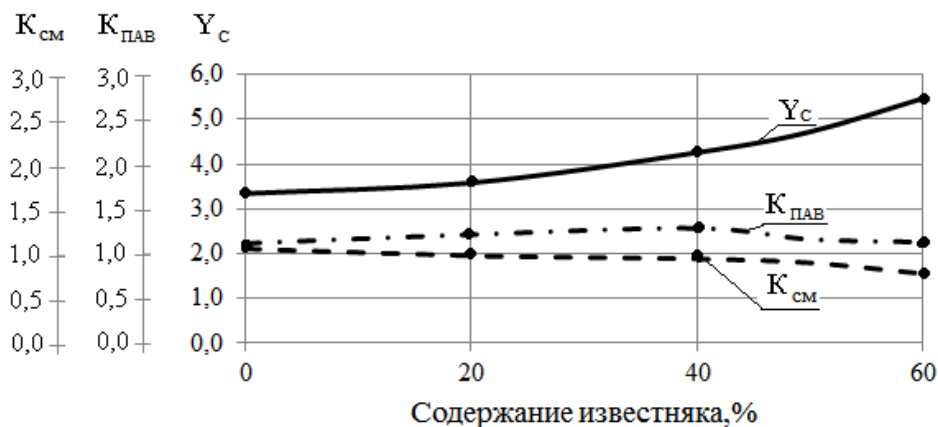


Рис. Влияние количества молотого известняка на показатели Y_c , $K_{см}$, $K_{пав}$:

Y_c – уровень синергизма;

$K_{см}$ – коэффициент;

$K_{пав}$ – коэффициент

Введение С-3 в вяжущее, содержащее молотый известняк в количестве от 0 до 60 %, приводит к снижению эффективной вязкости от 1.4 до 2.9 раз.

Установлен синергический эффект снижения вязкости цементосодержащих суспензий с добавкой молотого известняка при воздействии на них скоростного

смешивания в присутствии суперпластификатора С-3.

Таким образом, по уровню синергизма мы можем целенаправленно управлять эффективной вязкостью цементосодержащих суспензий и, в конечном итоге, подвижностью, нерасслаиваемостью и водоудерживающей способностью растворных смесей.

Список использованных источников

1. Демьянова, В. С. Об использовании дисперсных наполнителей в цементных системах [Текст] / В. С. Демьянова, В. И. Калашников, А. А. Борисов // Жил. строительство. – 1999. – № 3. – С.17-18.
2. Ольгинский, А. Г. Пылеватые минеральные добавки к цементным бетонам [Текст] / А. Г. Ольгинский // Строительные материалы и конструкции. –1990. – № 3. – С. 18.
3. Батраков, В. Г. Суперпластификаторы. Исследование и опыт применения [Текст] / В.Г. Батраков // Применение химических добавок в технологии бетона МДНТП. – М.: Знание, 1980. – С. 29-36.
4. Механоактивация в технологии бетонов [Текст] / В. Н. Выровой, И. В. Барабаш, А. В. Дорофеев. – Одесса: ОГАСА, 2014. – 148 с.
5. Федоркин, С. И. Механоактивация вторичного сырья в производстве строительных материалов [Текст] / С. И. Федоркин. – Симферополь: Таврия, 1997. – 180 с.
6. Барабаш, И. В. Механизмы организации структуры механоактивированных грубодисперсных систем. – В зб.: Композиційні матеріали для будівництва [Текст] / И.В. Барабаш, В.Н. Выровой // Вісник ОДАБА. – 2000. – № 2 (22). – С.12-15.
7. Федоркин, С. И. Новые направления переработки известняковых отходов камнедобычи [Текст] / С. И. Федоркин // Труды Крымской Академии наук: науч.-практ. сб. – Симферополь: Таврия, 1998. – Вып. 1. – С. 83-86.

8. Свойства облегченных штукатурных растворов из сухих строительных смесей с перлитовым и известняковым наполнителями [Текст] / В.Г. Соха, Е.К. Карапузов, В.А. Вознесенский и др. // Строительные материалы и изделия. – 2010. – № 3. – С. 11-14.

9. Маилян, Р. Л. Бетон на карбонатных заполнителях [Текст] / Р. Л. Маилян. – Ростов: Изд-во Ростовского университета, 1967. – 276 с.

10. Portland-limestone cements. Their properties and hydration compared to those of other composite cement/ [N. Voglis, G. Kakali, E. Chaniotakis, S. Tsivilis]// Cem. Concr.Com. 27,2005. - pp. 191–196.

11. Барабаш, И. В. Растворы на механоактивированном портландцементе с добавкой молотого известняка [Текст] / И.В. Барабаш, С. А. Кровяков, А. В. Даниленко // Вісник ОДАБА. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2011. – Вип. 43. – С. 17-21.

12. Урьев, Н. Б. Коллоидные цементные растворы [Текст] / Н. Б. Урьев, И. С. Дубинин. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1980. – 192 с.

Даниленко Анна Віліянівна, канд. техн. наук, Одеська державна академія будівництва та архітектури.
Тел.: (098)927-50-81. E-mail: danilenko_a_v@mail.ru.

Ксьоншкевич Любов Миколаївна, канд. техн. наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства
Одеської державної академії будівництва та архітектури. Тел.: (066)917-06-88. E-mail: wl-ksm@mail.ru.

Danilenko A. V., candidate of technical sciences Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture.
Tel.: (098)927-50-81. E-mail: danilenko_a_v@mail.ru.

Ksenshkevich L. N. Cand. Sc., Assistant Prof. Department of Urban Development and Municipal Engineering Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (066)917-06-88. E-mail: wl-ksm@mail.ru.

Стаття прийнята 09.11.2016 р.

УДК 629.17

ГРАНИЧНИЙ РЕСУРС ВАГОНА В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Канд. техн. наук Л. А. Мурадян

ПРЕДЕЛЬНЫЙ РЕСУРС ВАГОНА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Канд. техн. наук Л. А. Мурадян

THE LIMITING RESOURCE CAR DURING OPERATION

Phd. tehn. L. A. Muradian

Показано, що ресурс структурних елементів вагонів залежить від швидкості накопичення дефектів у матеріал. Процес накопичення дефектів є випадковим, а ресурс розподіляється за визначеним мовірнісним законом. Із кінетичної концепції руйнування матеріалів відомо, що в навантаженому елементі з часом накопичуються дефекти, у результаті чого відбуваються незворотні зміни, що призводять до руйнування. Така закономірність накопичення пошкоджень зберігається як за постійних, так і за змінних значень напруження. На основі кінетичної концепції руйнування матеріалів дано оцінку теоретичному граничному ресурсу структурних елементів вагона з урахуванням проведення

технічних дій (технічного обслуговування, поточного, деповського, капітального ремонтів) та, з урахуванням інноваційних конструктивних і технологічних рішень у процесі ремонту вагона у випадку, коли застосовуються нові матеріали чи технології, що змінюють значення величин зносу і відповідно мають прямий вплив на ресурс.

Ключові слова: надійність, довговічність, граничний ресурс, вагони, накопичення пошкоджень.

Показано, что ресурс структурных элементов вагонов зависит от скорости накопления дефектов в материал. Процесс накопления дефектов – случайный, а ресурс распределяется по определенным вероятностным законам. С кинетической концепции разрушения материалов известно, что в нагруженном элементе со временем накапливаются дефекты, в результате чего происходят необратимые изменения, приводящие к разрушению. Подобная закономерность накопления поврежденных сохраняется как при постоянных, так и при переменных значениях напряжений. На основе кинетической концепции разрушения материалов дана оценка теоретическому предельному ресурсу структурных элементов вагона с учетом проведения технических действий (технического обслуживания, текущего, деповского, капитального ремонтов) и, с учетом инновационных конструктивных и технологических решений в процессе ремонта вагона в случае, когда применяются новые материалы или технологии, меняющие значения величин износа и соответственно имеют прямое влияние на ресурс.

Ключевые слова: надежность, долговечность, предельный ресурс, вагоны, накопления поврежденных.

The paper shows that the resource structural elements of cars depends on the rate of accumulation of defects in the material, the process of accumulation of defects - casual, and resources are allocated according to certain laws of probability. Since the kinetic concept of fracture eventually known materials that accumulate in the loaded element defects, resulting in irreversible changes that lead to destruction. This pattern of damage accumulation is stored both in permanent and variable voltage. On the basis of the kinetic conception of failure of materials assessed the theoretical limit resource structural car components, taking into account of technical activities (maintenance, repair, depot, overhaul), and taking into account the innovative design and technological solutions in the process of repair of the car when new materials are used or technologies that change the values of wear, and thus have a direct impact on the resource.

Keywords: reliability, durability, limiting resource, cars, damage accumulation.

Вступ. Найбільш важливими вимогами, що ставляться до рухомого складу залізниць, є підвищення надійності, збільшення ресурсу вузлів і деталей, досягти яких можна за допомогою створення нових або вдосконалення старих зразків вагонної техніки [1 – 5].

Надійність контролюється на всіх етапах створення нових зразків вагонів, у тому числі і під час експлуатаційних випробувань, при яких накопичуються статистичні дані про їх зносний стан, відмови і пошкодження [2, 4].

Збір і первинна обробка інформації, з урахуванням подальшої повної математичної обробки, про надійність вагонів повинна забезпечити [2, 4, 5]:

- отримання порівнянних і об'єктивних даних про надійність вагонів та їх складових частин;

- можливість узагальнення результатів обробки інформації про надійність.

Збір та обробка інформації про надійність вагонів повинна проводитися з метою отримання достовірних даних, що забезпечують можливість і проведення [6-8]:

- конструктивних удосконалень з метою підвищення надійності;

- удосконалень технології виготовлення, складання, контролю та випробувань, спрямованих на забезпечення необхідного рівня надійності;

- організаційно-технічних заходів, спрямованих на дотримання правил технічної експлуатації, підвищення ефективності технічного обслуговування, підвищення якості ремонту та оптимізації витрат на його проведення.

Надійність вагонів закладається на етапі проектування та реалізується у процесі виготовлення. Від конструкторської надійності буде залежати успішне функціонування вагонів у тих чи інших умовах експлуатації.

На етапі проектування використовують довідкову інформацію про режими роботи вагонів і навантаження, які будуть нести елементи, деталі та вузли або вагон у цілому. При розрахунках конструктивних елементів вагона задаються довірчими інтервалами, що наведені в нормативно-довідковій літературі і, в результаті, отримують необхідну ймовірність безвідмовної роботи.

Вибір статистичних запасів міцності різних конструкцій оснований на використанні параметричної моделі «міцність – навантаження». Методи цієї групи є найстарішими методами теорії надійності [6, 7].

В основу розрахунків надійності з використанням цієї моделі закладено те, що кожен елемент конструкції має певну міцність по відношенню до діючих на нього навантажень. При цьому під навантаженням слід розуміти будь-які чинники, що впливають на ефективність функціонування вагона, а саме: механічні дії, температури, вібрації, коливання тощо, а міцність буде характеризувати здатність вагона зберігати свої закладені властивості при впливі зазначених навантажень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для багатьох елементів вагона

критерієм, що визначає ресурс окремих деталей, є їх зношування, тобто поступова зміна розмірів і форми робочих поверхонь, а також властивостей їх матеріалів. При цьому збільшуються зазори в сполученнях рухомих деталей і порушується щільність нерухомих посадок. Виниклі дефекти і пошкодження призводять до порушення режиму роботи вагона в цілому і до його передчасних відмов.

Усі фактори, що визначають надійність, безвідмовність і довговічність вагонів, можна розділити на три групи [4-8]:

- міцнісні властивості, зносостійкість і корозійна стійкість матеріалів елементів вагонів;

- експлуатаційні чинники;

- рівень організації технічного впливу на технічний стан.

Оскільки міцнісні властивості, зносостійкість і корозійна стійкість матеріалів елементів вагонів мають безпосередній вплив на параметр надійності – довговічність, тому далі розглянуто основні характеристики цього параметра.

Згідно з дослідженнями, проведеними в роботах [6 – 9], довговічність, ресурс і напрацювання різноманітних матеріалів деталей машин можна описати за допомогою рівняння

$$\tau = \tau_o \exp\left(\frac{U_o - \gamma\sigma}{kT}\right), \quad (1)$$

де τ_o , U_o і γ – параметри, що характеризують відповідно міцнісні властивості, енергію активації та коефіцієнт чутливості матеріалів структурних елементів вагонів;

σ – прикладене напруження до складових структурних елементів вагонів;

T – абсолютна температура;

k – стала Больцмана.

Коефіцієнт чутливості γ характеризує різноманітні внутрішні фізико-хімічні процеси в матеріалах структурних елементів вагонів: дифузія в

об'ємі матеріалу і поверхневих шарах, накопичення і переміщення точкових дефектів і дислокацій; руйнування міжатомних зв'язків у металах і сплавах, руйнування хімічних зв'язків, ланцюгів, макромолекул включень; дія поверхнево-активних речовин. Цей коефіцієнт змінюється із зміною міцності одного й того ж самого матеріалу: чим більша міцність, тим менший γ .

Визначення мети та задачі дослідження. У статті необхідно дати оцінку на основі кінетичної концепції руйнування матеріалів теоретичному граничному ресурсу структурних елементів вагона з урахуванням проведення технічних дій (технічного обслуговування, поточного, деповського, капітального ремонтів) та з урахуванням інноваційних конструктивних та технологічних рішень у процесі ремонту вагона.

Основна частина дослідження. Оскільки ресурс структурних елементів вагонів залежить від швидкості накопичення дефектів у матеріалі, а процес накопичення дефектів є випадковим, то й ресурс розподіляється за визначеним ймовірнісним законом.

Із кінетичної концепції руйнування матеріалів [6-8] відомо, що в навантаженому елементі з часом накопичуються дефекти, у результаті чого відбуваються незворотні зміни, що призводять до руйнування. Така закономірність накопичення пошкоджень зберігається як за постійних, так і за змінних значень напруження.

Сумарний стохастичний вплив дефектів у матеріалі й навантаження відображено у фізико-математичному підході трактування міцності Б. С. Сотськова [6-8], згідно з яким імовірність виникнення відмов під впливом руйнівних сил будь-якої природи подається величиною

$$q = \int_0^t \frac{\partial q}{\partial t} dt = \int_0^t \frac{\partial q}{\partial(\Delta\Pi)} \cdot \frac{\partial(\Delta\Pi)}{dt}, \quad (2)$$

а інтенсивність відмов

$$\lambda = \frac{\partial q}{\partial t}. \quad (3)$$

При $P \rightarrow 1$:

$$\lambda = \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial(\Delta\Pi)} \cdot \frac{\partial(\Delta\Pi)}{dt}, \quad (4)$$

де $\Delta\Pi$ – запас міцності;

$\frac{\partial(\Delta\Pi)}{dt}$ – швидкість зміни запасу

міцності в результаті накопичення дефектів в об'ємі і на поверхні відповідного елемента під впливом фізико-хімічних процесів;

$\frac{\partial q}{\partial(\Delta\Pi)}$ – визначає ймовірнісні міцнісні

характеристики матеріалів (співвідношення навантаження і міцності відповідного взаємодіючого структурного елемента вагона).

Із наведених виразів (2) – (4) випливає, що якщо співвідношення навантаження й міцності не зумовлює відмов, то λ характеризує зміну міцності внаслідок тільки внутрішніх процесів (старіння матеріалу), а в умовах гранично повільних внутрішніх процесів основну роль відіграють навантажувально-міцнісні особливості. В умовах експлуатації складових структурних елементів вагонів проявляються обидва чинники.

На рисунку наведемо схему руйнування структурних елементів вагона, на якій навантаження $S_p(t)$ зображено у вигляді нормального стаціонарного процесу, а міцність $S_n(t)$ – у вигляді випадкової функції, що монотонно спадає під впливом накопичення дефектів матеріалів. Якщо криві, що відображають зазначені характеристики, мають загальну область, то міцність перевищує діючі навантаження.

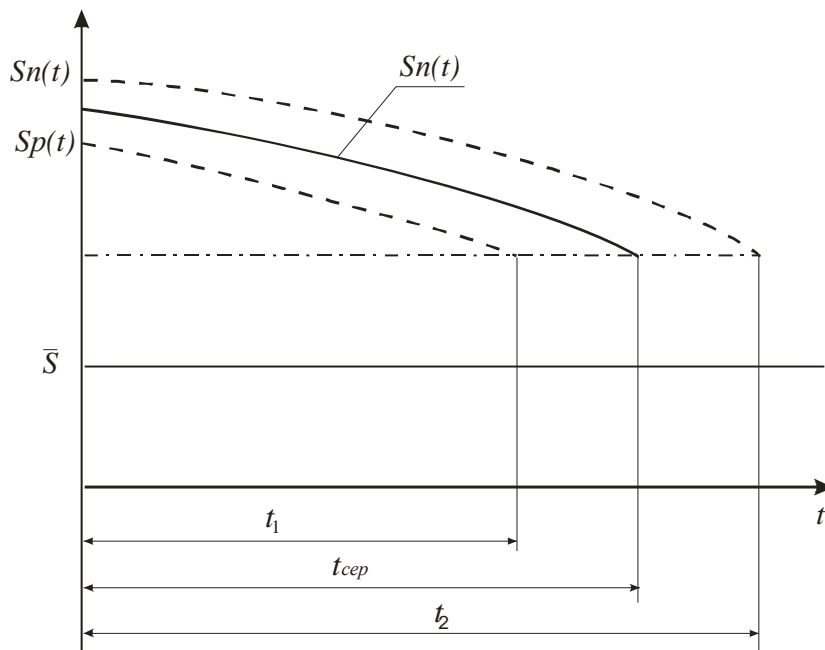


Рис. Схема руйнування структурних елементів вагона

На основі наведеної схеми руйнування та врахувавши залишковий ресурс можна спрогнозувати середній граничний ресурс як структурних елементів вагона, так і вагона у цілому:

$$\bar{T} = t_{zp} + t_{зал}, \quad (5)$$

де t_{zp} – теоретичний граничний ресурс будь-якого структурного елемента вагона

згідно з кінетичною концепцією руйнування для його сполучених матеріалів, при якому на практиці повинна припинятись експлуатація вузла чи вагона в цілому.

Згідно зі схемою руйнування теоретичний граничний ресурс структурних елементів вагона з урахуванням проведення технічного обслуговування і ремонту (поточного, деповського, капітального) можна подати у такому вигляді:

$$t_{zp} = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^n \bar{t}_i \pm \sum_{i=1}^n k_{ti} \sigma_{ti} + \sum_{i=1}^n t_{pi} P_i(\tau) R_{ti}(z) \pm \sum_{i=1}^n k_{ti} \sigma_{tpp} \right) K_I, \quad (6)$$

де \bar{t}_i – середня тривалість безвідмовної роботи структурних елементів вагона до повного відновлення технічного стану за умови виконання технічного обслуговування та ремонту;

k_{ti} – довірчий коефіцієнт, який залежить від умов експлуатації вагона й закону розподілу його ресурсу на i -му життєвому циклі;

σ_{ti} – середньоквадратичне відхилення на i -му життєвому циклі;

t_{pi} – напрацювання між роботами технічного обслуговування та ремонту на i -му життєвому циклі вагона;

n – кількість технічних обслуговувань та ремонтів;

σ_{ipp} – середнє квадратичне відхилення напрацювання між роботами технічного обслуговування та ремонту вагона;

$R_i(z)$ – імовірність виконання задачі при технічному обслуговуванні та ремонті на i -му життєвому циклі вагона;

$P_i(\tau)$ – імовірність безвідмовної роботи між роботами технічного обслуговування та ремонту на i -му життєвому циклі вагона;

K_I – коефіцієнт, який ураховує інноваційні конструктивні та технологічні рішення в процесі ремонту вагона у випадку, коли застосовуються нові матеріали чи технології, що змінюють значення величин зносу і відповідно мають прямий вплив на ресурс. Цей коефіцієнт можна розрахувати за такою формулою:

$$K_I = k_{np} \frac{I_{запр}}{I_{зад}}, \quad (7)$$

де k_{np} – коефіцієнт, що враховує пристосованість інноваційних конструктивних та

технологічних рішень у процесі ремонту вагона, чисельно характеризує відповідні зміни величин зносу в порівнянні з базовою конструкцією вагона;

$I_{зад}$, $I_{запр}$ – бальна характеристика заданого (зазвичай повинна дорівнювати 1) та запропонованого (інноваційного) рішення в процесі ремонту вагона (значення повинне бути >1).

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. На основі кінетичної концепції руйнування матеріалів дано оцінку теоретичному граничному ресурсу структурних елементів вагона з урахуванням проведення технічних дій (технічного обслуговування, поточного, деповського, капітального ремонтів) та, з урахуванням інноваційних конструктивних та технологічних рішень у процесі ремонту вагона у випадку, коли застосовуються нові матеріали чи технології, що змінюють значення величин зносу і відповідно мають прямий вплив на ресурс.

Список використаних джерел

1. Myamlin, S. V. The modeling of economic efficiency of products carriage-building plant in conditions of dynamic pricing [Text] / S. V. Myamlin, D. M. Baranovskiy // Проблеми економіки транспорту: зб. наук. праць Дніпропетровського національного університету ім. акад. В. Лазаряна. – 2014. – № 7. – С. 61-66.
2. Мурадян, Л. А. Відмови та безвідмовність вагонів як складові експлуатаційної надійності [Текст] / Л. А. Мурадян // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. – № 52 (1161). – С.127-130.
3. Мямлін, С. В. Проблема визначення терміну «надійність». Методологія побудови та вивчення надійності вантажних вагонів [Текст] / С. В. Мямлін, Л. А. Мурадян, Д. М. Барановський // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 6 (60). – С. 110–117. – doi: 10.15802/stp2015/57034.
4. Prediction methodology of durability of locomotives diesel engines / L.P. Lingaitis, S. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // Eksploatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability. – 2012. – Vol. 14, № 2. – P. 154-159.
5. Experimental Investigations on Operational Reliability of Diesel Locomotives Engines [Text] / L.P. Lingaitis, S. Mjamlin, D. Baranovsky, V. Jastremskas // Eksploatacja i Niezawodnosc - Maintenance and Reliability. – 2012. – № 1. – P. 5 – 10.
6. Иванова, В. С. Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов [Текст] / В. С. Иванова. – М.: Наука, 1992. – 160 с.

7. Балтер, М. А. Упрочнение деталей машин [Текст] / М. А. Балтер. – М.: Машиностроение, 1978. – 182 с.

8. Барановський, Д. М. Самоорганізація структур в процесі дисипації [Текст] / Д. М. Барановський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 8(39). – С. 28–30.

9. Барановський, Д. М. Визначення залишкового ресурсу трибо систем [Текст] / Д. М. Барановський // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2009. – №4. – С. 127-129.

Мурадян Леонтій Абрамович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів та вагонного господарства Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел. (056) 374-00-69.

Muradian Leonti, Phd. techn., Associate Professor, Department "Cars and Carriage Facilities", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. Tel. (056) 374-00-69.

Стаття прийнята 10.11.2016 р.

УДК 656.211.26

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ У ВЕЛИКОМУ ЗАЛІЗНИЧНОМУ ВУЗЛІ

Д-р техн. наук О. М. Огар, М. С. Дребот, А. Б. Мумінов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ В КРУПНОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ УЗЛЕ

Д-р техн. наук А. Н. Огарь, М. С. Дребот, А. Б. Муминов

MATHEMATICAL MODEL FOR THE DETERMINATION OF THE PASSENGER STATION FOR HIGH-SPEED TRAINS SERVICE RATIONAL LOCATION IN A LARGE RAILROAD JUNCTION

Doct. of techn. sciences O. Ogar, M. Drebot, A. Muminov

Проаналізовано наукові підходи до розрахунку конструктивно-технологічних параметрів швидкісних і високошвидкісних магістралей. Сформовано математичну модель визначення раціонального місця розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у великому залізничному вузлі на основі врахування множини факторів. Розроблено рекомендації щодо використання результатів моделювання з ув'язкою зі структурою міста.

Ключові слова: пасажирська станція, високошвидкісні магістралі, високошвидкісний рух, залізничний вузол, математична модель.

Проанализированы научные подходы к расчету конструктивно-технологических параметров скоростных и высокоскоростных магистралей. Сформирована

математическая модель определения рационального места расположения пассажирской станции для обслуживания высокоскоростных поездов в крупном железнодорожном узле на основе учета множества факторов. Разработаны рекомендации по использованию результатов моделирования с увязкой со структурой города.

Ключевые слова: *пассажирская станция, высокоскоростные магистрали, высокоскоростное движение, железнодорожный узел, математическая модель.*

Scientific approaches to the calculation of structural and technological parameters of high-speed lines were analyzed. It was concluded that known scientific approaches were mainly focused on improving of the mentioned parameters, and the issue of the justification of the parameters and location of passenger stations for high-speed trains service in large railroad junctions is considered insufficiently. A mathematical model for the determination of the rational location of a passenger station for high-speed trains service in a large railroad junction has been created. The model is based on taking into consideration the quantity, basic features of business objects, residential areas, and sights, and their distance from the conventional city center; the quantity and location of the underground system, the traffic capacity and availability of urban transport in the streets and avenues; the high-speed trains mileage from a city boundary to a passenger station. The objective of the determination of a passenger station location in a large railroad junction has been presented as an integer programming problem. However, since the solution of this problem is a point, in which a passenger station construction is impossible or causes certain difficulties, it has been proposed to analyze a city structure and to determine the passenger station rational location by the minimal distance to the optimal place.

Key words: *passenger station, high-speed lines, high-speed traffic, railroad junction, mathematical model.*

Вступ. Упровадження в Україні високошвидкісного екологічно чистого наземного транспорту є загальнонаціональним завданням і диктується в першу чергу умовами сучасного способу життя і ведення бізнесу. Його вирішення дало б змогу збільшити пасажирооборот, скоротити потребу в рухомому складі і поліпшити ситуацію щодо організації перевезень пасажирів на основних напрямках мережі залізниць. Результатом упровадження високошвидкісного руху в Україні стало б зростання престижу не тільки вітчизняних залізниць, а й держави в цілому.

При проектуванні високошвидкісних магістралей вирішується ряд складних питань, серед яких особливе місце посідають питання, пов'язані з розміщенням, технічним оснащенням і конструкцією колійного розвитку роздільних пунктів, які значною мірою визначають рівень забезпечення

життєдіяльності високошвидкісних залізниць. При цьому раціональне розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у великих залізничних вузлах належать до класу дуже складних завдань, що обґрунтовується необхідністю врахування великої кількості факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми розвитку швидкісного і високошвидкісного руху пасажирських поїздів вивчали такі вчені як Бещева Н. І., Бутько Т. В., Козлов В. Ю., Колодяжний Н. В., Кочнев Ф. П., Миронов В. С., Пазойський Ю. О., Переселенков Г. С., Розсоха О. В., Шубко В. Г. та ін. [1-13].

Визначенням оптимальної технічної швидкості руху поїздів займалися під керівництвом Н.І. Бещевої у ВНДІЗТі [1]. Як критерій вибору вказаної швидкості був мінімум вартості поїздо-кілометра.

У [2] визначається раціональна топологія залізничної мережі високошвидкісних та швидкісних перевезень на основі сучасних досягнень в галузі інтелектуальних технологій.

Можливість застосування рухомого складу з керованим нахилом кузова для проходження кривих, що мають недостатній радіус, розглянуто в [3].

У [4] узагальнено наукові досягнення і практичні результати введення високих швидкостей.

У роботах [5, 6] запропоновано економіко-математичну модель оптимізації маси і швидкості руху пасажирських і вантажних поїздів в умовах поточної експлуатації залізничного транспорту на лініях зі змішаним рухом. У цих же роботах розглянуто питання етапного підвищення швидкостей руху пасажирських поїздів та умови переходу до будівництва спеціалізованих ліній для високошвидкісного руху пасажирських поїздів.

У [7] висвітлено дослідження питань проектування високошвидкісних ліній в ув'язці з рівнем швидкості руху, передбачуваного в експлуатації, та оптимізації цих швидкостей у різних умовах.

Обґрунтування найважливіших параметрів організації пасажирських перевезень у далекому, місцевому та приміському сполученні розглянуто у [8].

У [9] як критерій розвитку залізниць запропоновано використовувати основний показник розвитку й оцінки систем – надійність.

У [10] удосконалено математичну модель оптимального розподілу потоку пасажирських поїздів високошвидкісних магістралей на полігоні залізниці.

Отже, відомі наукові підходи були в основному спрямовані на удосконалення конструктивно-технологічних параметрів швидкісних і високошвидкісних магістралей. Питання обґрунтування параметрів і місця розташування

пасажирських станцій для обслуговування високошвидкісних поїздів у великих залізничних вузлах розглянуто недостатню мірою.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою роботи є формування наукового підходу до визначення раціонального місця розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у великому залізничному вузлі на основі урахування множини факторів.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити головні фактори, що впливають на місце розташування пасажирської станції, розробити математичну модель визначення раціонального місця розташування вказаної станції у великому залізничному вузлі і рекомендації щодо використання результатів моделювання з ув'язкою зі структурою міста.

Основна частина дослідження. Серед головних факторів, що впливають на місце розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у великому залізничному вузлі, слід відзначити:

1) кількість, основні характеристики і віддаленість від загальноприйнятого центру міста об'єктів бізнесу, житлових масивів та пам'яток;

2) кількість та розміщення у місті станцій метрополітену;

3) пропускна здатність і рівень забезпеченості міським транспортом вулиць і проспектів;

4) пробіг високошвидкісних поїздів від межі міста до пасажирської станції.

У зв'язку з цим подамо місто як сукупність бізнес-центрів, житлових масивів, пам'яток та елементів інфраструктури залізничного і міського транспорту. Для спрощення вирішення науково-прикладного завдання визначення раціонального місця розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у великому

залізничному вузлі вказану сукупність пропонується відобразити у вигляді розрахункових точок. Для бізнес-центрів, житлових масивів, пам'яток і станцій метрополітену ці розрахункові точки відображають їх умовні центри, для елементів інфраструктури залізничного транспорту – точки входу залізничних ліній у місто. Оскільки міські вулиці і проспекти неможливо подати у вигляді однієї розрахункової точки, їх пропонується показати у вигляді множини розрахункових точок з певним кроком одна від одної. При цьому слід зауважити, що до розрахунків необхідно обирати лише ті вулиці і проспекти, на яких відбувається інтенсивний рух транспорту.

Для побудови математичної моделі визначення раціонального місця розташування пасажирської станції введемо такі множини і величини:

B – множина бізнес-центрів міста;

b – номер бізнес-центру міста із множини B , $b \in B$;

G – множина житлових масивів міста;

g – номер житлового масиву міста із множини G , $g \in G$;

H – множина пам'яток міста;

h – номер пам'ятки міста із множини H , $h \in H$;

M – множина станцій метрополітену;

t – номер станції метрополітену із множини M , $t \in M$;

V – множина розрахункових точок вулиць і проспектів міста з інтенсивним рухом транспорту;

v – номер розрахункової точки вулиці або проспекту міста з інтенсивним рухом транспорту із множини V , $v \in V$;

Z – множина точок входу залізничних ліній у місто;

z – номер точки входу залізничної лінії у місто із множини Z , $z \in Z$.

Як критерій оптимізації пропонується прийняти сумарну вагову відстань від майбутньої пасажирської станції до центру

бізнесу міста, центру населеності міста, центру пам'яток міста, точок входу залізничних ліній у місто і найближчих розрахункових точок інфраструктури міського транспорту $\sum S_B$.

Координати центру бізнесу міста $(x_{ЦБ}, y_{ЦБ})$ пропонується визначати з урахуванням рівня престижності бізнес-центрів:

$$x_{ЦБ} = \frac{\sum_{b \in B} R_b \cdot x_b}{\sum_{b \in B} R_b}; \quad y_{ЦБ} = \frac{\sum_{b \in B} R_b \cdot y_b}{\sum_{b \in B} R_b}, \quad (1)$$

де R_b – рівень престижності b -го бізнес-центру міста;

x_b, y_b – координати b -го бізнес-центру міста в локальній системі координат, м.

Координати центру населеності міста $(x_{ЦН}, y_{ЦН})$ можна визначати на основі оцінки чисельності населення житлових масивів міста:

$$x_{ЦН} = \frac{\sum_{g \in G} P_g \cdot x_g}{\sum_{g \in G} P_g}; \quad y_{ЦН} = \frac{\sum_{g \in G} P_g \cdot y_g}{\sum_{g \in G} P_g}, \quad (2)$$

де P_g – чисельність населення g -го житлового масиву міста, тис. люд.;

x_g, y_g – координати g -го житлового масиву міста в локальній системі координат, м.

Координати центру пам'яток міста $(x_{ЦП}, y_{ЦП})$ пропонується визначати з урахуванням рівня їх популярності:

$$x_{ЦП} = \frac{\sum_{h \in H} C_h \cdot x_h}{\sum_{h \in H} C_h}; \quad y_{ЦП} = \frac{\sum_{h \in H} C_h \cdot y_h}{\sum_{h \in H} C_h}, \quad (3)$$

де C_h – рівень популярності h -ї пам'ятки міста;

x_h, y_h – координати h -ї пам'ятки міста в локальній системі координат, м.

Отже, науково-прикладне завдання визначення раціонального місця

розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у великому залізничному вузлі можна розглянути як задачу мінімізації $\sum S_B$. При такій постановці науково-прикладного завдання цільова функція набуває такого виду:

$$\sum S_B = \omega_{ЦБ} \cdot S_{ЦБ}(x_{ПС}, y_{ПС}) + \omega_{ЦН} \cdot S_{ЦН}(x_{ПС}, y_{ПС}) + \omega_{ЦП} \cdot S_{ЦП}(x_{ПС}, y_{ПС}) + \omega_M \cdot S_M(x_{ПС}, y_{ПС}) + \omega_{IP} \cdot S_{IP}(x_{ПС}, y_{ПС}) + \omega_{ЗЛ} \cdot S_{ЗЛ}(x_{ПС}, y_{ПС}) \rightarrow \min, \quad (4)$$

де $S_{ЦБ}(x_{ПС}, y_{ПС})$ – відстань від пасажирської станції з координатами умовного центру останньої $(x_{ПС}, y_{ПС})$ до центру бізнесу міста, м,

$$S_{ЦБ}(x_{ПС}, y_{ПС}) = \sqrt{(x_{ПС} - x_{ЦБ})^2 + (y_{ПС} - y_{ЦБ})^2}; \quad (5)$$

$S_{ЦН}(x_{ПС}, y_{ПС})$ – відстань від пасажирської станції до центру населеності міста, м,

$$S_{ЦН}(x_{ПС}, y_{ПС}) = \sqrt{(x_{ПС} - x_{ЦН})^2 + (y_{ПС} - y_{ЦН})^2}; \quad (6)$$

$S_{ЦП}(x_{ПС}, y_{ПС})$ – відстань від пасажирської станції до центру пам'яток міста, м,

$$S_{ЦП}(x_{ПС}, y_{ПС}) = \sqrt{(x_{ПС} - x_{ЦП})^2 + (y_{ПС} - y_{ЦП})^2}; \quad (7)$$

$S_M(x_{ПС}, y_{ПС})$ – відстань від пасажирської станції до найближчої станції метрополітену з координатами умовного центру останньої (x_m, y_m) , де $m \in M$, м,

$$S_M(x_{ПС}, y_{ПС}) = \sqrt{(x_{ПС} - x_m)^2 + (y_{ПС} - y_m)^2}; \quad (8)$$

$S_{IP}(x_{ПС}, y_{ПС})$ – відстань від пасажирської станції до найближчої розрахункової точки вулиці або проспекту міста з інтенсивним рухом транспорту з координатами останньої (x_v, y_v) , де $v \in V$, м,

$$S_{IP}(x_{ПС}, y_{ПС}) = \sqrt{(x_{ПС} - x_{IP})^2 + (y_{ПС} - y_{IP})^2}; \quad (9)$$

$S_{ЗЛ}(x_{ПС}, y_{ПС})$ – середньозважена відстань до пасажирської станції від точок входу залізничних ліній у місто, м,

$$S_{3Л}(x_{ПС}, y_{ПС}) = \frac{\sum_{z \in Z} N_z \cdot S_z(x_{ПС}, y_{ПС})}{\sum_{z \in Z} N_z}, \quad (10)$$

де N_z – кількість пар високошвидкісних поїздів, що будуть курсувати на z -й залізничній лінії;

$S_z(x_{ПС}, y_{ПС})$ – відстань до пасажирської станції від z -ї точки входу залізничної лінії у місто з координатами останньої (x_z, y_z) , де $z \in Z$, м,

$$S_z(x_{ПС}, y_{ПС}) = \sqrt{(x_{ПС} - x_z)^2 + (y_{ПС} - y_z)^2}; \quad (11)$$

$\omega_{ЦБ}, \omega_{ЦН}, \omega_{ЦП}, \omega_M, \omega_{IP}, \omega_{3Л}$ – ваговий коефіцієнт відповідно

$S_{ЦБ}(x_{ПС}, y_{ПС}), S_{ЦН}(x_{ПС}, y_{ПС}), S_{ЦП}(x_{ПС}, y_{ПС}), S_M(x_{ПС}, y_{ПС}), S_{IP}(x_{ПС}, y_{ПС}), S_{3Л}(x_{ПС}, y_{ПС})$.

$R_b, P_g, C_h, \omega_{ЦБ}, \omega_{ЦН}, \omega_{ЦП}, \omega_M, \omega_{IP}, \omega_{3Л}$ визначаються на основі методу експертних оцінок [14].

Указана задача розв'язується при таких обмеженнях:

$$\begin{cases} x_{ПС}^{\min} \leq x_{ПС} \leq x_{ПС}^{\max}; \\ y_{ПС}^{\min} \leq y_{ПС} \leq y_{ПС}^{\max}, \end{cases} \quad (12)$$

де $x_{ПС}^{\min}, x_{ПС}^{\max}$ – відповідно мінімальна і максимальна величина абсциси точки, що є умовним центром пасажирської станції, м;

$y_{ПС}^{\min}, y_{ПС}^{\max}$ – відповідно мінімальна і максимальна величина ординати точки, що є умовним центром пасажирської станції, м.

Науково-прикладне завдання визначення раціонального місця розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у великому залізничному вузлі є задачею нелінійного програмування з нелінійною цільовою функцією і лінійними обмеженнями-нерівностями. Для зменшення обсягу обчислень пропонується цю задачу подати як задачу цілочислового

програмування, тобто $x_{ПС}$ і $y_{ПС}$ будуть набувати тільки цілих значень. При цьому слід зазначити, що такий перехід суттєво не вплине на точність розрахунків.

Розв'язком цієї оптимізаційної задачі може бути точка, у якій будівництво нової пасажирської станції буде неможливим або викликати певні складності. У цьому випадку необхідно проаналізувати структуру міста і визначити раціональне місце її розташування за умовою мінімальної відстані до оптимального місця.

Для міст, де вже існує залізнична інфраструктура, як раціональне місце розташування нової пасажирської станції можна розглядати варіанти її розміщення на місці існуючих станцій або зупинних пунктів з відповідними реконструктивними заходами. При цьому можуть розглядатися варіанти змішаного використання пасажирської станції (для обслуговування поїздів звичайних і високошвидкісних магістралей) і спеціалізованого використання (для обслуговування поїздів тільки високошвидкісних магістралей).

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Основним підходом до визначення раціонального місця розташування пасажирської станції для обслуговування високошвидкісних поїздів у великому залізничному вузлі до сьогодняшнього дня була розробка декількох конкурентоспроможних варіантів і їх техніко-економічне порівняння. Указаний підхід хоча і базується на урахуванні ряду факторів (обсягу капітальних вкладень, зручності з точки зору транспортної доступності, ув'язки проектних рішень високошвидкісних магістралей з генеральним планом розвитку

міста, комплексної оцінки організації далекого і приміського пасажирського сполучення у вузлі), однак не дає змоги знайти дійсно оптимальне місце розташування станції. Розробка конкурентоспроможних варіантів в основному базується на досвіді проектувальників, а останнім може бути дуже складно охопити і проаналізувати велику множину факторів, що впливають на вирішення поставленого завдання. Цього недоліку позбавлений запропонований науковий підхід, де поставлене завдання вирішується шляхом оптимізаційних розрахунків, а досвід проектувальника необхідний уже на заключному етапі.

Список використаних джерел

1. Бещева, Н. И. Местное пассажирское движение на электрифицированных линиях [Текст] / Н. И. Бещева // Тр. ЦНИИ МПС. – М.: Транспорт, 1965. – Вып. 300. – С. 51-60.
2. Бутько, Т. В. Удосконалення підходів щодо розвитку швидкісного і високошвидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України [Текст] / Т. В. Бутько, Л. О. Пархоменко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2014. – Вип. 4. – С. 14.
3. Козлов, В. Ю. План трассы и новый тип подвижного состава для высоких скоростей движения [Текст] / В. Ю. Козлов // Сб. науч. тр. МИИТа. – М.: МИИТ, 1976. – Вып. 538. – С. 80-86.
4. Колодяжный, Н. В. Высокоростное пассажирское движение на железных дорогах [Текст] / Н. В. Колодяжный. – М.: Транспорт, 1976. – 416 с.
5. Кочнев, Ф. П. Повышение скорости движения пассажирских поездов [Текст] / Ф. П. Кочнев. – М.: Транспорт, 1970. – 272 с.
6. Кочнев, П. Ф. Комплексное повышение скоростей движения поездов [Текст] / П. Ф. Кочнев. – М.: Транспорт, 1989. – 176 с.
7. Миронов, В. С. Вопросы проектирования высокоростных линий [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06 / Миронов Виктор Степанович. – М., 1972. – 209 с.
8. Пазойский, Ю. О. Организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (в примерах и задачах) [Текст] / Ю. О. Пазойский, Л. С. Рябуха, В. Г. Шубко; под ред. В. Г. Шубко. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
9. Переселенков, Г. С. Высокоростные железные дороги и надежность пассажирских перевозок / Г. С. Переселенков // Развитие системы пассажирских сообщений: сборник. – М.: Наука, 1984. – С. 135-148.
10. Розсоха, О. В. Моделювання пасажирських поїздопотоків високошвидкісних залізничних магістралей [Текст] / О. В. Розсоха, В. М. Солонець // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 5-13.
11. Kanafani, A. The Economics of Speed – Assessing the performance of High Speed Rail in Intermodal Transportation [Text] / A. Kanafani, R. Wang, A. Griffin // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 8th International Conference on Traffic and Transportation Studies (ICTTS

2012). – Elsevier Ltd, 2012. – Volume 43. – P. 692-708. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812010245>.

12. Clewlow, R. R. The impact of high-speed rail and low-cost carriers on European air passenger traffic [Text] / R. R. Clewlow, J. M. Sussman, H. Balakrishnan // Transport Policy. – 2014. – Vol. 33. – P. 136 – 143.

13. Espinosa-Aranda J. High-speed railway scheduling based on user preferences [Text] / J. Espinosa-Aranda [et al.] // European Journal of Operational Research. – 2015, November. – Vol. 246. – P. 772 – 786.

14. Хамханова, Д. Н. Теоретические основы обеспечения единства экспертных измерений [Текст] / Д. Н. Хамханова. – Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2006. – 170 с.

Огар Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar.07.12@gmail.com.

Дребот Михайло Сергійович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: m.drebot@ukr.net.

Мумінов Азамат Бахтиярович, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: azamat-90.tm@mail.ru.

Ogar Alexander, doct. of techn. sciences, professor, chair “Railway stations and junctions“, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-10-42. E-mail: ogar.07.12@gmail.com.

Drebot Mykhailo, master student, chair “Railway stations and junctions“, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-10-42. E-mail: m.drebot@ukr.net .

Muminov Azamat, master student, chair “Railway stations and junctions“, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-10-42. E-mail: azamat-90.tm@mail.ru.

Стаття прийнята 17.11.2016 р.

УДК 629.424.1:621.436.004.15

ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ МЕХАНІЗМУ ПРИВОДА КЛАПАНІВ ТЕПЛОВИЗНОГО ДИЗЕЛЯ Д49

Д-р техн. наук В. І. Мороз, кандидати техн. наук О. В. Братченко, В. С. Тищенко

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЗМА ПРИВОДА КЛАПАНОВ ТЕПЛОВИЗНОГО ДИЗЕЛЯ Д49

Д-р техн. наук В. И. Мороз, кандидаты техн. наук А. В. Братченко, В. С. Тищенко

GEOMETRIC MODEL VALVE MECHANISM DRIVE DIESEL ENGINES D49

Doct. of techn. sciences V. Moroz, cand. of techn. sciences A. Bratchenko, V. Tishchenko

Стаття присвячена висвітленню особливостей проведення поелементного синтезу геометричної моделі механізму привода клапанів тепловозного дизеля Д49 і представленню розробленої з їх використанням геометричної моделі. Запропонована поетапна послідовність дій з побудови геометричної моделі, яка передбачає аналіз особливостей конструкції механізму привода клапанів, взаємодії між його елементами, виду поверхонь елементів, вибір можливих операцій у відповідному програмному середовищі. Подано геометричну модель механізму привода клапанів дизеля Д49, яка є основою для створення

відповідної 3D моделі. Відзначено, що до переваг такої моделі в порівнянні з експериментальними дослідженнями слід віднести суттєве скорочення витрат при забезпеченні високої точності визначення характеристик руху та показників напружено-деформованого стану деталей підсистеми розподільного вала дизеля.

Ключові слова: тепловозний дизель, механізм привода клапанів, геометрична модель.

Стаття посвячена освітленню особливостей проведення поэлементного синтеза геометрической модели привода клапанов тепловозного дизеля Д49 и представлению разработанной с их использованием геометрической модели. Предложена поэтапная последовательность действий по построению геометрической модели, которая предусматривает анализ особенностей конструкции механизма привода клапанов, взаимодействия между его элементами, вида поверхностей элементов, выбор возможных операций в соответствующей программной среде. Представлена геометрическая модель механизма привода клапанов дизеля Д49, которая является основой для создания соответствующей 3D модели. Отмечено, что к преимуществам такой модели в сравнении с экспериментальными исследованиями следует отнести существенное сокращение затрат при обеспечении высокой точности определения характеристик движения и показателей напряженно-деформированного состояния деталей подсистемы распределительного вала дизеля.

Ключевые слова: тепловозный дизель, механизм привода клапанов, геометрическая модель.

The article is devoted to the explain of the characteristics of the synthesis of element-wise drive the geometric model of valves D49 diesel engines developed and submitted to their use of geometric patterns. A phased sequence of actions to build a geometric model, which involves the analysis of design features of the drive mechanism of the valve, the interaction between its elements, the type of surface elements, the choice of possible operations in the corresponding software environment. Shows the geometric model of the drive mechanism of a diesel engine valves D49, which is the basis for creating the corresponding 3D model. It is noted that the advantages of this model compared to the experimental studies should include a significant reduction in costs while ensuring high-precision determination of the motion characteristics and indicators of the stress-strain state of the subsystem components camshaft diesel.

Keywords: diesel engine, valve actuator, a geometric model.

Вступ. На цей час здійснення великого обсягу вантажних і пасажирських перевезень в Україні вирішується за рахунок експлуатації мережі залізниць. При цьому до основних складових забезпечення якісного перевізного процесу відноситься підтримання належного технічного стану експлуатаційного парку тягового рухомого складу (ТРС). Разом з тим при виконанні цієї задачі основна кількість робіт припадає на локомотиви зі значними термінами служби та ступенями зносу, що негативно впливає на характеристики їх функціонування в експлуатації. З

урахуванням повільних темпів оновлення парку локомотивів це визначає актуальність проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з модернізації та удосконалення технології ремонту наявного ТРС.

При вирішенні цієї задачі значна увага приділяється тепловозному парку ПАТ «Укрзалізниця», більшу частину якого складають локомотиви, обладнані енергетичними установками з дизелями Д49 (ТЕП70, 2ТЕ116 та ін.) [1]. Тому особливого значення набуває проблема забезпечення експлуатаційної надійності та

довговічності таких дизелів. До кола таких задач входить визначення характеристик руху та напружено-деформованого стану окремих механізмів і деталей підсистеми розподільного вала дизеля [2].

Аналіз останніх результатів досліджень. З урахуванням складності та високої вартості проведення експлуатаційних досліджень [3] особливої актуальності набуває вирішення наведених задач на основі розробки та дослідження відповідних 3D моделей, перевагою яких є висока точність та достовірність результатів моделювання [4]. Вузловим моментом у створенні таких моделей є розробка геометричних моделей (ГМ) [5] розглянутих механізмів, в тому числі механізму привода клапанів (МПК).

Метою статті є висвітлення особливостей проведення досліджень з побудови (поелементного синтезу) геометричної моделі привода клапанів тепловозного дизеля Д49 і подання розробленої з їх використанням геометричної моделі.

За результатами попереднього аналізу особливостей розробки ГМ елементів підсистеми розподільного вала [6] для поелементного синтезу геометричної моделі МПК запропонована така поетапна послідовність дій:

1. Аналіз особливостей конструкції елементів механізму та взаємодії між ними.
2. Аналіз виду поверхонь елементів конструкції, які утворюють кінематичні пари (рухомі з'єднання).
3. Визначення можливих операцій, які можуть бути застосовані до виділених поверхонь в середовищі сучасного програмного забезпечення.
4. Розробка алгоритму проведення поелементного синтезу моделі.
5. Створення ГМ механізму технічного засобу.

Слід відмітити, що наведений вище підхід ураховує основні особливості поелементного синтезу ГМ складних механізмів. Він може використовуватись

при побудові ГМ інших механізмів дизеля (наприклад передавального механізму привода розподільного вала, кулачкового механізму привода паливних насосів високого тиску), а також механізмів, які використовуються в складі окремих модулів конструкції тепловозів (наприклад важільні механізми гальмівної системи, тягові зубчаті передачі та ін.).

Для спрощення виконання подальших досліджень механізм (рис. 1) розглядався у вигляді трьох пов'язаних модулів [6]: початковий модуль (ПМ), що об'єднує елементи 1...6; з'єднувальний модуль (ЗМ), до якого віднесені елементи 7, 8; виконавчий модуль (ВМ), що містить елементи 9...13.

Другий етап досліджень був присвячений аналізу особливостей форм контактуючих поверхонь ГМ елементів конструкції з метою подальшого проведення складальних операцій. На рис. 2-4 наведено пронумеровані поверхні зазначених елементів виділених модулів механізму, а в табл. 1 – їх характеристики. Ці результати необхідні при розробці алгоритму поелементного синтезу, а саме при виборі команд середовища сучасного програмного забезпечення для спряження відповідних поверхонь.

Відповідно до запропонованого підходу, на першому етапі робіт були проаналізовані особливості конструкції елементів механізму привода клапанів для одного циліндра дизеля, а також визначені особливості їх взаємодії.

На рис. 4 подана геометрична модель опори (лотка та кришки циліндрів) для розміщення секції розподільного вала в лотку дизеля та клапанів в кришці циліндрів.

На третьому етапі проаналізовано такі запропоновані види стандартних спряжень в середовищі сучасного програмного забезпечення: 1 – збіг; 2 – концентричність; 3 – кут; 4 – відстань; 5 – паралельність; 6 – перпендикулярність; 7 – тангенс; 8 – дотичність (запропонована нумерація використана в табл. 1 та 2).

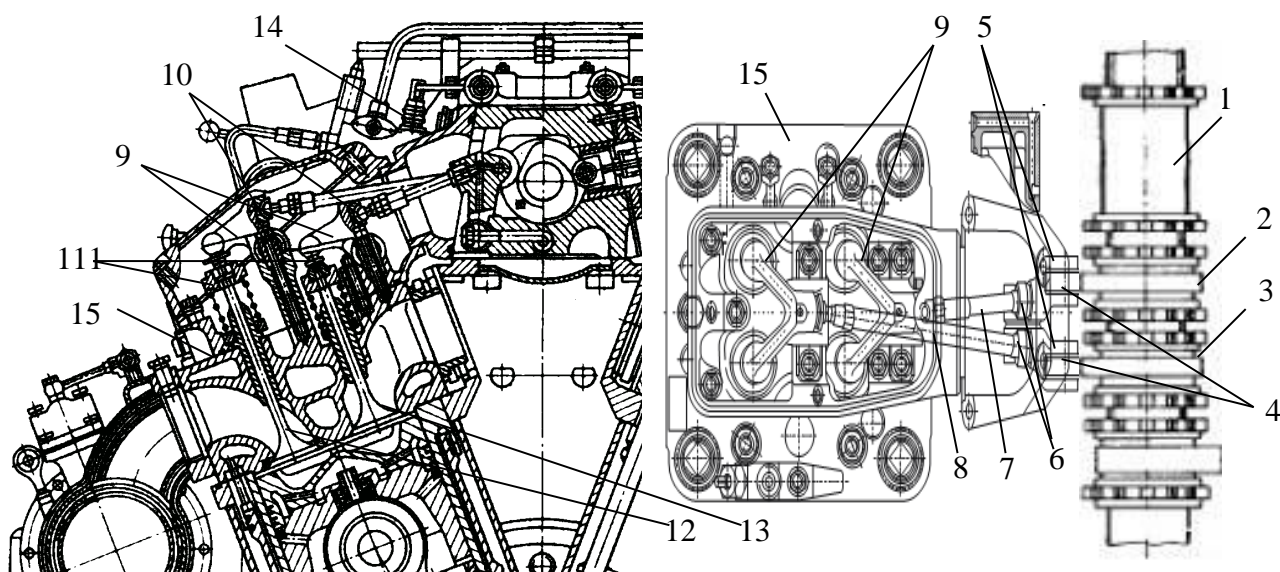


Рис. 1. До розглядання особливостей конструкції елементів механізму привода клапанів одного циліндра дизеля Д49: 1 – секція розподільного вала; 2 – впускний кулачок; 3 – впускний кулачок; 4 – ролики; 5 – штовхачі; 6 – упори; 7 – впускна штанга; 8 – випускна штанга; 9 – траверси; 10 – ковпачки гідроштовхачів; 11 – бойки; 12 – випускний клапан; 13 – впускний клапан; 14 – кришка циліндра; 15 – лоток

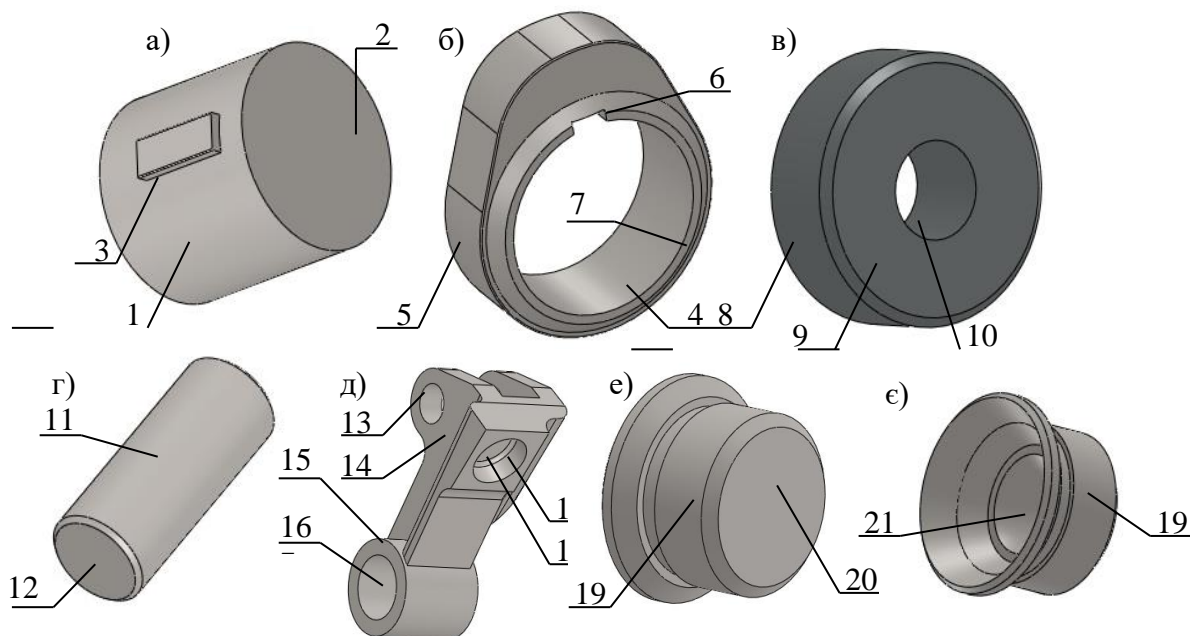


Рис. 2. Поверхні геометричних моделей елементів ПМ

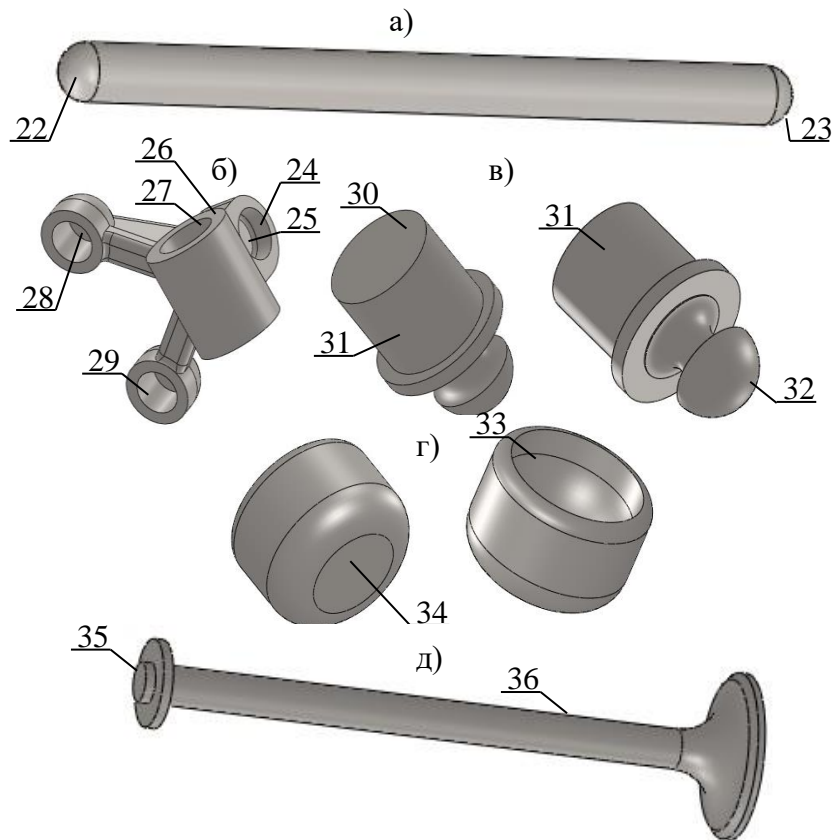


Рис. 3. Поверхні геометричних моделей елементів ЗМ і ВМ

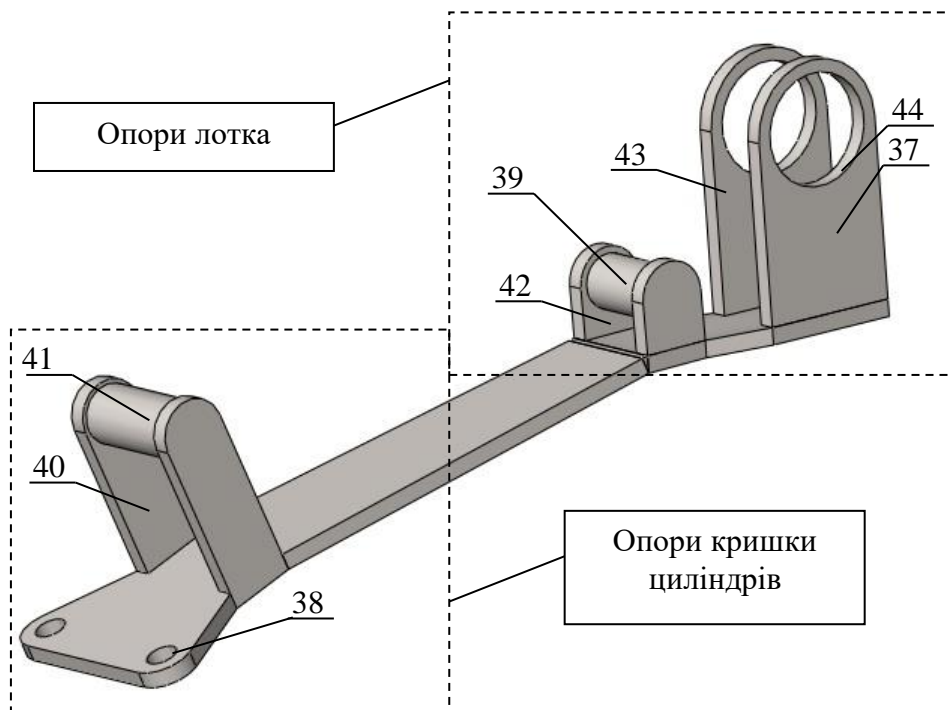


Рис. 4. Геометрична модель опори секції розподільного вала і напрямних клапанів

Таблиця 1

Результати аналізу поверхонь елементів модулів підсистеми розподільного вала

Номер поверхні	Елемент модуля	Вид поверхні елементів	Можливі спряження	Примітка
1	Вал	Циліндр	1-8	Рис. 2, а
2	Вал	Площина	1, 3-8	Рис. 2, а
3	Вал	Площина	1, 3-8	Рис. 2, а
4	Кулак	Площина	1, 3-8	Рис. 2, б
5	Кулак	Складна	9	Рис. 2, б
6	Кулак	Площина	1, 3-8	Рис. 2, б
7	Кулак	Площина	1, 3-8	Рис. 2, б
8	Ролик	Циліндр	1-8	Рис. 2, в
9	Ролик	Площина	1, 3-8	Рис. 2, в
10	Ролик	Циліндр	1-8	Рис. 2, в
11	Палець	Циліндр	1-8	Рис. 2, г
12	Палець	Площина	1, 3-8	Рис. 2, г
13	Штовхач	Циліндр	1-8	Рис. 2, д
14	Штовхач	Площина	1, 3-8	Рис. 2, д
15	Штовхач	Площина	1, 3-8	Рис. 2, д
16	Штовхач	Циліндр	1-8	Рис. 2, д
17	Штовхач	Циліндр	1-8	Рис. 2, д
18	Штовхач	Площина	1, 3-8	Рис. 2, д
19	Упор	Циліндр	1-8	Рис. 2, е
20	Упор	Площина	1, 3-8	Рис. 2, е
21	Упор	Сфера	1,2,4,7,8	Рис. 2, є
22	Штанга	Сфера	1,2,4,7,8	Рис. 3, а
23	Штанга	Сфера	1,2,4,7,8	Рис. 3, а
24	Траверса	Циліндр	1-8	Рис. 3, б
25	Траверса	Площина	1,3-8	Рис. 3, б
26	Траверса	Площина	1,3-8	Рис. 3, б
27	Траверса	Циліндр	1-8	Рис. 3, б
28	Траверса	Площина	1,3-8	Рис. 3, б
29	Траверса	Циліндр	1-8	Рис. 3, б
30	Штовхач траверси	Площина	1,3-8	Рис. 3, в
31	Штовхач траверси	Циліндр	1-8	Рис. 3, в
32	Штовхач траверси	Сфера	1,2,4,7,8	Рис. 3, в
33	Ковпачок	Сфера	1,2,4,7,8	Рис. 3, г
34	Ковпачок	Площина	1,3-8	Рис. 3, г
35	Клапан	Площина	1,3-8	Рис. 3, д
36	Клапан	Циліндр	1-8	Рис. 3, д
37	Опора	Площина	1,3-8	Рис. 4
38	Опора	Циліндр	1-8	Рис. 4
39	Опора	Циліндр	1-8	Рис. 4
40	Опора	Площина	1,3-8	Рис. 4
41	Опора	Циліндр	1-8	Рис. 4
42	Опора	Площина	1,3-8	Рис. 4
43	Опора	Площина	1,3-8	Рис. 4
44	Опора	Циліндр	1-8	Рис. 4

Алгоритм складання ГМ МПК

Номер операції	Елементи модулів	Поверхні елементів	Спряження в SolidWorks	Примітка
1	Опора, вал	2, 37	Збіг	Рис. 4 та 2а
2	Опора, вал	1, 44	Концентричність	Рис. 4 та 2а
3	Вал, кулак	3, 6	Збіг	Рис. 2а та 2б
4	Вал, кулак	1,4	Концентричність	Рис. 2а та 2б
5	Кулак, опора	7,43	Збіг	Рис. 2б та 4
6	Опора, штовхач	39, 16	Концентричність	Рис. 4 та 2д
7	Опора, штовхач	15, 42	Збіг	Рис. 4 та 2д
8	Штовхач, палець	11,13	Концентричність	Рис. 2г та 2д
9	Штовхач, палець	12, 14	Збіг	Рис. 2г та 2д
10	Палець, ролик	10,11	Концентричність	Рис. 2в та 2г
11	Ролик, штовхач	9, 14	Відстань	Рис. 2в та 2д
12	Кулак, ролик	5, 8	Штовхача клапана	Рис. 2б та 2в
13	Штовхач, упор 1	19, 17	Концентричність	Рис. 2д та 2е
14	Штовхач, упор 1	18, 20	Збіг	Рис. 2д та 2е
15	Упор 1, штанга	21, 22	Концентричність	Рис. 2е та 3а
16	Опора, траверса	41, 27	Концентричність	Рис. 4 та 3б
17	Опора, траверса	40, 26	Збіг	Рис. 4 та 3б
18	Траверса, упор 2	24, 19	Концентричність	Рис. 3б та 2е
19	Траверса, упор 2	25, 20	Збіг	Рис. 3б та 2е
20	Упор 2, штанга	21, 23	Концентричність	Рис. 2е та 3а
21	Штовхач траверси, траверса	31, 29	Концентричність	Рис. 3б та 3в
22	Штовхач траверси, траверса	30, 28	Збіг	Рис. 3б та 3в
23	Ковпачок, штовхач траверси	33, 32	Концентричність	Рис. 3д та 3г
24	Клапан, основа	36, 38	Концентричність	Рис. 3д та 4
25	Клапан, ковпачок	35, 34	Збіг	Рис. 3д та 3г

Слід зазначити, що також є можливість використання ряду додаткових та механічних спряжень, серед яких було використано лише 9 – спряження штовхача клапана. Відповідно до виду поверхні або кромки використання зазначених спряжень обмежене.

Проаналізовані особливості взаємодії між елементами конструкції привода клапанів надали можливість скласти

алгоритм побудови її геометричної моделі, що наведено у табл. 2.

На п'ятому етапі використання наведеного алгоритму дозволило розробити геометричну модель механізму привода випускних клапанів тепловозного дизеля Д49, яка подана на рис.5 (нумерація елементів збігається з рис. 1; геометрична модель привода випускних клапанів побудована аналогічно наведена і в статті не подана).

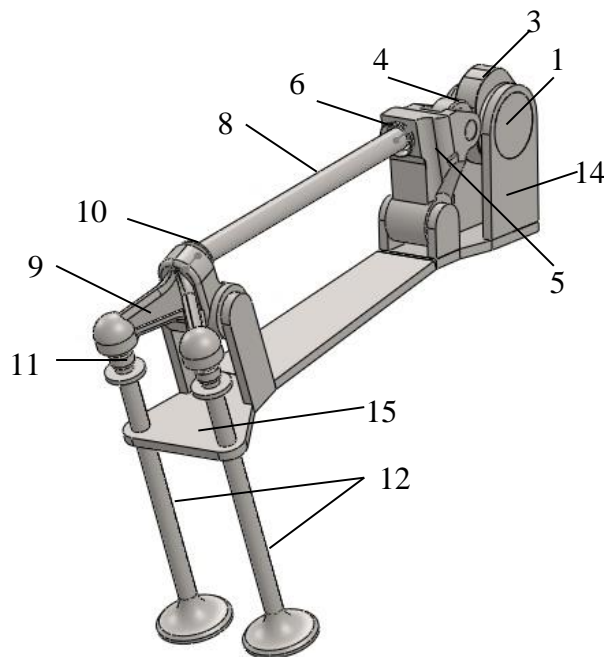


Рис. 5. Геометрична модель механізму привода випускних клапанів дизеля Д49

Висновки і рекомендації з подальшого використання отриманих результатів. Розроблена геометрична модель механізму привода клапанів тепловозного дизеля Д49 є основою для створення відповідної 3D моделі. До переваг такої моделі в порівнянні з експериментальними дослідженнями слід віднести суттєве скорочення витрат при

забезпеченні високої точності визначення характеристик руху та показників напружено-деформованого стану деталей підсистеми розподільного вала.

Висвітлені в статті особливості поелементного синтезу можуть використовуватись в дослідженнях різних механізмів відповідних підсистем конструкції тепловоза [7].

Список використаних джерел

1. Боднар, Б. Є. Теорія та конструкція локомотивів. Основи проектування [Текст]: підручник для ВНЗ залізничного транспорту / Б. Є. Боднар, Є. Г. Нечаєв, Д. В. Бобир; під ред. д-ра техн. наук, проф. Б.Є. Боднара. – Дніпропетровськ: ПП «Ліра ЛТД», 2010. – 358 с.
2. Тіщенко, В. С. Новий підхід до розрахункових досліджень механізмів локомотивної енергетичної установки з V-подібним дизелем [Текст] / В. С. Тіщенко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 86. – С. 122 – 128.
3. Yuliang Xu, Ziqin Wang, Jiadui Chen. Hydraulic variable valve system for improving the performance of internal combustion engine [Text] // Naukovyi visnyk natsionalnoho hirnychoho universytetu. – 2016. – VOL. 1. – PP. 53-58.
4. Тику, Ш. Эффективная работа SolidWorks 2004 [Текст] / Ш. Тику. — СПб.: Питер, 2005. — 768 с.
5. Guobao Xiao, Hanzi Wang, Yan Yan, Liming Zhang. Mode seeking on graphs for geometric model fitting via preference analysis [Text] / Pattern Recognition Letters. – 2016. – Vol. 83. – P. 294-302.

6. Мороз, В. І. Особливості побудови геометричних моделей елементів модулі підсистеми розподільного вала тепловозного дизеля Д49 [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, В. С. Тищенко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 160. – С. 128-134.

7. Братченко, О. В. Блочно-ієрархічне описання конструкції сучасних тепловозів [Текст] / О. В. Братченко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 136-141.

Мороз Володимир Ілліч, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-51. E-mail: mpmkafedra@gmail.com.

Братченко Олександр Васильович, канд. техн. наук, професор кафедри механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-53. E-mail: mpmkafedra@gmail.com.

Тищенко Вадим Сергійович, канд. техн. наук, доцент кафедри механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-53. E-mail: mpmkafedra@gmail.com.

Moroz Volodimir Illich, doct. tech. sciences, professor, manag. of department mechanical engineers and designing the machines Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-53. E-mail: mpmkafedra@gmail.com.

Bratchenko Alexander Vasilyevich cand. tech. sciences, professor department mechanical engineers and designing the machines Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-53.

Tishchenko Vadim Sergeevich cand. tech. sciences, docent department mechanical engineers and designing the machines Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-53. E-mail: mpmkafedra@gmail.com.

Стаття прийнята 21.11.2016 р.

УДК 624.042: 624.046

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ В СЛУЧАЕ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

Канд. техн. наук А. Н. Шаповалов, асп. В. В. Руденко

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ БАГАТОПОВЕРХОВИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ У ВИПАДКУ ПРОГРЕСУЮЧОГО РУЙНУВАННЯ

Канд. техн. наук А. М. Шаповалов, асп. В. В. Руденко

THE THEORETICAL BACKGROUND OF RELIABILITY OF MULTISTORIED REINFORCED-CONCRETE SKELETON-TYPE BUILDINGS IN CASE OF PROGRESSIVE COLLAPSE

Phd., tehn. A. N. Shapovalov, sciences, pg. V. V. Rudenko

В статтє приводится детальний анализ определения одного из вариантов параметров надежности в системе железобетонного каркаса здания на примере двенадцатиэтажного безригельного каркаса. Рассмотрена методика определения вероятности безотказной работы каркаса в случае прогрессирующего обрушения с учетом повышения процента армирования колонн и повышения класса бетона. Установлено, что повышение класса бетона оказывается более благоприятным условием для обеспечения стабилизации разрушения по сравнению с повышением процента армирования колонн.

Ключевые слова: надежность, прогрессирующее обрушение, показатель вероятности безотказной работы, железобетонный каркас, модели несущих элементов.

У статті подано детальний аналіз визначення одного з варіантів параметрів надійності в системі залізобетонного каркаса будівлі на прикладі дванадцятиповерхового безригельного каркаса. Розглянуто методику виявлення ймовірності безвідмовної роботи каркаса у випадку прогресуючого обвалення з урахуванням підвищення відсотка армування колон та підвищення класу бетону. Встановлено, що підвищення класу бетону виявляється найбільш сприятливою умовою для забезпечення стабілізації руйнування порівняно з підвищенням відсотка армування колон.

Ключові слова: надійність, прогресуюче обвалення, показник ймовірності безвідмовної роботи, залізобетонний каркас, моделі несучих елементів.

This article presents the detailed analysis of determination of one of the variants of reliability parameters as for the system of reinforced concrete building frame by the example of twelve-storied jointless frame without girders and joints. Building plan dimension is 24x24 m, reinforced concrete column grid is 6x6 m, columns section is 400x400 mm, story height is 3 m and monolithic slab thickness is 200 mm. The article presents the method of determination of reliability index of frame in case of progressive collapse taking into account increase of columns reinforcement ratio and concrete grade. Block modeling system consisting of three blocks of elements (columns, floors and joints) was assigned during assessment of chosen model.

SCAD office software was used for determination of number of collapsed element at every block under condition of removal of one column on ground floor. Reliability theory was employed for determination of reliability index of building frame under condition of changing the columns reinforcement of the first four floors from 1.25% to 5%. The calculated reliability index was 0.953. Similar assessments were performed for a given model under condition of replacement of C20/25 concrete grade with C40/50 at an interval of one step. In this case the calculated reliability index was 0.986.

It was determined that the higher concrete grade is more preferable for collapse stabilizing in compare with increase of columns reinforcement ratio.

Keywords: reliability, progressive collapse, reliability index, reinforced concrete skeleton frame, load-bearing elements models.

Введение. В настоящее время в проектной и строительной практике в соответствии с нормативными требованиями [1, 2] все чаще и чаще рассматриваются вопросы обеспечения надежности и безопасности эксплуатации объектов архитектуры, особенно в случае их повышенной ответственности и социальной значимости. Немаловажным вопросом в этом случае является также расчет объекта на прогрессирующее обрушение.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам расчета многоэтажных железобетонных зданий и сооружений на прогрессирующее обрушение на

сегодняшний день посвящено ряд работ отечественных и зарубежных ученых и исследователей [3, 4, 5]. В этих статьях акцентируется внимание на алгоритм расчета каркасных зданий в случае прогрессирующего обрушения, особое внимание уделяется методике снижения последствий этого процесса, но недостаточно данных о теоретических основах обеспечения надежности многоэтажных железобетонных каркасных зданий в случае прогрессирующего обрушения.

Определение цели и задачи исследования. Целью предложенного

исследования является анализ одной из существующих методик по уменьшению влияния процесса прогрессирующего обрушения на сохранность всего комплекса здания или сооружения [6, 7, 8]. В этом случае определяющими факторами могут служить как конструктивные решения железобетонного каркаса здания, так и процент армирования сечений основных несущих элементов, класс бетона, узловые сопряжения, прочность и жесткость перекрытий, устройство ауригерных этажей и целый ряд дополнительных факторов.

Среди этой группы защитных мероприятий можно выделить такую часть, которая может существенным образом повлиять на надежность и безопасность здания в целом в случае предотвращения или уменьшения влияния процесса прогрессирующего обрушения. К этой части можно отнести усиленное армирование несущих элементов, в частности колонн, и величину класса бетона всего каркаса здания.

Основная часть исследований. Так как произвольное здание или сооружение можно рассматривать как многокомпонентную систему, в состав которой включаются элементы с

определенной степенью надежности, то можно использовать различные подходы в моделировании каркаса здания в целом, пользуясь существующей теорией надежности о взаимосвязи отдельных элементов. Наиболее распространены три основные модели соединения блоков-элементов: последовательное, параллельное и смешанное (комбинированное). Каждый из этих способов соединения элементов имеет свои достоинства и недостатки. Вероятность безотказной работы общей системы $P_s(t)$ при различных моделях в значительной мере зависит от количества элементов n и функций надежности каждого из этих элементов $P_i(t)$.

На рис. 1 приведена зависимость безотказной работы системы $P_s(t)$ на заданном промежутке времени t при различных моделях соединения n элементов общей системы [6]. Каждый элемент в свою очередь имеет показатель безотказности $P_i(t)$. Как видно из графиков, при последовательном соединении показатель безопасности уменьшается с увеличением количества элементов n , в то же время при параллельном соединении увеличение количества элементов системы приводит к увеличению показателя безотказной работы $P_s(t)$.

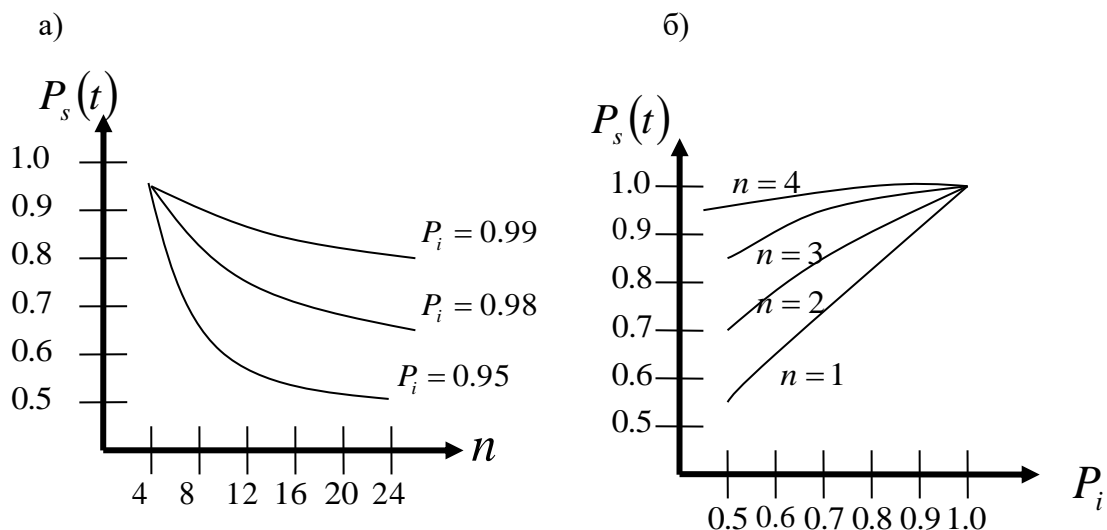


Рис. 1. Вероятность безотказной работы $P_s(t)$ в случае:
а – последовательного соединения элементов; б – параллельного соединения элементов

Рассматривая многокомпонентную систему многоэтажного каркасного здания, где в процессе прогрессирующего обрушения могут выходить из строя отдельные группы элементов, предлагается учитывать в расчете надежности здания параллельную систему соединения отдельных групп элементов здания. На рис. 2 приведена условная модель двенадцатиэтажного каркасного

железобетонного здания, в котором рассмотрена в качестве первого элемента – блок колонн, второго элемента – блок перекрытий, третьего элемента – блок узловых сопряжений. Для каждого из этих блоков определялась вероятность безотказной работы $P_i(t)$, а затем безотказность работы всей системы $P_s(t)$ в зависимости от повышения процента армирования колонн и класса бетона.



Рис. 2. Модель соединения группы основных несущих элементов многоэтажного каркасного здания ($n=3$)

Параметры надежности каждого блока определялись на основании численных методов с применением вычислительного программного комплекса «SCAD office», версия 21.1. Для обеспечения жесткости каркаса были рассмотрены два вида диафрагм жесткости: замкнутого прямоугольного блока и в виде крестообразной формы, при этом в качестве переменного параметра рассматривался процент армирования колонн от 1,25 до 5%, а в качестве разрушенного элемента рассматривалась предпоследняя колонна крайнего ряда К-20 (рис. 3) на первом этаже.

Параметры расчетной модели принимались как наиболее распространенные в практике строительства: размеры здания в плане 24x24 м, сетка колонн 6x6 м,

количество этажей 12, высота этажа – 3 м, сечение колонн 400x400 мм, толщина железобетонной плиты перекрытия 200 мм, переменная нагрузка на перекрытие 4 кН/м². Конструктивная схема модели: монолитный безригельный каркас с жестким сопряжением колонн и плит перекрытий. При использовании вычислительного комплекса «SCAD office» подключался специальный блок «ПО» (прогрессирующее обрушение), на основании которого определялось количество вышедших из строя колонн, количество участков разрушенных перекрытий и ослабленных узлов сопряжений колонн с перекрытиями. Чтобы сократить количество внешних силовых факторов на развитие процесса прогрессирующего обрушения, в расчете

учитывалось влияние только вертикальной нагрузки, равномерно распределенной по

всей поверхности перекрытий на всех этажах.

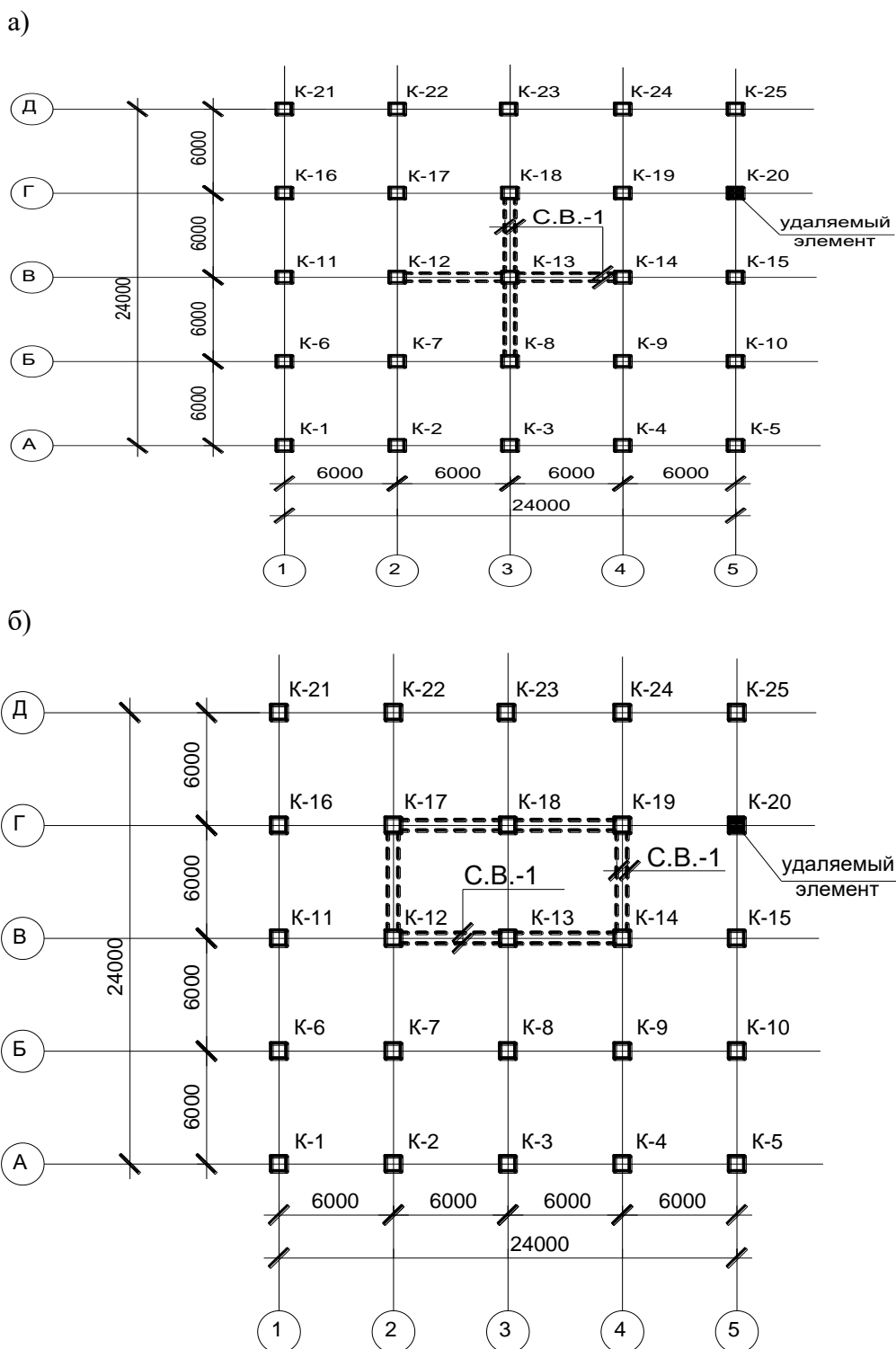


Рис. 3. План двенадцатиэтажного безригельного каркасного здания с нумерацией колонн:
 а – замкнутое расположение диафрагм жесткости; б – крестообразное расположение диафрагм жесткости

В результате произведенных вычислений с учетом выхода из строя одной колонны крайнего ряда первого этажа были получены значения разрушенных несущих элементов здания (колонн, участков перекрытий, стыков) в зависимости от заданных процентов армирования всех колонн первого, второго, третьего и четвертого этажей. Колонны выше расположенных этажей армировались на основании исходного статического расчета и конструктивных требований, то

есть для колонн сечением 400x400 мм принималось армирование 8Ø16 А400С с площадью 16,08 см² и процентом армирования 1,05%. Усиление армирования для этой группы колонн не предусматривалось с той целью, чтобы проанализировать влияние нарастающего процента армирования в колоннах первых четырех этажей на количество разрушенных элементов по всему объему здания. Полученные значения разрушенных элементов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние процента армирования колонн первых 4 этажей на количество разрушенных элементов всего здания при выходе из строя одной колонны первого этажа

Общее количество несущих элементов	Разрушенные элементы при процентах армирования колонн 1 – 4 этажей				
	1,25	2	3	3,8	5,03
Колонны, 300 шт.	48/36	40/30	32/18	15/7	10/3
Перекрытия, 6912 участков	2004/1382	1550/1175	1382/1071	1175/968	899/762
Стыки, 300 шт.	40/30	27/18	19/12	13/6	9/3

Примечание. В числителе указано количество разрушенных элементов при крестообразной диафрагме жесткости внутри здания, в знаменателе разрушенные элементы при замкнутой прямоугольной диафрагме жесткости.

Данные табл. 1 могут быть использованы как статистический материал при оценке теоретической надежности рассматриваемой модели, состоящей из n=3 блоков – элементов при возникновении процесса прогрессирующего обрушения.

Вероятность безотказной работы заданной модели – системы, которая состоит из n элементов, соединенных параллельно [6, 7, 8] может быть определена по формуле:

$$P_s(t) \approx r[P_i(t)_{\max}] + (1-r) \left[1 - \prod_{i=1}^n \{1 - P_i(t)\} \right] \quad (1)$$

где r – обобщенный коэффициент корреляции, который может быть определен по формуле:

$$r = r_m \left\{ 2 - \left[r_m + \frac{(1-r_m)(3-\lg n)}{1-0.1r_m^2(3-\lg n)^2} \right] \right\}, \quad (2)$$

тогда средний коэффициент корреляции:

$$r_m = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{ij} r_{ij}, \quad (3)$$

где n – количество элементов в системе модели;

r_{ij} – коэффициент корреляции по отдельным блокам – элементам [8, 9].

На основі проведених вичислень визначалось кількість зруйнованих колонн по всіх етажах вибраної моделі в залежності від типу діафрагм жорсткості і процента армування колонн в межах перших чотирьох етажів. Було отримано статистичний матеріал, наведений в табл. 1, для можливості визначення необхідних параметрів теорії надійності, зокрема математичне очікування, дисперсія, середнє квадратичне відхилення, статистичні початковий і кореляційні моменти, а також узагальнений коефіцієнт кореляції і параметр надійності $P_s(t)$ [10,11].

Кінцева мета такого розрахунку зводилась до визначення параметра надійності і припинення процесу прогресуючого обвалення будівлі, іншими словами, до стабілізації руйнування несучих елементів.

Показники надійності по елементах склали при $\mu = 1,25\%$:

- для блоку колонн

$$P_1(t) = 1 - \frac{48 + 36}{2 \cdot 300} = 0,86;$$

- для блоку перекриттів

$$P_2(t) = 1 - \frac{2004 + 1382}{2 \cdot 6912} = 0,755;$$

- для блоку стыків

$$P_3(t) = 1 - \frac{40 + 30}{2 \cdot 300} = 0,883.$$

$$\prod_{i=1}^3 = (1 - 0,86)(1 - 0,755)(1 - 0,883) = 0,00401.$$

Несміщені дисперсії для колонн:

$$\tilde{D}_n = \frac{211,98 \cdot 10}{10 - 1} = 235,5,$$

$$\tilde{D}_\mu = \frac{1,74 \cdot 10}{10 - 1} = 1,93.$$

Коефіцієнт кореляції для колонн:

$$r_{\mu n} = \frac{\tilde{k}_{\mu n}}{\tilde{\sigma}_\mu \cdot \tilde{\sigma}_n} = \frac{19,999}{15,34 \cdot 1,382} = 0,943.$$

Несміщені дисперсії для перекриттів: $\tilde{D}_n = 13,09 \cdot 10^4$, $\tilde{D}_\mu = 1,91$.

Коефіцієнт кореляції для перекриттів: $r_{\mu n} = 0,797$.

Несміщені дисперсії для стыків:

$$\tilde{D}_n = 135,57. \quad \tilde{D}_\mu = 1,91.$$

Коефіцієнт кореляції для стыків:

$$r_{\mu n} = 0,813.$$

Середня величина коефіцієнта кореляції для всього будівлі дорівнює:

$$r_m = \frac{2}{3(3-1)} \cdot (0,943 + 0,797 + 0,813) = 0,851.$$

Узагальнений коефіцієнт кореляції визначено за формулою (2):

$$r = 0,851 \left\{ 2 - \left[0,851 + \frac{(1 - 0,851) \cdot (3 - \lg 3)}{1 - 0,1 \cdot 0,851^2 (3 - \lg 3)^2} \right] \right\} = 0,387.$$

Показник надійності і стабільності руйнування при зміні процента армування колонн від 1,25% до 5%

$$P_s(t) = 0,387 \cdot 0,885 + (1 - 0,387)[1 - 0,00401] = 0,953.$$

Аналогічні розрахунки були виконані для розглянутої моделі будівлі при початковому проценті армування колонн з першого по

четвертый этажи, т. е. 1,25 %, но с изменением класса бетона, обеспечивающим уменьшение количества разрушенных элементов здания при повышении класса бетона. В табл. 2 приведены результаты расчета вышеприведенной модели с указанием

количества разрушенных элементов по трем блокам (колонны, перекрытия, стыки) с изменением класса бетона от C20/25 до C40/50. В качестве аварийного (вышедшего из строя) несущего элемента рассматривалась колонна К-20 (рис. 3).

Таблица 2

Влияние класса бетона на количество разрушенных элементов всего здания при выходе из строя одной колонны первого этажа

Общее количество несущих элементов	Разрушенные элементы при классах бетона колонн 1-4 этажей				
	C20/25	C25/30	C32/40	C35/45	C40/50
Колонны, 300 шт.	48/36	44/32	41/30	39/30	37/27
Перекрытия, 6912 участков	2004/1382	1880/1160	1675/924	1508/836	1452/760
Стыки, 300 шт.	40/30	32/24	26/18	18/12	14/8

Примечание. В числителе указано количество разрушенных элементов при крестообразной диафрагме жесткости внутри здания, в знаменателе – разрушенные элементы при замкнутой прямоугольной диафрагме жесткости.

Коэффициенты корреляции при изменении классов бетона равны: для колонн $r_{cn} = 0.4974$, для перекрытий $r_{c,пер} = 0.531$, для стыков $r_{c,c} = 0.905$; средний коэффициент корреляции $r_m = 0.644$, обобщенный коэффициент корреляции $r = 0.087$.

Показатели надежности по блокам-элементам: $P_1(t) = 0.86$; $P_2(t) = 0.755$; $P_3(t) = 0.883$.

$$\prod_{i=1}^3 = (1 - 0.86)(1 - 0.755)(1 - 0.883) = 0.00401.$$

Показатель надежности и стабилизации разрушения при изменении класса бетона от C20/25 до C40/50 равен:

$$P_s(t) = 0.087 \cdot 0.883 + (1 - 0.087)(1 - 0.00401) = 0.986.$$

Таким образом, можно отметить, что повышение класса бетона оказывается более благоприятным условием для обеспечения стабилизации разрушения по сравнению с повышением процента армирования колонн.

Если же рассматривать предельный процент армирования по колоннам первых четырех этажей и определять показатели надежности $P_i(t)$ для колонн, перекрытий и

стыков, то величина $P_s(t)$ существенно повышается и достигает значения 0,995. Однако предельный процент армирования существенно увеличивает расход арматуры по всему зданию и экономически будет неоправдан.

Поэтому целесообразно идти таким путем при проектировании зданий с учетом возникновения прогрессирующего обрушения, чтобы приближаться к

оптимальному проценту армирования колонн (2,5-3,0 %) и одновременно повышать класс бетона колонн до уровня С32/40. Такой же класс бетона можно принимать и для перекрытий. Стыки при этом могут усиливаться за счет установки дополнительной поперечной арматуры. Для каждого случая принятия процента армирования и класса бетона выполняется отдельный расчет.

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Среди существующих в настоящий период мероприятий по предотвращению последствий от прогрессирующего обрушения можно использовать наряду с отдельными мероприятиями конструктивного характера также повышение процента армирования несущих элементов и повышение класса бетона.

Расчет надежности здания с учетом стабилизации процесса разрушения можно выполнять на модели компоновки блоков отдельных несущих элементов с параллельным их соединением. Таких элементов может быть три, четыре, пять и более. Увеличение данных элементов с

определением уровня надежности каждого из них может повышать точность оценки надежности всего здания.

Выполненные теоретические расчеты с трехблочной системой элементов (колонны, перекрытия, стыки) на примере безригельного двенадцатиэтажного монолитного железобетонного каркаса показали, что более эффективным решением при стабилизации процесса разрушения является увеличение класса бетона $R_s(t)=0,986$, увеличение же процента армирования дает показатель надежности $R_s(t)=0,953$.

Наиболее рациональным подходом в решении вопроса о надежности здания при возникновении прогрессирующего обрушения следует считать параллельное увеличение процента армирования несущих элементов и увеличение класса бетона.

В каждом конкретном случае необходимо выполнять специальные расчеты, чтобы набрать достаточный статистический материал и обеспечить выполнение требований нормативных документов по надежности и безопасности эксплуатации проектируемых объектов.

Список использованных источников

1. Гордєєв, В. ДБН В.1.2-14:2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст] / В. Гордєєв, М. Микитаренко, А. В. Перельмутер, В. Шимановський, О. Шимановський. – К., Мінрегіонбуд, 2009. – 48 с.
2. Бамбура, А. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Текст] / А. Бамбура, А. Барашиков, О. Давиденко, О. Голишев та ін. – К., Мінрегіонбуд, 2011. – 70 с.
3. Алмазов, В. О. Проблемы сопротивления зданий прогрессирующему разрушению [Текст] / В. О. Алмазов, А. И. Плотников, Б. С. Расторгуев // Вестник МГСУ. – М.: МГСУ, 2011. – № 2. – С. 15-20.
4. Люблинский, В. А. Безопасность несущих систем зданий при локальном изменении жесткостных характеристик несущих элементов [Текст] / В. А. Люблинский, А. Г. Тамразян // Бетон и железобетон взгляд в будущее: 3-я Всероссийская (2-я Международная) конференция по бетону и железобетону 12-16 мая 2014 г. Т.1. – С. 90-99.
5. Wassim Ghannoum, M. Dynamic Collapse Analysis of a Concrete Frame Sustaining Column Axial Failures. Wassim Ghannoum M. and Moehle Jack P. // ACI Structural journal, technical paper, title no.109-S35 / May-June 2012. p. 403-412.

6. Барашиков, А. Я. Надійність будівель і споруд [Текст] / А.Я. Барашиков, М.Д. Сирота. – Інститут системних досліджень освіти. – К., 1993. – 202 с.
7. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
8. Кудзис, А. П. Оценка надежности железобетонных конструкций [Текст] / А.П. Кудзис. – Вильнюс: Мокслас, 1985. – 156 с.
9. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. пособие / В. Е. Гмурман. – 12-е изд. – М.: ЮРАЙТ, 2012. – 479 с.
10. Самойленко, Н. И. Теория вероятностей [Текст]: учеб. для вузов / Н. И. Самойленко, А. И. Кузнецов, А. Б. Костенко. – Харьков: Изд-во «ХГМТ», 2009. – 199 с.
11. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Наука, 1973. – 365 с.

Шаповалов Александр Микитович, канд. техн. наук доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова. Тел.: 0663821598.

E-mail: ashapovnik@gmail.com.

Руденко Вікторія Володимирівна, аспірант кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова. Тел.: 099-704-97-23. E-mail: rudikv@ukr.net.

Shapovalov Alexander, associate Professor, PhD Department of building structures

Beketov Kharkiv National University of Municipal Economy. Tel.: 0663821598. E-mail: ashapovnik@gmail.com.

Viktoria Rudenko, postgraduate student Department of building structures Beketov Kharkiv National University of Municipal Economy. Tel.: 099-704-97-23. E-mail: rudikv@ukr.net.

Стаття прийнята 24.11.2016 р.

УДК 624.012.2:624.042.8

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТА НА СИСТЕМУ «ОСНОВАНИЕ – ФУНДАМЕНТ – РЕКОНСТРУИРУЕМОЕ ЗДАНИЕ»

Канд. техн. наук О. В. Кичаева

ОЦІНКА ВПЛИВУ ДИНАМІЧНОЇ ДІЇ ТРАНСПОРТУ НА СИСТЕМУ «ОСНОВА – ФУНДАМЕНТ – БУДІВЛЯ, ЩО РЕКОНСТРУЮЄТЬСЯ»

Канд. техн. наук О. В. Кічаєва

INFLUENCE DYNAMIC IMPACT OF TRANSPORT ON THE «BASE – FOUNDATION – RECONSTRUCTED BUILDINGS» SYSTEM

Ph.D. tehn. O. V. Kichaeva

В крупных областных городах обращается особое внимание на перераспределение транспортных потоков, особенно в центральной части города, в связи с чем возникают предложения о направлении части транспорта второстепенными улицами после их расширения и реконструкции. В статье произведена оценка действия динамического воздействия транспорта на систему «основание – фундамент – реконструируемое здание» в сложных инженерно-геологических условиях. В данном случае предполагалось, что

активное трехполосное движение транспорта пойдет мимо кирпичного дома, имеющего более чем почтенный возраст и значительный физический износ. Предложена расчетная схема такой системы, а также решения для определения скоростей движения системы. Определено, что движение автомобильного транспорта вблизи этого здания является опасным для его целостности; установлено вероятность появления резонанса для первых трех частот.

Ключевые слова: динамическое воздействие, колебания, резонанс, система «основание – фундамент – реконструируемое здание».

Визначено, що у великих обласних містах звертається особлива увага на перерозподіл транспортних потоків, особливо в центральній частині міста, у зв'язку із чим виникають пропозиції про направлення частини транспорту другорядними вулицями після їх розширення і реконструкції. Виконано оцінювання дії динамічного впливу транспорту на систему «основа – фундамент – будівля, яка реконструюється» в складних інженерно-геологічних умовах. Передбачалося, що активний трисмуговий рух транспорту піде повз цегляний будинок, що має більш ніж поважний вік і значний фізичний знос. Запропоновано розрахункову схему такої системи, а також рішення для визначення швидкостей руху системи. Визначено, що рух автомобільного транспорту поблизу цієї будівлі є небезпечним для його цілісності; установлено ймовірність появи резонансу для перших трьох частот.

Ключові слова: динамічний вплив, коливання, резонанс, система «основа – фундамент – будівля, що реконструюється».

Accounting for fluctuations that reflect the character of the natural and technogenic loads on the existing buildings and facilities, it is an urgent task for the cities. The major regional cities highlights the redistribution of traffic flows, especially in the central part of the city, in connection with which there are proposals on the transport direction of the on-vtoroste foam streets after expansion and reconstruction. Often, these streets are lined with old buildings that have damage, obsolete physically and mentally, and the base of these buildings become the degraded state due to many years of leakage of water communications.

In this paper, the estimation of influence of dynamic effects of transport «basis – the foundation – reconstructed building» system in difficult engineering-geological conditions. It was assumed that the active three-lane traffic going past the brick house, which has more than respectable age and considerable physical wear and tear.

A design scheme of the system, as well as the decision to determine the velocities of motion of the system. Location of the building along the roadway allows us to consider the work of building and roadbed in two-dimension, namely only in the transverse direction. For the building - a width between adjacent piers for the roadway – a long section of the carriageway width equal to the diameter of the building. As a design scheme is adopted elastic half-plane in the plane strain conditions – to the roadway and surrounding soil for the building – lateral frame, which is in the surrounding soil. Deformation characteristics of the structural elements of the roadway are determined according to their materials, as well as the characteristics of the soil layers are determined based on the kind of soil engineering and geological surveys. To assess the impact of transport on the building model was created to carry out the design scheme of the numerical experiment in the software complex SCAD. The quantities applied loads considered as the amplitude values of load, the frequency characteristics of which lie in the range of the previously obtained frequency spectrum. These characteristics also depend on the transverse dimensions adopted in the calculation scheme. It was determined that the movement of road transport near this building is dangerous for his integrity; it determined the probability of occurrence for the first three resonance frequencies.

Keywords: *dynamic effects, vibrations, resonance system «base – the foundation – reconstructed building».*

Введение. На протяжении всего цикла существования строительного объекта следует учитывать колебания, отражающие характер нагрузок природного и техногенного происхождения, которые не всегда запланированы при проектировании здания (сооружения). Надежность существующих зданий и сооружений зависит от состояния составляющих их конструкций (надземных и подземных), состояния оснований, величины и особенностей воздействия. В крупных областных городах особое внимание должно быть обращено на перераспределение транспортных потоков, особенно в центральной части города, в связи с чем возникают предложения о направлении части транспорта по второстепенным улицам после их расширения и реконструкции. Проблема в том, что зачастую второстепенные улицы застроены зданиями, перешагнувшими 70-100-летний рубеж, имеющими повреждения, устаревшими физическими и морально, а основания этих зданий переходят в деградированное состояние из-за многолетних утечек из водонесущих коммуникаций.

Анализ последних источников исследований и публикаций. В работе М.М. Калюжнюка и В.К. Рудя [1] исследовались параметры колебаний грунта, возникающие при забивке свай и шпунта, и их влияние на здания; результаты легли в основу нормативного документа [2]. Определено, что повреждения зданий и сооружений обусловлены неравномерными осадками, возникающими вследствие прохождения волн от забиваемых свай в грунтах оснований этих зданий (сооружений). Грунт рассматривается как твердое деформируемое тело в силу того, что основную часть энергии несут именно поперечные и рэлеевские волны. В качестве

модели грунта используется упругое полупространство, материал его принят идеально упругим, однородным и изотропным, а связь между напряжениями и деформациями линейной. Такие допущения достаточно согласуются с опытными данными. Рассмотрена вероятность появления трещин более 0,5 мм в зависимости от различных аргументов (возраст здания, этажность, конструкция материала стен, состояние здания, тип фундамента, тип грунта). Определены допустимые скорости колебаний грунтов в зависимости от вида и конструктивных особенностей зданий и сооружений, этот диапазон варьируется от 0,4 до 6 см/с. Получены зависимости динамических напряжений в кладке стен, а также в грунте под фундаментами от частоты колебаний грунта и жесткости основания.

В монографии В. И. Осипова [3] всесторонне изучены динамические явления, развивающиеся в дисперсных грунтах, принципиально различных по своей природе: существуют механизмы тиксотропного, гравитационного и пльвунного разжижения дисперсных грунтов. Л. Р. Ставницер в книге [4] изложил результаты исследований влияния сейсмических колебаний на прочностные свойства грунтов. При этом рассматривается влияние направления сейсмических воздействий на устойчивость оснований.

Постановка цели и задачи исследования. В контексте изучения особенностей деформирования системы «основание – фундамент – реконструируемое здание» в некоторых случаях требуется оценить влияние динамических воздействий от транспорта на здание, уже имеющее физический износ, определить вероятность появления резонанса для различных частот.

Поэтому целью данной работы являлась оценка влияния динамического воздействия от трех полос транспорта на систему «основание – фундамент – реконструируемое здание». При этом рассматриваемое здание имеет многочисленные дефекты и повреждения, а основания являются замоченными.

Основная часть исследования.

Натурное обследование здания. Обследованное здание жилого дома расположено в центральной части Харькова и имеет в плане Г-образную форму. Более короткая часть его фасада имеет размер 13,83 м, участок поворота – 1,93 м и длинная часть дворового фасада – 57,45 м (по внешнему обводу). Ширина здания 7,00 м в осях. Острая торцевая его часть имеет размеры 8,2 м. Высота 3-этажной части дома 13,5 м, 2-этажной части – около 10 м.

Здание имеет разную этажность: в осях «1» – «6» – 3 этажа, в осях «7» – «8» – 2 этажа. Подвал располагается под всем зданием, в нем расположены канализационная сеть, трубы водопровода и теплоснабжения.

Сооружение является бескаркасным, с продольными и поперечными несущими стенами. Оно имеет жесткую конструктивную схему.

Фундаментные (подвальные) стены под внутренними и наружными стенами здания выполнены из кирпичной кладки, толщина подвальных стен 700 мм. Глубина заложения фундамента очень большая. По данным вскрытия фундамента у торцевой стены, отметка подошвы фундамента находится на глубине 8 м (фундамент бетонный на кирпичном щебне).

Контрольные скважины показали, что в разных частях здания фундаменты опираются на различные грунты: в пределах осей «1» – «5» – на пески мелкие средней плотности с характеристиками: плотность $\rho = 19,28 \text{ кН/м}^3$; влажность $w = 0,26$; модуль деформации $E = 23 \text{ МПа}$; угол внутреннего трения $\varphi = 27$; удельное сцепление $c = 1 \text{ кПа}$; в пределах осей «5» –

«8» – на алевролиты палеогенового возраста тугопластичные с характеристиками: $\rho = 17,29 \text{ кН/м}^3$, влажность $w = 0,48$, модуль деформации $E = 15 \text{ МПа}$, $\varphi = 20$, $c = 27 \text{ кПа}$.

Стены подвала – из керамического кирпича, толщина стен 700 мм. Фундаменты являются продолжением стен подвала. Высота подвала около 3 м. Надподвальное перекрытие – железобетонное по металлическим балкам с шагом 0,8-0,85 м, толщина железобетонной плиты – 100-120 мм, в качестве крупного заполнителя использован кирпичный щебень.

Стены здания также из керамического кирпича. На третьем этаже в осях «1» – «6» и на втором этаже в осях «7» – «8» наружная стена по оси «А» деревянная. При испытаниях кирпича определено, что он примерно соответствует марке М50 (в стенах подвала) и М75 (в стенах этажей). Средняя прочность раствора кладки (условная марка) на сухих участках стен составляет $32,6 \text{ кгс/см}^2$ (3,2 МПа). Прочность раствора в мокрых стенах подвала значительно ниже – в среднем $10,29 \text{ кгс/см}^2$ (1,0 МПа).

Междуэтажные перекрытия – железобетонные по металлическим двутавровым балкам, шаг балок – 800-900 мм, чердачное перекрытие – деревянное балочного типа. Высота 1-го и 2-го этажей в 3-этажном здании (оси «1» – «6») – 3,57 м (в чистоте), высота 3-го этажа – 3,07 м в квартире и 2,7 м на лестничной клетке (в чистоте). Высоты 1-го и 2-го этажей 2-этажного здания – 3,87 и 3,25 м соответственно.

Крыша – одно- и двухскатная, с полупроходным чердаком. Несущими конструкциями являются деревянные стропила, которые посередине поддерживаются подкосами из бревен и опираются на стойки из круглых бревен.

Натурные обследования выявили наличие в несущих наружных стенах следующих дефектов. Кирпичная кладка по главному фасаду имеет множественные

трещины шириной раскрытия от волосных до 20 мм (см. рис. 1). Большинство трещин располагаются в уровне 1-го этажа, меньшая часть – в уровне 2-го этажа. Отмечаются трещины шириной раскрытия 2-5 мм и в простенках, которые пересекают 6-8 рядов кладки. Наблюдается разрушение и расслоение кирпичной кладки, в некоторых местах до высоты цоколя. Обширные участки стен главного фасада

сильно замачиваются атмосферными водами во время дождя в результате неудовлетворительного состояния водосточных труб, а также обрывом одной из них на уровне перекрытия 2-го этажа. Замачивание также обусловлено и самой конструкцией крыши, при которой атмосферная вода имеет возможность прямо попадать на стены здания.

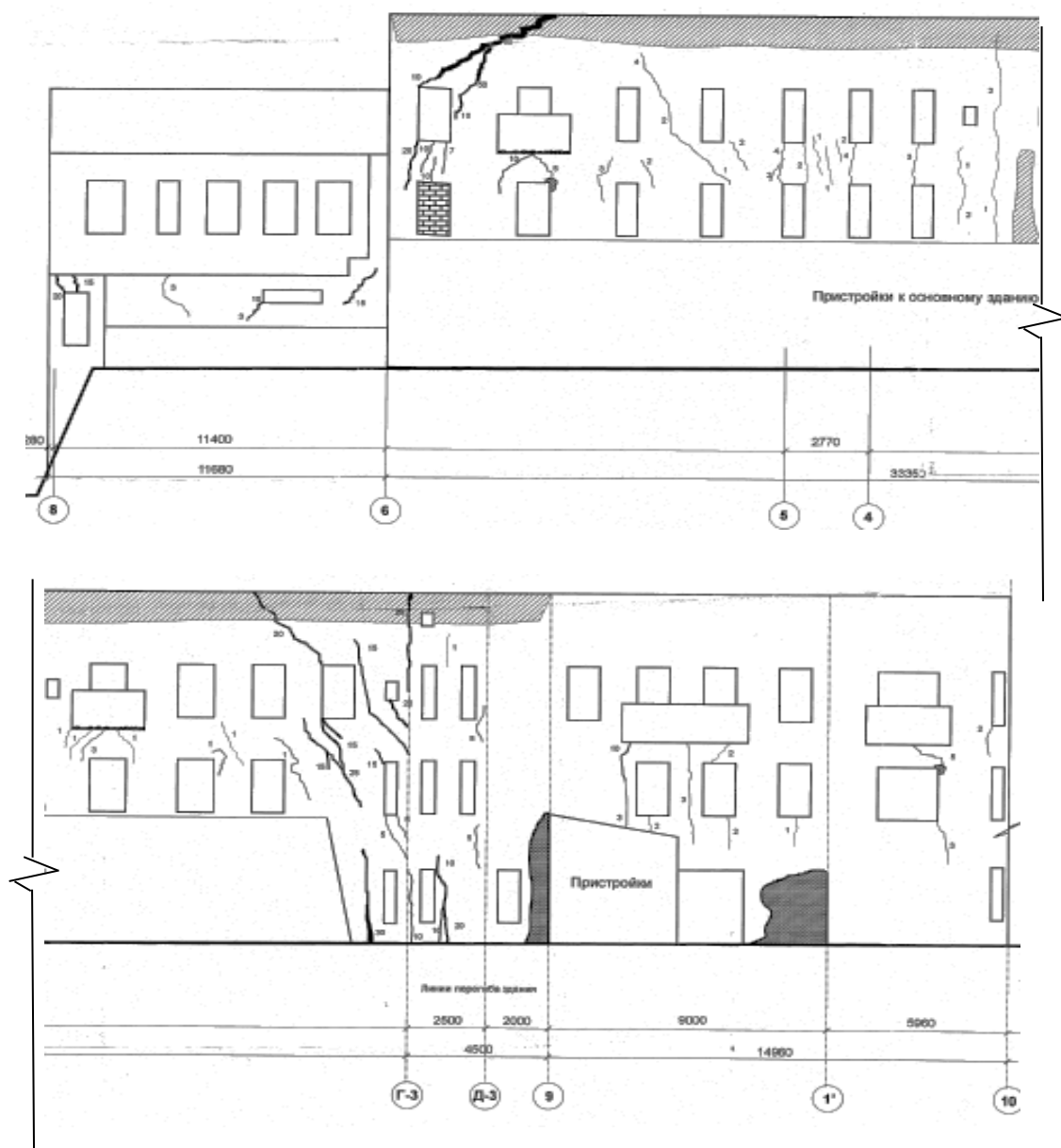


Рис. 1. Развертка здания, дворовой фасад

Основной причиной возникших в здании деформаций является его неудовлетворительная эксплуатация, следствием которой есть:

1) вымывание, вынесение и превращение грунтов основания в грунты с большим показателем текучести, превышающем 1, вследствие испорченных систем ВК;

2) систематическое замачивание кирпичных стен здания, фундаментов и грунтов вследствие неудовлетворительного состояния отмостки и водосточных труб.

Вышеуказанные явления привели:

1) к значительным неравномерным осадкам здания, следствием которых явилось возникновение в них дополнительных усилий, превышающих допустимые, и перераспределение напряжений в несущих конструкциях. Это проявилось следующим образом: в возникновении многочисленных трещин в несущих стенах с максимальной шириной раскрытия до 60 мм, в появлении отколов и расслоения кирпичной кладки; в разрушении опорных участков перемычек, в перекосе оконных и дверных проемов, в выпучивании стены из плоскости, в прогибе перекрытий и несущих стен, в отклонении конструкций от проектного положения и отсутствии должного их опирания, в просадке фундаментов, отрыве их от стен подвала и обрушении участков стен подвала;

2) коррозии несущих конструкций в виде: разрушения защитного слоя бетона в плитах перекрытий и балконов; коррозии кирпичной кладки стен подвала и фундаментов; коррозии металлических элементов; загнивания деревянных конструкций.

По виду влияния на материал несущих конструкций все эти проявления имеют физическое, химическое и биохимическое происхождение.

Еще одной причиной износа здания является его более чем столетний возраст. Нормами установлен срок службы таких

зданий при нормальных условиях в 100-125 лет. Однако опыт показывает, что в нормальных эксплуатационных условиях большинство конструкций не исчерпывают физико-механических свойств материала, и поэтому нормативные сроки службы являются в значительной мере условными, т.е. технический срок службы обычно больше нормативного.

Помимо физического износа здания наблюдается и его моральный износ.

Распространение колебаний в грунтах. Колебательные системы могут подвергаться различным воздействиям, которые отражают различную природу или характер колебательных процессов [5, 6]. Все колебательные процессы классифицируются по различным признакам и их можно включить в следующие группы [7]:

– детерминированные процессы (периодические, гармонические, полигармонические, непериодические, почти периодические, переходные);

– случайные (стационарные, эргодические, неэргодические, нестационарные со своей классификацией по типам нестационарностей);

– импульсные (ударные).

В грунтах распространяются продольные волны, при которых грунт испытывает деформации растяжения и сжатия и поперечные волны, при которых возникают деформации сдвига и поворота. Продольные волны распространяются в грунте с большей скоростью, чем поперечные. В гравии и щебне средней крупности, каким является основание полотна проезжей части, величины скоростей для продольных и поперечных волн соответственно составляют [9-11, 15]: $C_1 = 760$ м/с; $C_2 = 180$ м/с.

Таким образом, колебания, возникающие от движения машин по дорожному полотну, находящемуся на расстоянии трех метров, достигают поверхности стен подвала здания за время t , равное

$$t = 3/760 = 3,95 \cdot 10^{-3} \text{ c}; \quad t = 3/250 = 0,012 \text{ c}, \quad (1)$$

т.е. по человеческому восприятию времени практически мгновенно.

Уровень колебаний, распространяющихся в грунте от вибраций, возникающих под воздействием автомобильного транспорта, можно оценить по формуле [4, 10]

$$A_{\delta,h} = A_{0,v,h} \left(\frac{1}{\delta [1 + (\delta - 1)^2]} + \frac{\delta^2 - 1}{(\delta^2 + 1) \sqrt{3\delta}} \right), \quad (2)$$

где $A_{\delta,h}$ – амплитуда вертикальных (горизонтальных) колебаний грунта;

$A_{0,v,h}$ – амплитуда вынужденных колебаний источника в уровне $\delta = r/r_0$, где r_0 – приведенный радиус подошвы источника колебаний.

Тогда при $r_0 = 1 \text{ м}$; $\delta = 3,0/1 = 3,0$; $r = 3,0 \text{ м}$ по формуле (2) имеем $A_{\delta,h} = 0,34 \cdot A_{0,v,h}$.

Частотный спектр возникающих колебаний. Частота колебаний зависит от расстояния между задними и передними колесами автомобилей, от скорости движения, а также от неровностей дорожного полотна.

В среднем частоту колебаний можно оценить по формуле [10]

$$f = V/B, \quad (3)$$

где v – скорость движения автомобиля;

B – расстояние между передними и задними колесами. Учитывая, что скорость автомобилей, как и расстояние между автомобилями, может меняться в широких пределах, считаем, что спектр частот является практически сплошным в диапазоне частот 0,36-8 Гц (при расчете по формуле (3)).

Воздействие движения транспорта на основание под фундаментом здания. Учитывая соотношения (1) для времени достижения здания продольными и поперечными волнами колебаний, а также результат расчета по формуле (3), свидетельствующий о малой степени

затухания амплитуд волн, можно полагать, что колебания здания будут происходить одновременно с колебаниями дорожного полотна с частотами, лежащими в пределах соотношений (2).

Колебания в основном носят вертикальный характер, поскольку дорожное полотно расположено параллельно главному фасаду здания. Горизонтальные колебания могут возникнуть от неровностей дорожного полотна, при котором происходят поперечные колебания автомобилей, а также при объезде стоящего транспорта либо при обгоне. Можно считать, что частоты горизонтальных колебаний находятся в пределах, определяющихся по формуле (2).

При криволинейном движении под влиянием центробежных сил инерции происходит перераспределение квазистатических собственных вертикальных давлений колес в поперечной плоскости [10]. Динамический эффект бокового воздействия автомобиля не превышает 10 % вертикального статического давления колес для эксплуатационных скоростей движения современных легковых автомобилей.

Боковые квазистатические воздействия F_q зависят только от центробежных сил инерции и могут быть найдены по формулам [12]:

– для задних колес

$$F_1 = (m_1 + Mb/B) \cdot \frac{v^2}{2r}, \quad (4)$$

– для передних колес

$$F_2 = (m_2 + Ma/B) \cdot \frac{v^2}{2r}, \quad (5)$$

где m_1 и m_2 – соответственно массы передних и задних колес;

M – масса автомобиля с пассажирами;

a и b – соответственно расстояние от центра тяжести до передних колес и задних колес.

Суммарная величина бокового воздействия равна

$$F = Gv^2/g2r, \quad (6)$$

где G – вес автомобиля с пассажирами;

V – скорость движения автомашин;

R – радиус обгона (объезда).

Средняя величина амплитуды бокового давления, вызывающая горизонтальные колебания, найдена по формуле (6) и равна $0,5F$.

Величина A может меняться в широких пределах (тс): $0 < F < 0,6$.

Силы торможения, действующие вдоль проезжей части, не являются периодическими нагрузками, поэтому не опасны для здания.

На величины вертикальных нагрузок влияют неровности проезжей части. Размеры неровностей могут быть найдены путем натурных испытаний. В то же время стационарный микропрофиль проезжей части по нормам [10] не должен создавать дополнительную вертикальную нагрузку более $0,3 \text{ Mg}$, микропрофиль с одиночными неровностями должен создавать нагрузку не более $0,5 \text{ Mg}$.

Таким образом, на дорожное полотно, непосредственно связанное с основанием под фундамент рассматриваемого жилого здания (расстояние от проезжей части до здания равно 3 м), действуют следующие нагрузки:

– вертикальная –

$$F_z = 1,3G_m \cdot f_1(t), \quad (7)$$

– горизонтальная –

$$F_z = 0,5 \cdot f_1(t), \quad (8)$$

где G_m – вес легковых автомашин;

F – боковая нагрузка, определяемая по формуле (6);

$f_{1(t)}$ – периодическая функция, частотный диапазон которой лежит в пределах $0,4 < F < 8 \text{ Гц}$.

Обоснование и выбор расчетной схемы для основания под фундаментом здания и проезжей части дорожного полотна. Расположение здания вдоль дорожного полотна позволяет рассматривать работу сооружения и земляного полотна в двухмерном измерении, а именно только в поперечном направлении. Для здания – это поперечник между соседними простенками (либо между соседними окнами). Для дорожного полотна – это участок длинной проезжей части, равный ширине поперечника здания.

Таким образом, в качестве расчетной схемы принимается упругая полуплоскость в условиях плоской деформации – для дорожного полотна и окружающего грунта, для здания – поперечная рама, находящаяся в окружающем грунте. Деформационные характеристики конструктивных элементов дорожного полотна определяются в соответствии с их материалами также, как и характеристики слоев грунта определяются видом грунта на основании инженерно-геологических изысканий. Деформационные характеристики поперечника здания определяются деформационными характеристиками материалов стен, перекрытий, стен подвала и фундаментов, найденными путем лабораторных исследований. Эти характеристики зависят также от поперечных размеров в принятой расчетной схеме.

Коэффициенты поглощения энергии, по Сорокину, для кирпичной кладки принимаются равными [9, 11]:

– кирпичная кладка: $\psi = 0,24$, $\phi_{cp} = 0,038$;

– перекрытие: $\psi = 0,44$, $\phi_{cp} = 0,07$.

Модель динамической расчетной схемы здания представлена на рис. 2 в виде системы с конечным числом степеней

свободы. Динамическая расчетная схема содержит 34 точечные массы и обладает 68 степенями свободы.

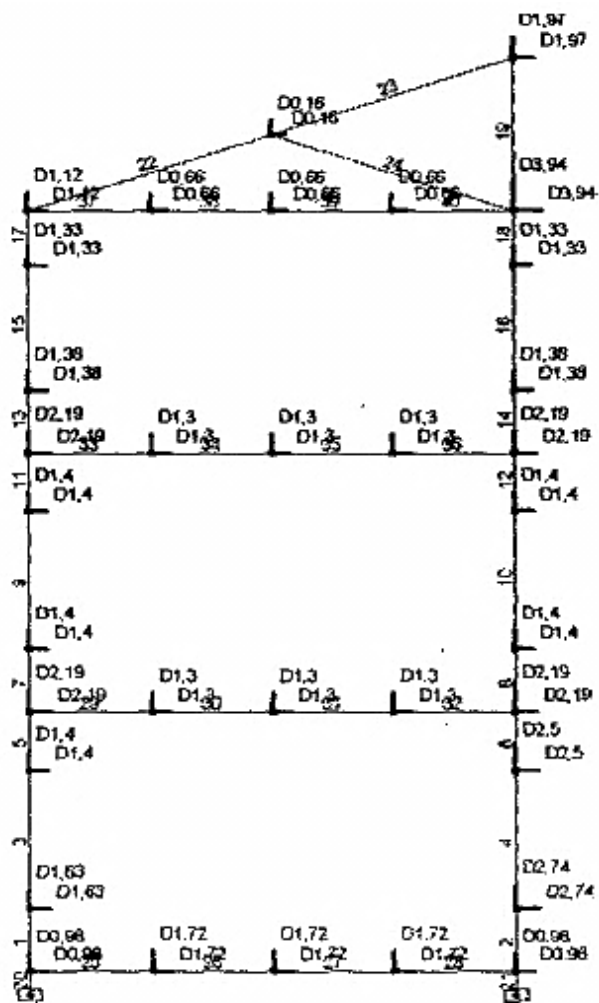


Рис. 2. Динамическая расчетная схема здания и ее параметры в SCAD

Были определены первые 10 форм свободных колебаний здания. В первых трех формах преобладают поперечные колебания стен со слабо выраженными колебаниями перекрытия. Четвертая форма колебаний – смешанная, с поперечными колебаниями стен и перекрытий, где все-таки преобладают перемещения стен. У пятой и шестой форм колебаний преобладают перемещения перекрытия.

Значения частотных характеристик здания в пределах первых восьми частот: первая – 0,64761 Гц; вторая – 2,232 Гц;

третья – 4,43636 Гц; четвертая – 5,6192 Гц; пятая – 5,81107 Гц; шестая – 6,382 Гц; седьмая – 6,72273 Гц; восьмая – 7,902 Гц – попадают в диапазон частот, вызываемых движением транспорта. Поэтому возможны резонансные явления.

Следует иметь в виду, что при учете деформационных свойств основания, на котором стоит здание, частоты свободных колебаний несколько уменьшаются, поэтому девятая и десятая частоты могут также попасть в зону частотных характеристик, создаваемых движением

автомашин по проезжей части дороги, и вызвать резонансные явления при больших скоростях автомашин.

Для оценки влияния транспорта на здание была создана модель расчетной схемы для выполнения численного эксперимента в программном комплексе SCAD для Windows. Модель представлена на рис. 3. Строение проезжей части, основание под фундаментом здания и стены подвала промоделированы плоскими конечными элементами, работающими в условиях плоской деформации. Поперечник здания (стены и перекрытия) промоделирован стержневыми конечными элементами плоской рамы с численным представлением жесткостных параметров.

Нагрузка прикладывалась для трех полос движения для автомашин с характеристиками, близкими к характеристикам легковых машин ВАЗ и ГАЗ. Величины прикладываемых нагрузок рассматривались как амплитудные значения нагрузок, частотные характеристики которых лежат в диапазоне ранее найденного спектра частот.

Характер вертикальных и горизонтальных перемещений полотна дороги и основания под фундаментами здания приведены в виде полей вертикальных и горизонтальных перемещений (рис. 4). Хорошо видно, что перемещения проезжей части и основания дорожного полотна вызывают перемещения основания под фундаментом здания и, следовательно, перемещение всего здания. Также получены перемещения здания, являющиеся также амплитудными характеристиками при вертикальном нагружении, которое создают легковые автомобили.

При вертикальных перемещениях полотна дороги, равных 1,12 мм, стены подвала (и фундаменты) получают перемещения по вертикали порядка 0,14 мм, по горизонтали – порядка 0,32 мм. Результат близок к результату, полученному по формуле (2). Различия в величинах обусловлено тем, что в расчетной схеме имеют место слои с различными деформационными характеристиками.

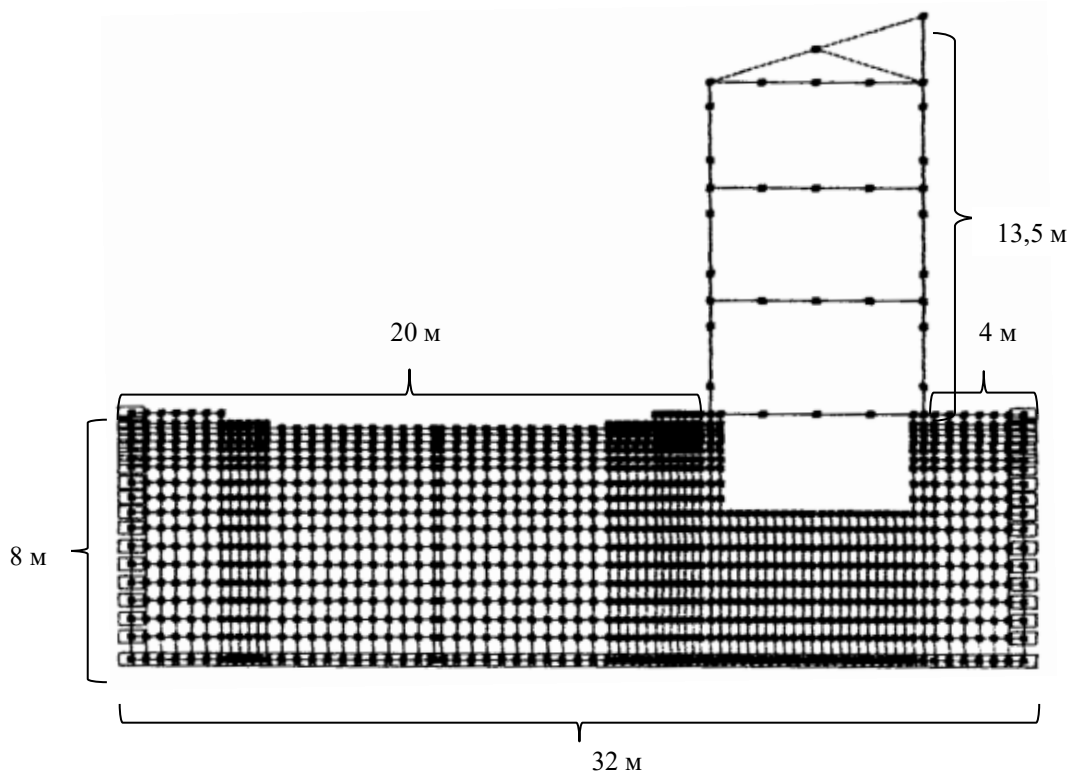


Рис. 3. Расчетная схема здания с проезжей частью мостовой

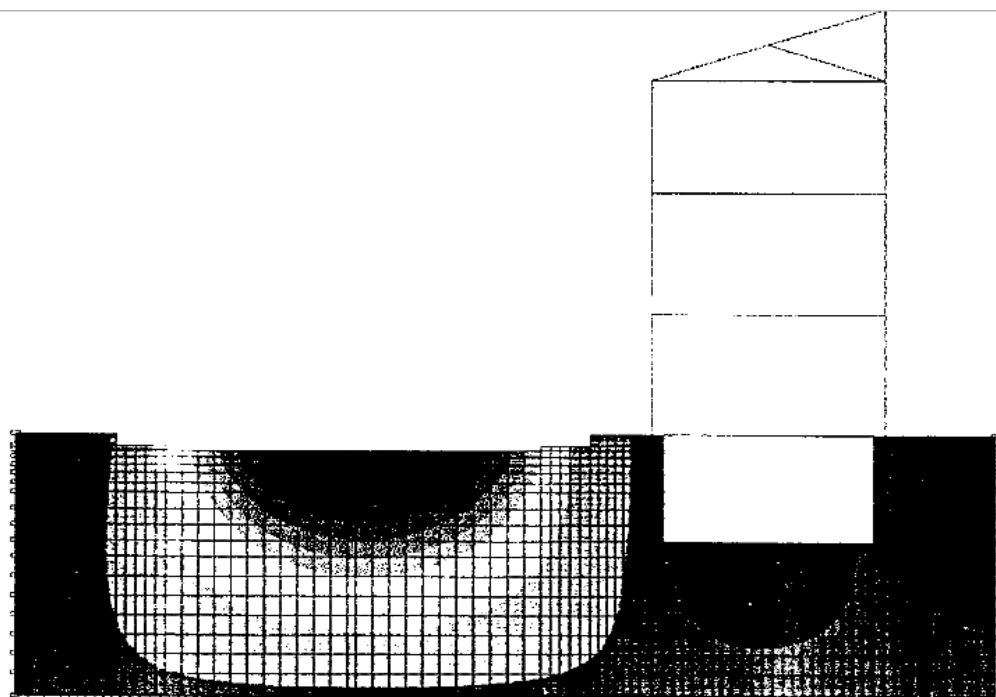


Рис. 4. Вертикальные перемещения грунтового основания, вызванные тремя потоками легковых машин типа ВАЗ (диапазон от 0,1 до – 0,89 мм)

Учет резонансных явлений, связанных с движением транспорта. Дифференциальные уравнения вынужденных колебаний здания как системы с 68 степенями свободы, при учете поглощения энергии колебаний, по теории Е.С. Сорокина, имеют вид [9]

$$\sum_{k=1}^{n=68} M_k \cdot \delta_{jk} \cdot \ddot{y}_k + (1 + i\gamma) y_i = \Delta_{ip}(t). \quad (9)$$

Здесь M_k – сосредоточенные массы, имеющие степени свободы в вертикальном и горизонтальном направлениях;

\ddot{y}_k – перемещения k массы вдоль вертикальной либо горизонтальной координаты;

δ_{jk} – единичное перемещение j массы от единичной силы, приложенной к k -й массе;

Δ_{ip} – перемещение j массы от внешней нагрузки;

$i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица;

γ – коэффициент неупругого сопротивления материала. Принимаем его равным 0,054 как среднюю величину между коэффициентом неупругого сопротивления для кирпичных стен $\gamma = 0,035$ и для железобетонного перекрытия $\gamma = 0,073$.

При косинусоидальном изменении динамической нагрузки, создаваемой проезжающим транспортом, решение системы (9) имеет вид

$$y_k = \sum_{s=1}^r \frac{X_{ks}}{\rho_s} \Delta_{ps} \cdot \cos(\omega t - v_s), \quad (10)$$

где $S = 1, 2, \dots, r$ – порядковый номер формы свободных колебаний;

X_{ks} – коэффициент формы восьми свободных колебаний для массы k ;

Δ_{ps} – коэффициент влияния, учитывающий форму собственных колебаний, распределение масс системы и

перемещения, вызванные амплитудным значением динамической нагрузки,

$$\Delta_{ps} = \frac{\sum_{k=1}^n m_k \Delta_{kp} X_{ks}}{\sum_{k=1}^n m_k y_{ks}^2}, \quad (11)$$

ρ_s – коэффициент, учитывающий соотношение частот вынужденных и собственных колебаний,

$$\rho_s = \sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\Theta_s}\right)^2\right]^2 + \gamma^2}, \quad (12)$$

Θ_s – круговая частота собственных колебаний по форме s;

ω – круговая частота вынужденных колебаний;

v_s – угол сдвига фазы между силой и перемещением по s-й форме колебаний,

$$v_s = \arctg \frac{\gamma}{1 - \frac{\omega^2}{\Theta_s^2}}. \quad (13)$$

В случае наступления r-го резонанса, т.е. при совпадении $\omega = \Theta_r$, преобладают перемещения, соответствующие форме r. Коэффициент принимает значение

$$\beta_r = \gamma. \quad (14)$$

Перемещения k-й массы при резонансе имеет вид

$$y_k = \sqrt{a_{ks}^2 + A_{kr}^2} \sin(\Theta_r t + \lambda_k), \quad (15)$$

где a_{ks} – алгебраическая сумма вне резонансных перемещений k-й массы,

$$A_{kr} = \frac{\Delta_{pr}}{\gamma_r} X_{ks}. \quad (16)$$

Поскольку a_{ks} , как правило, значительно меньше A_{ks} , в дальнейшем учитываем только A_{kr} .

Скорости перемещений расчетной схемы определяются тогда соотношением

$$(\dot{y}_k) = A_{kr} \Theta_r (\cos \Theta_r t + \lambda_k). \quad (17)$$

Амплитудное значение скорости равно $A_{kr} A_r$.

Для первых трех форм характеристиками являются горизонтальные перемещения и массы M_x . Вертикальные перемещения малы и ими можно пренебречь. Для пятой и шестой форм преобладающими являются вертикальные перемещения. Здесь горизонтальными перемещениями можно пренебречь.

Учитывая это, с помощью программы Microsoft Excel была создана программа для вычислений амплитуд перемещений и скоростей узлов расчетной схемы здания. По результатам расчета скорости колебания стен и перекрытий достигают следующих величин:

- при первом резонансе – 8,88 мм/с;
- при втором резонансе – 2,76 мм/с;
- при третьем резонансе – 7,55 мм/с;
- при пятом резонансе – 1,02 мм/с.

При остальных резонансах скорости и перемещения оказываются ниже. Этот результат получен только для вертикальной составляющей транспортной нагрузки.

Учет горизонтальных сил, возникающих при движении транспорта, приведет к более высоким (примерно в 2 раза) скоростям движения конструкций здания. Это видно из сопоставления эпюр горизонтальных перемещений основания полотна дороги и основания здания, построенных для вертикальных и горизонтальных сил.

Результаты. Для оценки влияния колебаний на здание от автомобильного транспорта можно использовать данные нормативного документа [2], которые позволяют установить возможность выполнения забивки свай по скорости

колебаний основания под фундаментом существующего здания. Естественно, что природа возникновения колебаний может быть отличной от рассмотренной в нормах, но суть воздействия от периодической нагрузки на здание остается прежней. По нормам грунты основания, полученные в результате инженерно-геологических изысканий, – пески средней плотности и мягкопластичные суглинки (в местах замачивания) – относятся к грунтам второй группы.

Рассматриваемое кирпичное здание с трещинами шириной более 3 мм относится к третьей группе зданий и сооружений. Допустимые скорости колебаний грунта для этих условий устанавливаются нормами в 0,5 см/с. Решение, полученное выше для скоростей движения динамической системы, в случае появления резонансных явлений дает скорости движения масс здания и, следовательно, грунта в пределах 0,7 – 0,9 см/с.

Выводы из исследования и перспективы дальнейшего развития в этом направлении. Таким образом, было предложено: 1) расчетную схему системы «основание – фундамент – реконструируемое здание» при динамических воздействиях транспорта в сложных инженерно-геологических условиях; 2) решение для определения скоростей движения данной системы. Показано, что движение автомобильного транспорта вблизи здания является опасным для его целостности, так как может привести к дальнейшему раскрытию трещин в кирпичных стенах и значительному снижению пространственной жесткости и быстрому износу вплоть до обрушения. В то же время вероятность появления резонанса невелика и составляет для первой частоты 0,0625, для второй и третьей частоты – 0,025. Рекомендовано немедленное проведение капитального ремонта по восстановлению здания.

Список использованных источников

1. Калюжнюк, М. М. Сваебойные работы при реконструкции [Текст] / М.М. Калюжнюк, В.К. Рудь. – М.: Стройиздат, 1989. – 160 с.
2. ВСН 358-76. Инструкция по забивке свай вблизи зданий и сооружений [Текст]. – М.: ЦБНТИ, 1976. – 54 с.
3. Осипов, В. И. Динамическое разжижение водонасыщенных грунтов: природа и факторы, его определяющие [Текст] / В.И. Осипов // Инженерная геология. – 1988. – № 2. – С. 3-31.
4. Ставницер, Л. Р. Сейсмостойкость оснований и фундаментов [Текст] / Л. Р. Ставницер. – М.: Изд. АСВ, 2010. – 448 с.
5. Бендат, Дж. Прикладной анализ случайных данных [Текст] / Дж. Бендат, А. Пирсон; пер. с англ. под ред. акад. И. Н. Коваленко. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
6. Бишоп, Р. Колебания [Текст] / Р. Бишоп; пер. с англ. под ред. Я. Г. Пановко. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука, 1979. – 160 с.
7. Немчинов, Ю. И. Сейсмостойкость зданий и сооружений: в 2-х ч. [Текст] / Ю. И. Немчинов. – К., 2008. – 480 с.
8. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения [Текст] / под общ. ред. В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева. – М.: АСВ, 2014. – 740 с.
9. Справочник по динамике сооружений [Текст] / под общ. ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1972. – 511 с.
10. Динамический расчет зданий и сооружений [Текст] / под общ. ред. Б. Г. Коренева, А. Ф. Смирнова. – М.: Стройиздат, 1986. – 461 с.
11. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений: в 2 кн. Кн. 2 / под ред. А. А. Уманского. – М.: Стройиздат, 1973. – 416 с.

12. Фундаменти будівель і споруд [Текст]: довідковий посібник / Ю. Л. Винников, В. А. Муха, А. В. Яковлев та ін. – К.: Урожай, 2002. – 432 с.

13. Auersch, L. Amplification and reduction phenomena of soil-building interaction by finite-element boundary-element calculations and simplified methods [Text] /L. Auersch // Proceedings of the IX International Conference on Structural Dynamics, EURODYN 2014, Porto, Portugal, 30 June – 1 – 2 July, 2014. – P. 591 – 599.

14. Cacciola P. Vibration control of structures through structure-soil-structure-interaction / P. Cacciola, A. Tombari // Proceedings of the IX International Conference on Structural Dynamics, EURODYN 2014 (30 June – 2 July 2014). – Porto, Portugal, 2014. – P. 559 – 567.

15. Dynamic analysis of slab track on multi-layered transversely isotropic saturated soils subjected to train loads. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, December 2014, Volume 13, Issue 4, P. 731–740 (БД Scopus).

Кічаєва Оксана Володимирівна, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой механіки ґрунтів, фундаментів і інженерної геології Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова. Тел.: +380679538406. E-mail: o_kichaeva@mail.ru.

Kichaeva Oxana Vladimirovna, PhD., Sc. associate professor, Head of the Department of Soil Mechanics, Foundations and Engineering Geology, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Тел.: +380679538406. E-mail: o_kichaeva@mail.ru.

Стаття прийнята 24.11.2016 р.

УДК 624.1: 332.54

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В ЗЕМЛЕУСТРОЇ: НАПРЯМИ, ОСОБЛИВОСТІ ТА ПРАКТИКА ЗАСТОСУВАННЯ В МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Д-р екон. наук К. А. Мамонов, кандидати техн. наук С. Г. Нестеренко, К. І. Вяткін, канд. екон. наук О. І. Угоднікова

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ: НАПРАВЛЕНИЯ, ОСОБЕННОСТИ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Д-р экон. наук К. А. Мамонов, кандидаты техн. наук С. Г. Нестеренко, К.И. Вяткин, канд. экон. наук О. И. Угодникова

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN LAND MANAGEMENT: DIRECTIONS, FEATURES AND PRACTICE IN THE URBAN ENVIRONMENT

Dr. econom. sciences K. Mamonov, cand. of techn. sciences S. Nesterenko, K. Vyatkin, cand. of econom. sciences O. Ugodnikova

У статті розглянуто актуальні особливості, практика та напрями застосування геоінформаційних систем у галузі земельного адміністрування України. Запропоновано методіку геоінформаційного аналізу кадастрових робіт.

Ключові слова: земельна власність, земельні відносини, геоінформаційні системи, кадастрові плани.

В статье рассмотрены актуальные особенности, практика и направления применения геоинформационных систем в области земельного администрирования Украины. Предложена методика геоинформационного анализа кадастровых работ.

Ключевые слова: земельная собственность, земельные отношения, геоинформационные системы, кадастровые планы.

The article describes the features of current practice and areas of application of GIS in land administration Ukraine.

Analyzed GIS software tools make it possible to quickly and effectively address land management objectives, analyze the current state of land use, identify shortcomings and mistakes, to form arrays of information on land, rights to certain areas of land users and improve existing information and analytical software and spatial.

Keywords: land ownership, land relations, GIS, cadastral plans.

Вступ. Зміни земельних відносин визначили новий характер і зміст соціально-економічних проблем землекористування, які полягають в утворенні нової земельної власності, її поділі і збільшенні, передачі прав на земельні ділянки землекористувачам, охороні земель тощо. У таких умовах виникла необхідність задоволення економічних інтересів землевласників і землекористувачів, найбільш повного і ефективного використання виробничого потенціалу господарств і закріплених за ними земель, при дотриманні особливих режимів й умов використання земельних ресурсів.

У сучасних умовах, для швидкого та якісного складання землепорядної документації, виникає необхідність застосування сучасних геоінформаційних систем (ГІС), які дають змогу проводити аналіз рівня землекористування, визначити відповідні відхилення, сформувані інформаційно-аналітичне забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенням проблем застосування геоінформаційних систем та сучасного інструментарію у сфері землеустрою займалися такі вчені як: І. Лур'є, К. Мамонов, Е. Мітчелл, Ю. Палеха, В. Хаксгольд, В. Шипулін [1-5].

Поряд із цим виникають проблеми щодо застосування геоінформаційних систем у землеустрої, для розроблення

кадастрових планів території, проектів територіального землеустрою та землепорядних справ. Тому актуальність визначається вимогою до підвищення ефективності прийняття управлінських рішень у системі землеустрою.

Мета досліджень. Метою статті є визначення напрямів та особливостей застосування геоінформаційних систем для формування й функціонування землеустрою, проведення ГІС – аналізу кадастрових робіт.

Основний матеріал досліджень. Геоінформаційні системи застосовуються для створення та оновлення планово-картографічних матеріалів. Останніми роками обсяг землепорядної та кадастрової інформації суттєво збільшується, до переліку її одержувачів додалися державні адміністрації, органи земельних ресурсів та сотні державних, комунальних та приватних землепорядних організацій. Проте відсутність належної уваги, фінансування та відповідних методик призвела до того, що стан інформаційно-аналітичного забезпечення та проектної документації визначається на низькому рівні. Тому проблема оновлення та інтеграції векторних та растрових даних на сьогоднішній день постала в Україні надзвичайно гостро.

Для успішного вирішення цих задач необхідне програмне забезпечення, що дає змогу на основі геоінформаційних систем

створити єдине інформаційне середовище, що включає в себе як стандартні функції ГІС, так і технологічні, пов'язані із сучасними методами отримання даних (GPS) та їх подання клієнт-серверні та інтернет-технології).

Крім того, світовий досвід показує, що сучасні ГІС незамінні у створенні та веденні системи державного земельного кадастру. Зі створенням системи на всій території впроваджується єдине інформаційне середовище управління земельними ресурсами, інформаційне забезпечення ринку земель, оподаткування, реєстрація прав власності та взаємодія з іншими автоматизованими системами.

Важливою властивістю сучасних геоінформаційних систем є те, що вони забезпечують розроблення і аналіз значної кількості варіантів проектних рішень, створення рекомендаційних та управлінських карт на регіони, що дає можливість віднайти найоптимальніше еколого-економічне обґрунтування системи заходів щодо організації території і охорони земель новостворених агроструктур, формування їх сталого землекористування, відтворення природних агроландшафтів, оперативного контролю використання земельних ресурсів, прогнозування можливих ерозійних процесів, створення протиерозійної організації території. Накопичення інформації про деградовані і малопродуктивні землі забезпечує оперативне обґрунтування їх консервації.

Отже, показники економічної ефективності створення автоматизованих технологій проектування характеризуються: ефективністю автоматизованих технологій як виду нової техніки, впливом на діяльність проектно-організацій, впливом на ефективність і якість проектних рішень [6].

Основними факторами, які обумовлюють економічну ефективність автоматизованих технологій у процесі проектування, є: зниження вартості

проектно-кошторисних робіт за рахунок їх автоматизації; покращення проектних рішень у результаті застосування методів оптимізації, уніфікації, багатоваріантного проектування, комплексних математичних моделей.

До основних показників економічної ефективності застосування ГІС слід віднести: економію за рахунок зниження проектних робіт; економію за рахунок підвищення якості проектних рішень; річний економічний ефект; розрахунковий коефіцієнт загальної економічної ефективності; термін окупності; чисельність умовно вивільнених проектувальників; підвищення продуктивності праці проектувальника; відносне скорочення термінів виконання проектних робіт; рівень автоматизації проектних робіт.

Документація із землеустрою розробляється у вигляді програм, схем, проектів, спеціальних тематичних карт, атласів, технічної документації.

В цілому при складанні документації із землеустрою можна виділити такі види робіт: збирання, вивчення земельно-кадастрових та планово-картографічних матеріалів; підбір існуючої або створення топографічної основи на територію (у т. ч. цифрової); підготовка викопійовань з планово-картографічних матеріалів; складання списку власників земельних ділянок та землекористувачів; польове обстеження земельних ділянок з уточненням їх меж; складання планово-картографічних матеріалів території; структуризація території – формування зон, районів з урахуванням вимог нормативних документів та зонування території; геодезичне встановлення (відновлення) меж земельних ділянок; погодження меж земельних ділянок із суміжними власниками та землекористувачами; встановлення меж зон обмежень і обтяжень щодо використання земельних ділянок; визначення зон впливу різноманітних факторів; складання контурних відомостей

території; складання експлікації земель за формами власності, власниками землі і землекористувачами та угіддями; створення обмінного файлу; формування та випуск проектної документації [7].

Практично всі ці роботи можна віднести до задач геоінформаційного (просторового) аналізу, оскільки їх виконання потребує врахування впливу факторів, які мають кількісні характеристики, просторову прив'язку та просторові відносини.

Виконання цих робіт передбачає наявність у геоінформаційних систем таких функціональних можливостей: робота з космічними та аерознімками; конвертація даних з інших форматів; завантаження даних з електронних геодезичних приладів; створення векторних примітивів цифрових карт шляхом прямого введення координат; перетворення координатних систем, картографічних проекцій і масштабів; обробка результатів геодезичних вимірювань; формування таблиць баз даних про об'єкти карти; різні методи просторового аналізу (за атрибутивними даними, за просторовими даними та ін.); створення технічної документації щодо землеустрою; робота з обмінними файлами кадастрових даних у форматах IN4 та XML; автоматичне формування звітів та пояснювальних записок; робота з обмінними файлами кадастрових даних у форматі IN4.

Для виконання землевпорядних робіт у проектних організаціях можуть бути використані «Digitals», «Геопроект», «Інвент-Град», ГІС «Карта» та ін.

Розглянемо більш детально вищенаведені геоінформаційні системи [8].

1. Програма «Digitals». Виробник: НПП «Геосистема». Програма призначена для створення/оновлення топографічних і спеціальних карт, видання карт міського кадастру і землеустрою, вирішення інженерних і прикладних завдань. Система містить базове картографічне ядро, що забезпечує функції редагування і друку

цифрових карт, запитів і звітів, читання і запису карт у різних форматах, включає модуль для розпаювання земельних ділянок і підготовки документації. Digitals Professional включає додатково функції векторизації карт і поодиноких знімків.

2. «Геопроект». Виробник: Компанія «Укргеопроект». Призначена для обробки геодезичних вимірів, формування електронних карт місцевості, адміністрування і моніторингу електронних карт, обліку просторової і атрибутивної інформації про об'єкти, виведення на друк картографічної і різноманітної звітної інформації.

3. Програма «Інвент – Град». Виробник: Компанія СНПП «ИТЕС». Призначена для обробки результатів польових топографо-геодезичних і кадастрових робіт, що виконуються при інвентаризації земель. Система також може бути використана як кадастрова система населеного пункту або адміністративного району.

4. Проект КБ «ПАНОРАМА». Проект КБ "ПАНОРАМА" – це набір геоінформаційних технологій, що містить професійну ГІС "Карта", професійний векторизатор електронних карт "Панорама-Редактор", додаток ГІС «Сервер», призначений для забезпечення віддаленого доступу до картографічних даних, універсальний засіб розробки геопорталів різного призначення "GIS WebServer", інструментальні засоби розробки ГІС додатків для різних платформ GIS ToolKit, муніципальну ГІС "Земля і Нерухомість", систему обліку об'єктів нерухомості "ГІС "Нерухомість", систему для автоматизації управління сільськогосподарським підприємством у галузі рослинництва ГІС "Панорама АГРО", конвертори для обміну даними з іншими ГІС (DXF/DBF, MIF/MID, Shape, GML, S57/S52, MP, IN4/XML та ін.), а також спеціалізовані додатки (Internet, сільське господарство, диспетчерські системи, зв'язок, навігація, екологічний моніторинг та ін.).

Професійна ГІС «Карта» – основний модуль проекту «ПАНОРАМА». Це універсальна геоінформаційна система, яка має засоби створення та редагування електронних карт, виконання різноманітних змін та розрахунків, оверлейних операцій, побудови 3D моделей, обробки растрових даних, засоби підготовки графічних документів в електронному та друкованому вигляді, а також інструментальні засоби для роботи з базами даних.

Сучасні геоінформаційні системи у своєму арсеналі мають потужні програмні засоби та вирішують багато задач. Для кожного виду землепорядних робіт можливе групування задач з використанням ГІС.

На думку розробників, задачі можна групувати за такими ознаками:

- одержання польових геодезичних даних;
- обробка польових журналів;
- створення планово-картографічних матеріалів;
- створення технічної документації;
- проведення економічних розрахунків.

Далі для кожного етапу стисло розглядаються основні зміст, результати та методи застосування ГІС.

Як правило, сучасні польові роботи проводяться за допомогою геодезичних електронних приладів. Обробка польових вимірів, окрім спеціалізованих комп'ютерних програм, які, як правило,

входять у комплект поставки електронних приладів, може проводитись за допомогою таких ГІС, як «Digitals», «Геопроект», «ІНВЕНТ-ГРАД», ГІС «Карта» [9].

Далі більш детально розглядається вирішення цього завдання за допомогою нового методу, який поєднує позитивні риси розглянутих продуктів на прикладі.

Під час проведення польових робіт було прокладено замкнутий теодолітний хід, який має дві тверді точки 1, 7. Виміряні горизонтальні кути та відстані між точками ходу. Для обчислення ходу необхідно на панелі інструментів включити модуль розрахунку теодолітних ходів. Внести вихідні дані, внести дані, одержані при теодолітній зйомці. Після цього необхідно провести розрахунок сітки та виконати перенесення на карту. Результати проведення обчислень наведені на рис. 1. У результаті одержано набір документів та креслення в робочому полі проекту.

Широкі можливості мають ГІС при формуванні технічної документації. Сучасні комплекси ГІС мають можливість надавати вихідні матеріали у файлах із розширенням *.gbd, *.In4, що дає можливість використання їх в інших ГІС, зокрема «Digitals», «Геопроект», ГІС «Карта» та ін.

Наприклад, результати зйомки ділянки, оброблені в «Digitals» і збережені у файлі з розширенням *.gbd, мають вигляд, зображений на рис. 2.

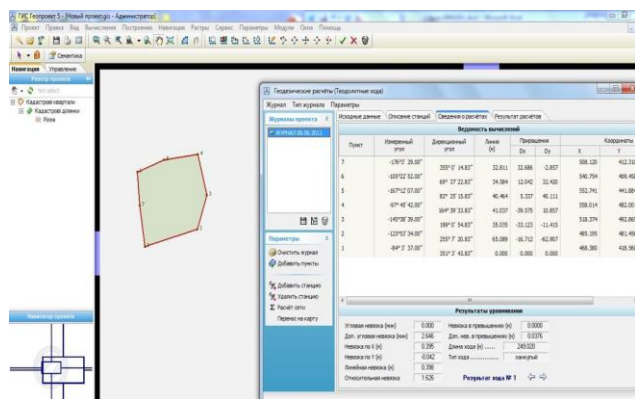


Рис. 1. Результати проведення обчислень у «Геопроект»

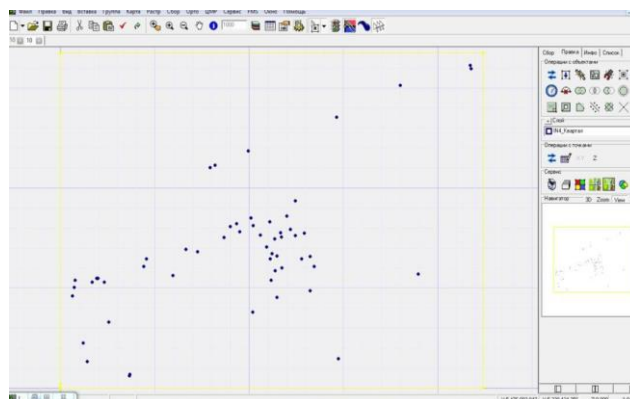


Рис. 2. Файл із розширенням *.gbd у «Digitals»

Далі результати зйомки ділянки, що обробляються в «Digitals» і зберігаються у файлі з розширенням *.In4, мають вигляд, зображений на рис. 3.

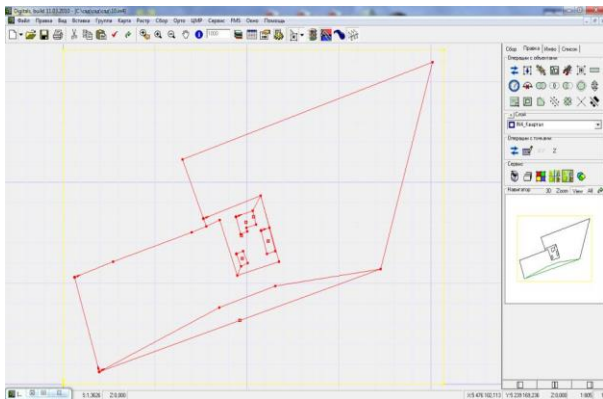


Рис. 3. Файл із розширенням *.In4, оброблений у «Digitals»

Крім цього, використання ГІС дає можливість одержання в автоматичному режимі каталогу координат та розрахунків геодезичних даних для перенесення проекту в натуру. Слід зазначити, що програма «Геопроект» порівняно дешева, не потребує особливих вимог до ПК. На відміну від неї, програму Інвент-град застосовувати при сучасних операційних системах проблематично. «Digitals» вимагає придбання повного пакета програм. Недоліком «Геопроект» є те, що даний пакет дає можливість урівняти теодолітні ходи, які мають недопустимі нев'язки, що вимагає великого досвіду та уваги виконавця.

Перевагою ГІС є те, що при створенні планово-картографічних матеріалів значно підвищується точність креслень, швидкість. Головне полягає в тому, що електронні картографічні матеріали можна використовувати необхідну кількість разів, розмножувати як повне креслення, так і фрагменти, проводити накладення одних креслень на інші. Цю задачу виконують усі вищезгадані ГІС.

Подальше використання «Digitals» дає можливість автоматично створити кадастровий план (рис. 4).

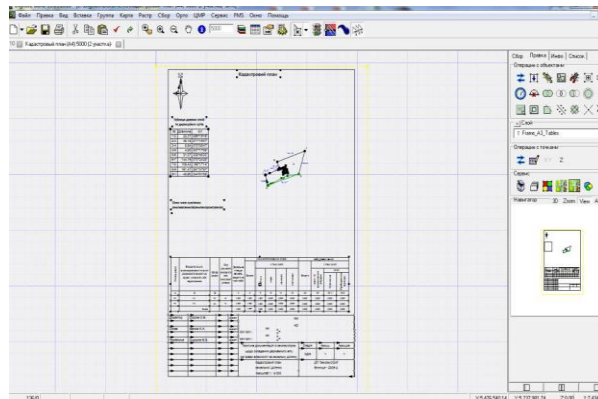


Рис. 4. Кадастровий план земельної ділянки в «Digitals»

Останнім часом все більше при проведенні землевпорядних робіт, зокрема для створення планово-картографічного матеріалу, застосовуються матеріали космічної зйомки. Виходячи з цих задач, проводиться вдосконалення ГІС програм. Так, ГІС «Карта» та останні версії «Digitals» мають можливість за допомогою мережі Інтернет зв'язуватися із сервером Google Earth, що дає змогу накладати креслення на космічний знімок за заданими координатами та переглянути існуючу ситуацію.

При виборі ГІС для роботи з космічними та аерознімками необхідно, щоб програми працювали з растровими зображеннями. Крім того, необхідно, щоб вибрана програма мала можливість провести просторові прив'язки.

Проведений аналіз ГІС, які застосовуються в Україні, показав, що деякі програми не відповідають даним вимогам. Так, на нашу думку, програма «Геопроект» має недостатні функціональні можливості для роботи з растрами, з якими не проведена просторова прив'язка, що деякою мірою призводить до неможливості

використання даної програми. Цей недолік має і програма «інвент-град». При роботі з растрами необхідно звернути увагу на можливість проведення імпорту та експорту даних з вибраної геоінформаційної системи.

Створення технічної документації виконують ГІС, які розроблені в Україні.

Непоганий набір шаблонів для виготовлення технічної документації мають такі програми, як «геопроект», «Інвент-град» та «Digitals».

Як було сказано вище, описані ГІС мають можливість створювати обмінний файл In-4 (рис. 5).

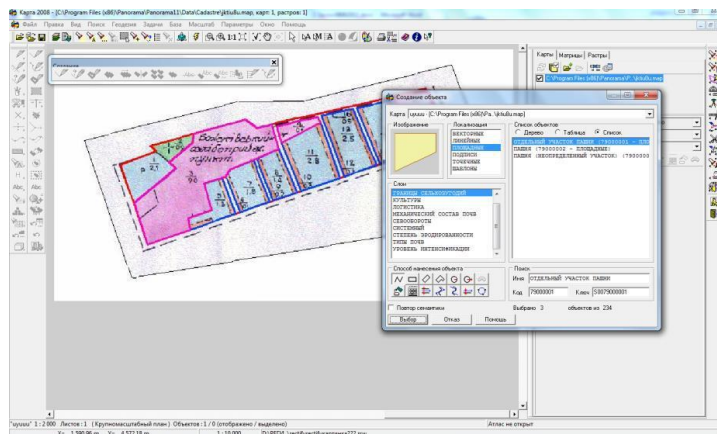


Рис. 5. Фрагмент створення проекту землеустрою

На даний час на території України з'явився новий програмний продукт КБ «ПАНОРАМА» – ГІС «Карта». Перевагою даної ГІС є великі можливості експорту як растрових, так і векторних зображень різних видів формату, зв'язок з базами даних, робота в динаміці, зв'язок з об'єктами, які перебувають у динаміці. Особлива цінність – це динамічна зміна баз даних, які розміщені на віддалених серверах.

Проведений аналіз геоінформаційних систем, які застосовуються на сучасному етапі, показує неоднорідність робіт та вимог до них.

За результатами аналізу можна зробити висновок про те, який програмний засіб краще використовувати при вирішенні земельпорядних робіт. При виборі ГІС необхідно провести аналіз насамперед вхідних даних. Наприклад, якщо будуть застосовані аерознімки, то краще використовувати «Digitals», тому що

«Геопроект» не має просторової прив'язки. «Геопроект» краще застосовувати, якщо територія земельної ділянки не перевищує 5-10 га та зроблені геодезичні роботи електронними приладами. Це пов'язано з проблемами друку на форматах А1 та А2. Крім цього, як було сказано, в «Геопроекті» слабкий контроль ув'язки теодолітних ходів. Слабким місцем «Геопроекту» є відсутність команди «відміна ведення». Відсутність маніпулювання з панелями інструментів (якщо випадково закрити панель, то її не можна відновити). Програма «Інвент – Град» має наочніший математичний блок.

Таким чином, виходячи з вищесказаного, неможливо визначити найкращу ГІС. Але можна сказати, що на даному етапі розвитку країни все більша кількість земельпорядної документації складається за допомогою комп'ютерних програм та спеціалізованих геоінформаційних систем.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Проаналізовані програмні засоби ГІС та проведені ГІС-аналіз за розглянутою методикою дають можливість швидко та ефективно вирішувати земельпорядні завдання,

аналізувати поточний стан землекористування, виявляти допущені недоліки та помилки, формувати масиви відомостей про земельні ділянки, про права на ділянки певних землекористувачів і удосконалити існуюче інформаційно-аналітичне та просторове забезпечення.

Список використаних джерел

1. Лурье, И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков [Текст]: учебник / И. К. Лурье. – М.: КДУ, 2008. – 424 с.
2. Мамонов, К. А. Земельне адміністрування в Україні: напрями та особливості впровадження [Текст] / К. А. Мамонов, Вень Мінмін, О. В. Пиркова // Регіональна економіка та управління: наук.-практ. журнал. – Запоріжжя, 2015. – 3 серп. – С. 130-133.
3. Митчелл, Энди. Руководство по ГИС Анализу. Ч.1: Пространственные модели и взаимосвязи [Текст] / Митчелл Энди; пер. с англ. – К.: ЗАО ЕСОММ Со; Стилос, 2000. – 198 с.
4. Палеха, Ю. Містобудівний кадастр – інформаційна основа оновлення містобудівної документації у місті Києві [Текст] [Електронний ресурс] / Ю. Палеха, Т. Нечаєва, В. Смілка. – Режим доступу: <http://www.google.com.ua/url?>
5. 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. – № 1. – С. 155-166.
6. Хаксхольд, В. Введение в городские геоинформационные системы [Текст] / В. Хаксхольд; пер. с англ. – М.: Дата +, 1998. – 321 с.
7. Основные принципы геоинформационных систем [Текст]: учебн. пособие / В.Д. Шипулин [Хар. нац. акад. гор. хоз-ва]. – Харьков: ХНАГХ, 2010. – 337 с.
8. Ho S., Rajabifard A., Stoter J., Kalantari M. Legal barriers to 3D cadastre implementation: What is the issue? [Text] / S. Ho, A. Rajabifard, J. Stoter, M. Kalantari // Land Use Policy. 2013. – Vol. 35, N. 1. – P. 379-387.
9. Oosterom, P. Research and development in 3D cadastres [Text] / P. Oosterom // Environment and Urban Systems. 2013. – Vol. 40, N. 1. – P. 1-6.

Мамонов Костянтин Анатолійович, д-р екон. наук, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. Тел.: (068) 578-23-11. E-mail: kostia_mamonov@mail.ru.

Нестеренко Сергій Григорович, канд. техн. наук, викладач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. Тел.: (097) 905-00-17. E-mail: nesterenko-sg@mail.ru.

Вяткін Костянтин Ігорович, канд. техн. наук, викладач кафедри міського будівництва Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. Тел.: (066) 723-90-76. E-mail: vyatkun@mail.ru.

Угоднікова Олена Ігорівна, канд. економ. наук, старший викладач кафедри туризму і готельного господарства Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. Тел.: (095) 691-14-68. E-mail: lena-ugodnikova@yandex.ua.

Mamonov Konstantin dr. of economy, professor department of land administration and GIS O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (068) 578-23-11. E-mail: kostia_mamonov@mail.ru.

Nesterenko Sergey candidate of technical sciences, assistant department of land administration and GIS O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (097) 905-00-17. E-mail: nesterenko-sg@mail.ru.

Vyatkin Konstantin candidate of technical sciences, assistant of the Municipal Building O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (066) 723-90-76. E-mail: vyatkun@mail.ru.

Ugodnikova Olena candidate of economy, senior lecturer in Tourism and hospitality management O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (095) 691-14-68. E-mail: lena-ugodnikova@yandex.ua.

Стаття прийнята 02.12.2016 р.

УДК 656.212

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЇЗДОУТВОРЕННЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ СОРТУВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

Канд. техн. наук Г. В. Шаповал, асист. Г. І. Шелехань, І. В. Занік

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЕЗДООБРАЗОВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОРТИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА

Канд. техн. наук А. В. Шаповал, ассист. А. И. Шелехань, И. В. Заник

RESEARCH OF THE TRAIN FORMATION INFLUENCE ON THE SORTING PROCESS EFFICIENCY

Phd. tehn. sciences G. V. Shapoval, ass. G. I. Shelekhan, I. V. Zanik

Наведено формалізацію задачі підвищення ефективності сортувального процесу на сортувальній станції при формуванні багатогрупних поїздів. Зазначено, що для подальшої її реалізації необхідний детальний розгляд кожного етапу сортувального процесу, що не завжди є можливим з урахуванням специфіки процесу. Запропоновано вирішення поставленої задачі за допомогою імітаційного моделювання із застосуванням математичного апарату мереж Петрі.

Ключові слова: сортувальний процес, закінчення формування, багатогрупні поїзди, імітаційне моделювання.

Дана формализация задачи повышения эффективности сортировочного процесса на сортировочной станции при формировании многогруппных поездов. Отмечено, что для дальнейшей ее реализации необходимо детальное рассмотрение каждого этапа сортировочного процесса, что не всегда возможно с учетом специфики процесса. Предложено решение поставленной задачи с помощью имитационного моделирования с применением математического аппарата сетей Петри.

Ключевые слова: сортировочный процесс, окончание формирования, многогруппные поезда, имитационное моделирование.

Among developing measures to improve the technology of the ending of a train forming main criteria for their selection there were reducing the duration of the freight cars on sorting process in subsystems dissolution and formation when its are processed in sorting station, as well as compliance with sorting capacity measures lines overnight to permissible capacity measures.

The results of the development of such measures are mathematical formulation of the objective of efficiency improving of the sorting process in sorting station as a objective function with system limitations and further its implementation by means of simulation modeling using mathematical tools of Petri nets.

Based on data from the simulation, it was determined that the application of the proposed measures to improve the technology of train forming in sorting station provides more rational organization of freight car traffic as internal communications and international, does not require additional technical facilities at the station, and as a result, does not require additional investments in station infrastructure.

Keywords: *sorting process, ending of the train formation, multi-group trains, imitation modeling.*

Вступ. У сучасних ринкових умовах необхідно приділяти більше уваги якісному обслуговуванню кожного вантажовідправника та вантажоодержувача. З метою забезпечення конкурентоспроможності залізниць України, заохочування нових клієнтів, у тому числі міжнародного рівня, необхідно досягати та підтримувати належний рівень обслуговування на усіх підприємствах залізниць на кожному етапі перевезення. Вирішення таких задач повинно базуватися на впровадженні технологій як щодо прискорення обслуговування, так і щодо якості самого обслуговування з урахуванням інтенсивного використання технічних засобів, раціонального їх застосування.

Розв'язання зазначених завдань має дуже важливе значення, оскільки дозволить вирішувати питання формування багатогрупних поїздів на сортувальних станціях в умовах зменшення експлуатаційних витрат та покращення показників роботи. Відповідно до цього необхідно формалізувати процес підвищення ефективності сортувального процесу на сортувальній станції, а також побудувати імітаційну модель роботи підсистем розформування і формування поїздів щодо варіантів утворення багатогрупних поїздів на сортувальних станціях стратегічного значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основу організації вагонопотоків становить план формування поїздів, яким визначається рівень

завантаження технічних засобів транспорту, а також розподіл сортувальної і маневрової роботи між станціями і пунктами відправлення та призначення вантажних поїздів. У цілому план формування поїздів багато у чому визначає час перебування вагонів на шляху прямування, а відповідно, і швидкість доставки вантажів [1-9]. Закладений І. І. Васильєвим ще до впровадження інформаційних технологій принцип зіставлення економії і витрат вагоно-годин при складанні плану формування поїздів і його розрахункова формула застосовувалися до недавнього часу. З розвитком технологій методи вдосконалювалися і для розрахунку плану формування поїздів були розроблені більш досконалі методи такими вченими, як А. І. Петров, К. А. Бернгард, С. В. Дувалян, В. М. Акулінічев, В. Я. Болотний, Є. В. Архангельський, Є. М. Тішкін, О. А. Абрамов. Але розроблені методи наразі не враховують специфіку сортувального процесу у сучасних умовах на залізницях України, тому доцільним є визначення методів складання плану формування поїздів для кожної технічної станції окремо, зважаючи на характер, обсяги і стратегічне значення кожного струменя вагонопотоків, що на ній переробляється.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності функціонування сортувального парку сортувальної станції.

Основна частина дослідження.

Технологія і тривалість збирання вагонів при формуванні групових поїздів залежать від кількості колій і груп вагонів, а також способу з'єднання цих груп у составі. Складання вагонів можна здійснювати послідовною перестановкою кожної групи окремо на колію збирання; накопиченням (послідовним приєднанням) у маневровому составі всіх зібраних груп; комбінованим способом – накопиченням при маневровому составі не усіх, а кожного разу декількох груп; розподільчим методом [1-9]. Зараз, завдяки розвитку інформаційного середовища, створюються нові засоби обчислювальної техніки, зростають обсяги перевізної роботи і в практику активно впроваджуються нові теоретичні підходи до організації вагонопотоків, що розробляються сучасними вченими [6-9].

Суть цих методів полягає у складанні безлічі варіантів планів формування поїздів, які потім оцінюються за кількома критеріями для вибору оптимальних варіантів. Такі методи дозволяють складати і оцінювати взаємоув'язування варіантів планів як для окремих залізниць, так і для мережі у цілому.

Як об'єкт для розробки заходів з підвищення ефективності сортувального процесу було розглянуто сортувальну станцію Куп'янськ-Сортувальний регіональної філії «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» (надалі – станція К-С), яка займає дуже важливе місце у процесах залізничних вантажних перевезень на території України. Куп'янськ-Сортувальний є одним із найважливіших залізничних вузлів Південної залізниці, де стикаються багато найважливіших напрямків вагонопотоків і через який проходить вантажопотік з Росії, Казахстану, інших країн у чорноморські порти і на західні переходи України. У К-С зароджується транзитний вантажопотік, який йде потім без переробки через усю Україну. Станція має парну і непарну сортувальну системи з класичним розташуванням основних парків, але для розгляду сортувального процесу на станції К-С було взято за приклад саме парну систему, оскільки вона являє найбільший інтерес з позиції формування поїздів міжнародного та внутрішнього сполучень, а також формування багатогрупних поїздів, ефективність якого розглядається у даній роботі.

Можливі напрямки формування поїздів на станції наведено на рис. 1.

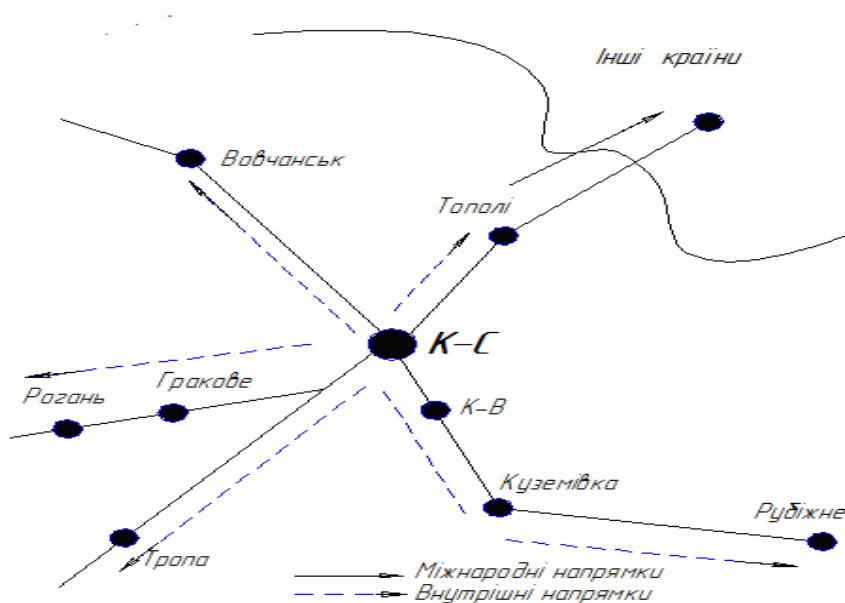


Рис. 1. Схема напрямків формування поїздів на станції К-С

Відомо, що з метою попередження можливих затримок під час розпуску составів через недостатню місткість спеціалізованих колій та при нерівномірному надходженні вагонопотоку слід застосовувати змінну спеціалізацію колій сортувального парку [1, 4, 5], але враховуючи можливу специфіку поїздоутворення за напрямками на станціях, доцільним є застосування змінної спеціалізації не колій, а пучків колій відповідно до потужності напрямків формування поїздів та кількості колій у кожному пучку.

Так, на даний час у сортувальному парку розподіл вагонів, які розформовуються на парній гірці, відбувається шляхом виділення під кожний напрямок окремих колій для завантажених та порожніх вагонів. Проте окрім виділення окремих колій для завантажених та порожніх вагонів пропонується також призначити спеціалізацію для кожного пучка за напрямками, а саме перший та другий пучки – для вагонопотоків міжнародного призначення, третій – для внутрішнього сполучення. У залежності від потужності кожного напрямку буде виділятися одна або дві колії для завантажених вагонів та одна колія для порожніх відповідно до характеру вагонопотоку.

Другий пучок пропонується виділити окремо для міжнародного напрямку, через який відбувається розподіл вагонопотоку по інших країнах Близького Сходу, оскільки за розмірами він дуже вагомий. Для того, щоб сортувальний процес на цьому напрямку пришвидшити на інші напрямки, пропонується окремо виділяти колії для порожніх та завантажених вагонів по тих напрямках (країнах), на які буде розподілений цей вагонопотік у подальшому прямуванні.

Таким чином, перший та другий пучок будуть спеціалізуватися тільки у міжнародних сполученнях. Третій пучок буде доцільно виділити для внутрішніх

вагонопотоків та у кількості трьох колій відповідно до обсягів переробки, решту колій залишити для відстоювання резервних вагонів та тих, що очікують ремонту.

З метою скорочення періоду накопичення вагонів та закінчення формування составів доцільним є регулювання черги розформування составів у залежності від наявності в них вагонів для закінчення формування поїзда.

Поточні лінії підсистем розформування і формування поїздів можна класифікувати за кількістю одночасно оброблюваного рухомого складу – одноканальні або багатоканальні і характером виконуваних індивідуальних процесів – прості або складні. На простих поточних лініях виконуються індивідуальні процеси, не пов'язані з перестановкою рухомого складу. До таких процесів відносяться технічний і комерційний огляд составів поїздів по прибутті та відправленні, очікування составом маневрового локомотива на коліях тощо.

На складних поточних лініях виконуються індивідуальні процеси, пов'язані з перестановкою рухомого складу і вагонів з попередніх поточних ліній і розмежуванням їх між каналами послідовних поточних ліній. Такими поточними лініями можуть бути підгіркова горловина сортувального парку з розформуванням составів на ній, групи колій у хвостовій горловині сортувальному парку, на яких відбувається накопичення вагонів у групи та/або состави, перестановка готових составів з сортувального парку на колії парку відправлення.

Сортувальний парк являє собою багатоканальну поточну лінію, кількість каналів на якій визначається кількістю сортувальних колій, що виділені для накопичення рухомого складу за призначенням плану формування. Після накопичення рухомого складу сортувальні колії використовуються як канали для очікування.

Витяжні колії формування являють собою складну багатоканальну поточну лінію. Кількість каналів тут обмежується кількістю ізольованих витяжних колій разом із закріпленими за ними маневровими локомотивами.

Парк відправлення, як і парк приймання, являє собою просту багатоканальну поточну лінію, на якій виконується комплекс операцій з підготовки сформованого рухомого складу до відправлення. Кількість каналів у парку відправлення визначається кількістю бригад, які одночасно обробляють рухомий склад, а відправні колії також виконують роль каналів очікування виконуваних операцій.

Таким чином, на сортувальній станції утворюється наскрізний сортувальний потік, який являє собою послідовне чергування простих і складних поточних ліній, при цьому кожна складна поточна лінія обслуговує дві суміжні прості багатоканальні лінії, що примикають до неї.

Завдання підвищення ефективності сортувального процесу на сортувальній станції є завданням пошуку таких технологічних параметрів сортувального процесу, які б забезпечували виконання заданих обсягів переробки з мінімальними витратами часу та матеріальних ресурсів за заданий період планування. Модель сортувального процесу на сортувальній станції має відображати особливості процесу переміщення вагонопотоків від моменту їх надходження на сортувальну станцію до моменту відправлення їх на напрямки згідно з планом формування поїздів.

Вихідними даними задачі є інформація про структуру системи, про обсяги вагонопотоку, що надходить на сортувальну станцію призначенням згідно з планом формування поїздів; характеристики технічних об'єктів сортувальної станції, до яких відносяться: потужність сортувальної гірки, кількість колій у парках станцій, кількість

працюючих на станції маневрових локомотивів та їх спеціалізація; оперативна інформація про стан об'єктів у попередні моменти часу тощо.

Технологія сортувального процесу, що розглядається, може бути описана такими керуючими параметрами:

- обсягом вхідного вагонопотоку на станції (V), ваг;
- кількістю колій сортувального парку, що задіяні для виконання поїздоутворення та виконання закінчення формування (k);
- тривалістю виконання закінчення формування составів на цих коліях (t), год;
- кількістю груп вагонів, що формуються за технологією поїздоутворення (g);
- кількістю маневрових локомотивів, задіяних у сортувальному процесі (l).

Таким чином, цільова функція може бути подана у неявному вигляді

$$T = f(V, k, t, g, l) \rightarrow \min. \quad (1)$$

На складові наведеної цільової функції накладаються такі обмеження:

$$\begin{cases} 1 \leq V \leq N_{пер}; \\ 1 \leq k \leq k_{заг}; \\ t \leq t_{норм}; \\ 1 \leq g \leq V; \\ 1 \leq l \leq L, \end{cases} \quad (2)$$

де $N_{пер}$ – переробна спроможність гірки, ваг;

$k_{заг}$ – загальна кількість колій у сортувальному парку;

$t_{норм}$ – нормативні значення на виконання технологічних операцій сортувального процесу, год;

L – кількість маневрових локомотивів, що працюють на станції у підсистемах розформування і формування.

Приведення цільової функції до явного вигляду та подальше її розв'язання потребує детального розгляду кожного етапу сортувального процесу, що не завжди є можливим з урахуванням специфіки процесу, який розглядається [6, 16]. Тому в роботі доцільним є застосування імітаційного моделювання, завдяки якому можна отримати певні результати для розв'язання поставленої задачі.

Для проведення динамічного дискретного моделювання сортувального процесу на сортувальній станції К-С було обрано математичний апарат мереж Петрі, що характеризується відносною простотою застосування та доступністю для аналізу результатів моделювання. Суть апарату, галузі застосування, його переваги та недоліки було детально розглянуто такими вченими, як В. Е Котов, Дж. Пітерсон, Е. Сміт, І. О. Ломазова та ін. [10-13]. Даний апарат широко застосовується при моделюванні транспортних потоків, зокрема залізничних [14-17].

При моделюванні сортувального процесу на сортувальній станції переходами зображено ті операції, що проводяться з поїздами, складами, вагонами або локомотивами у підсистемах розформування та формування, а також події, що не мають тривалості дії, але мають значення при розподілі складів на групи чи окремі вагони або застосуванні розподілу ймовірностей настання певних подій. Так, під переходами першого типу можуть значитись операції з розформування складу; причеплення маневрового локомотива до складу; технічний огляд складу по прибутті; підбирання груп вагонів у склад у сортувальному парку. До переходів другого типу відносяться розбиття складу на групи вагонів або на окремі вагони при розформуванні на гірці; розподіл вагонів, що скочуються з гірки, по пучках сортувального парку тощо.

Під позиціями у мережі Петрі у даному випадку можуть розумітись

очікування виконання операцій, перебування фізичних одиниць на певних об'єктах, а також так звані «лічильники» кількості фізичних одиниць, що пройшли певні переходи, тобто з якими відбулися певні операції.

Фізичними одиницями (фішками, що переходять від позицій до переходів і у зворотному напрямку) у даній моделі є кількісні фізичні об'єкти, що змінюють свою чисельність у процесі моделювання: поїзди, що прибувають і відправляються зі станції; склади, що розформовуються або формуються на сортувальних коліях; вагони, що потрапляють на різні колії сортувального парку в процесі розформування або які об'єднуються у групи вагонів під час формування складу; маневрові локомотиви, що обслуговують станцію тощо.

На рис. 2 зображено фрагмент імітаційної моделі у процесі моделювання, на якому подано колії першого пучка у процесі накопичення вагонів на них та очікування сформованих складів переставлення у парк відправлення. Як видно з рисунка, у даному запуску моделі такт моделювання 593 відповідає 1195 хв роботи станції протягом доби. У той же час на коліях другого і третього пучка продовжується сортувальний процес (рис. 3), ув'язаний з роботою технічних пристроїв усієї станції, зокрема маневрових локомотивів, витяжних колій та ін.

Розрахунок поїздоутворення, а саме визначення тривалості на готовність складів до відправлення, проводиться на підставі встановлених технологічним процесом норм тривалості знаходження складів у парках прибуття й відправлення, тривалості розформування й формування складів, перестановки їх у парк відправлення. Тому при визначенні раціонального способу формування складів на коліях сортувального парку ці норми виконання технологічних операцій є визначальними.

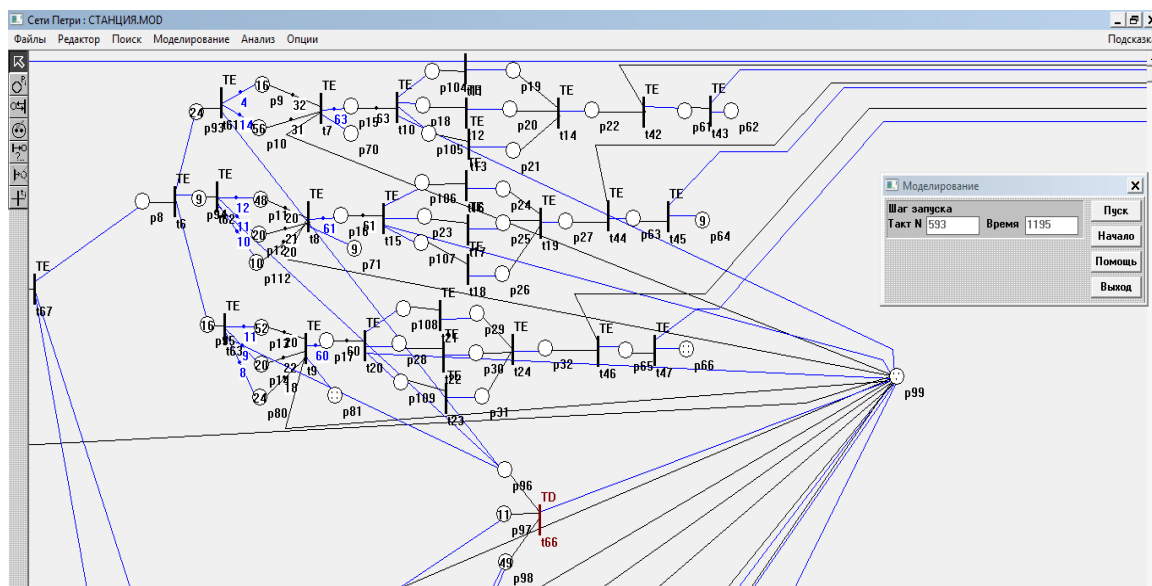


Рис. 2. Фрагмент імітаційної моделі сортувальної станції у мережах Петрі для першого пучка сортувального парку

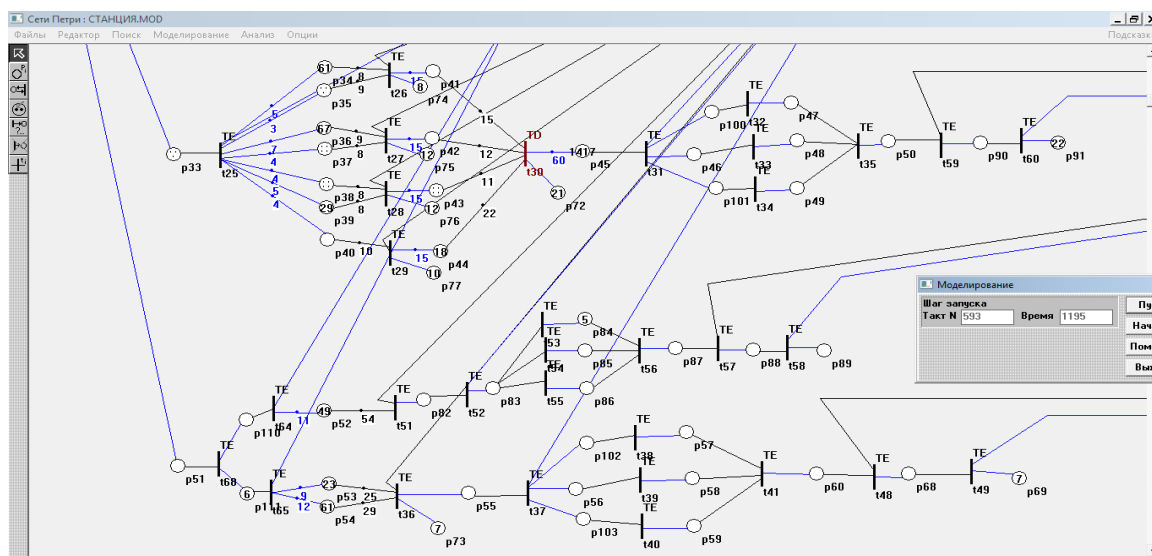


Рис. 3. Фрагмент імітаційної моделі сортувальної станції у мережах Петрі для другого пучка сортувального парку

Щоб детальніше відобразити процес поїздоутворення, розглянемо гістограму розподілу інтервалів закінчення формування поїздів (рис. 4).

Порівнюючи з нормативами на виконання технологічних операцій на гірці, які наведені вище, можна зробити висновок, що кожна операція виконується

згідно з нормами відхилення може становити лише 1-2 хв.

Для подальшого розгляду роботи на сортувальних коліях потрібно визначити рівень завантаження колій сортувального парку. На основі даних розрахунку параметрів і встановлення інтервалів між сформованими поїздами за показниковим

законом складено таблицю, у якій наведені дані по кожній колії, та рис. 5, що відображає завантаженість сортувальних колій протягом доби.

На рис. 6 наведено добові обсяги формування груп вагонів та составів з цих груп окремо по кожному пучку. З рисунка видно, що найбільша кількість груп вагонів та составів формується на коліях другого

пучка, що підтверджується результатами розрахунків рівня завантаженості колій. У той же час, при невеликих обсягах сформованих груп вагонів та составів на коліях першого пучка рівень завантаженості цих колій значний, що свідчить про наявність повторного сортування вагонів на цих коліях для підбору груп вагонів по напрямках прямування.

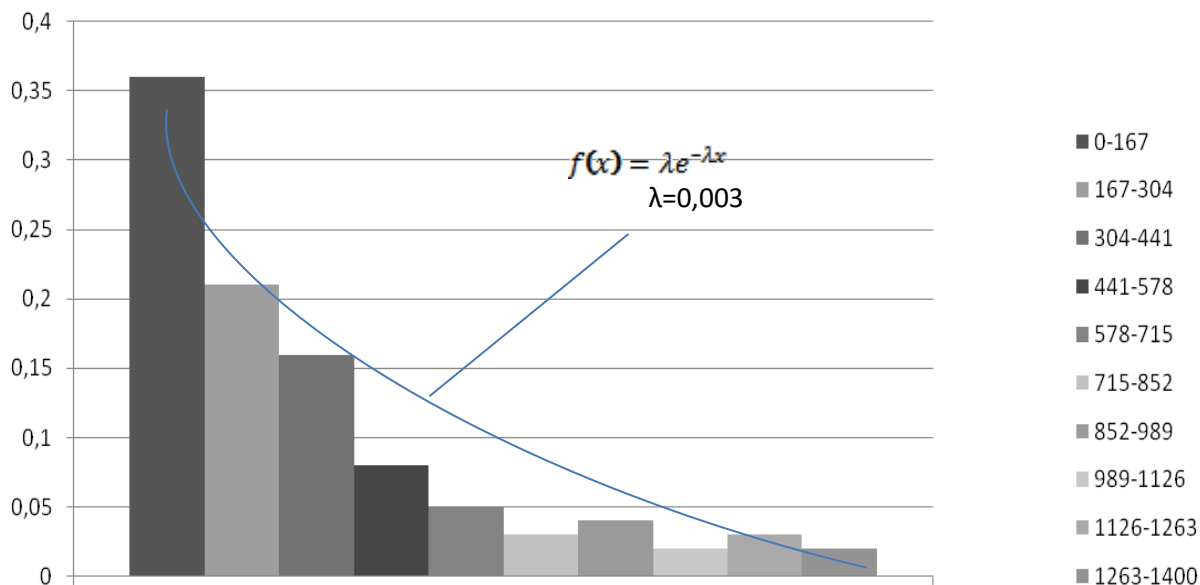


Рис. 4. Гістограма і теоретична крива розподілу інтервалів між сформованими поїздами

Таблиця

Рівень завантаження колій сортувального парку

Номер колії	Кількість вагонів	Кількість поїздів	Загальна тривалість заняття колій всіма поїздами, хв	Рівень завантаження колій
12	140	2	330	0,23
14	576	8	2570	0,88
15	553	8	1040	0,72
16	488	7	5088	0,88
17	346	5	2340	0,81
18	1054	15	5350	0,92
21	1327	19	6852	0,95
22	843	12	1250	0,87
23	1057	15	4760	0,83
24	222	3	1454	0,5
25	433	6	1670	0,58

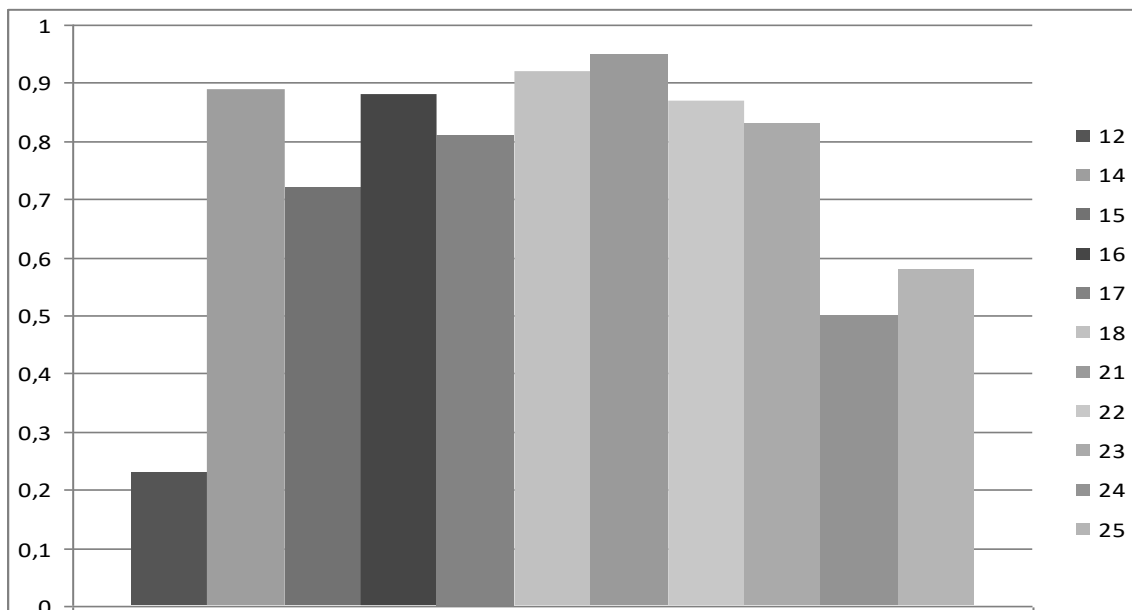


Рис. 5. Завантаженість сортувальних колій

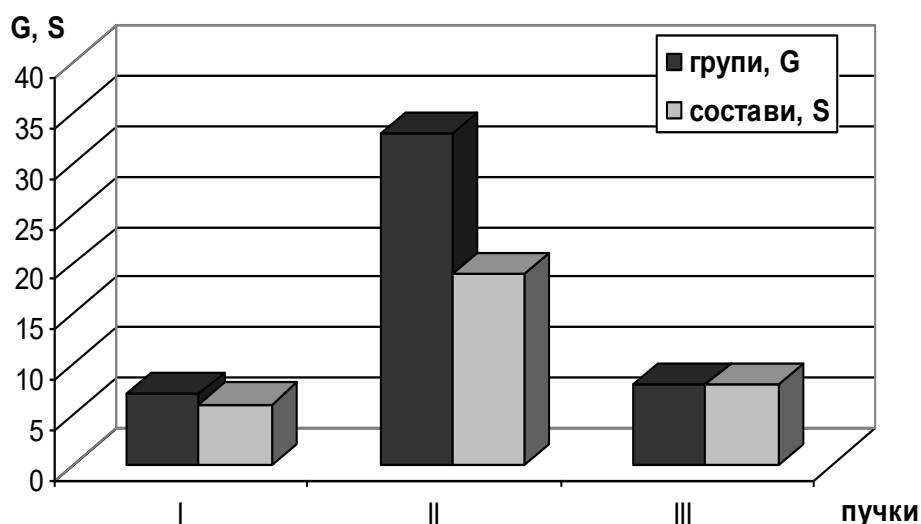


Рис. 6. Результати моделювання добової роботи підсистеми формування

На основі результатів моделювання процесу поїздоутворення та закінчення формування поїздів можна зробити висновок, що у залежності від напрямку подальшого прямування сформованого поїзда состав може формуватися від 30 хв до 1400 хв. Найбільш завантаженими коліями є колії № 21, 18, 16, 14, 17 та 22, які формують поїзди на міжнародні напрямки. Розглянувши результати

моделювання роботи на коліях сортувальної гірки станції К-С, було виявлено, що на двох перших пучках, а саме коліях № 11-18 та № 21-27, весь час проводяться сортувальні операції (розформування та формування составів, осаджування), тому вони є постійно зайнятими. Це дозволяє у повному обсязі забезпечити приймання та відправлення вантажів з різних напрямків.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. При розробці заходів з удосконалення технології закінчення формування составів поїздів основними критеріями щодо їх вибору були зменшення тривалості знаходження вагонів, що переробляються на сортувальній станції, під сортувальним процесом у підсистемах розформування та формування, а також відповідність при цьому рівня завантаженості сортувальних колій протягом доби допустимим рівням завантаження.

На основі даних, отриманих моделюванням, було визначено, що застосування запропонованих заходів з удосконалення технології поїздоутворення на сортувальній станції забезпечує більш раціональну організацію вагонопотоків як внутрішнього сполучення, так і міжнародного, при цьому не вимагає залучення додаткових технічних засобів на станції, і, як наслідок, не потребують додаткових капітальних вкладень у розвиток інфраструктури станції.

Список використаних джерел

1. Архангельский, Е. В. Одновременное формирование многогруппных поездов на сортировочных станциях [Текст] / Е. В. Архангельский // Железнодорожный транспорт. – 1979. – № 7. – С.72-5.
2. Сотников, И. Б. Взаимодействие станций и участков железных дорог [Текст] / И. Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1976. – С. 77-93.
3. Сотников, И.Б. Интенсификация работы сортировочных станций [Текст] / И.Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1979. – 163 с.
4. Флодр, Ф. Технология работы станций формирования поездов [Текст] / Ф. Флодр, В. Мойжиш, К. Волески. – М.: Транспорт, 1989. – С. 105-06.
5. Москалев, П. И. Непрерывность процессов переработки вагонов на станции [Текст] / П. И. Москалев. – М.: Транспорт, 1976. – 131 с.
6. Бобровский, В. И. Совершенствование методики выбора рациональной технологии формирования многогруппного состава [Текст] / В. И. Бобровский, И. Я. Сковрон // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. заліз. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 131. – С. 162-171.
7. Ivic, M. Effects of the application of conventional methods in the process of forming the pick-up trains [Text] / M. Ivic, M. Markovic, A. Markovic // Yugoslav Journal of Operations Research. – 2007. – Vol. 17 (2). – P. 245-256.
8. Boysen, N. Shunting yard operations: Theoretical aspects and applications [Text] / N. Boysen, M. Fliedner, F. Jaehn, E. Pesch // European Journal of Operational Research/ – 2012. – Vol. 220, Issue 1. – P. 1-14.
9. Lashenyh, O. Development of mathematical models for planning the duration of shunting operations [Text] / O. Lashenyh, S. Turpak, S. Gritcay, L. Vasileva, E. Ostroglyad // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 5, Issue 3 (83). – P. 40-46.
10. Котов, В. Е. Сети Петри. [Текст] / В. Е. Котов. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
11. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем [Текст] / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984 – 264 с.
12. Ломазова, И. А. Объектно-ориентированные сети Петри: формальная семантика и анализ [Текст] / И. А. Ломазова // Системная информатика. – 2002. – Вып. 8. – С. 143–205.
13. Лескин, А. А. Сети Петри в моделировании и управлении [Текст] / А. А. Лескин, П. А. Мальцев, А. М. Спиридонов. – Л.: Наука, 1989. – 133 с.
14. Альошинський, Є. С. Розробка моделі функціонування системи залізничних вантажних перевезень в міжнародних транспортних коридорах [Текст] / Є. С. Альошинський // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – Вип. 2. – С. 31-35.

15. Альошинський, Є. С. Розробка імітаційної моделі процесу виконання митних операцій на припортових пунктах переробки контейнерних вантажів [Текст] / Є. С. Альошинський, Г. І. Шелехань, О. В. Миронець // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – Вип. 13. – С. 5-12.

16. Загарий, Г. И. Моделирование процесса перевозок на железных дорогах Украины с помощью расширенных сетей Петри [Текст] / Г. И. Загарий, Ю. М. Федюшин // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1997. – Т. 4. – С. 52-56.

17. Селецький, В. С. Застосування математичного апарату мереж Петрі на залізничному транспорті [Текст] / В. С. Селецький // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 2. – С. 3-6.

Шаповал Ганна Василівна, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (066) 753-81-83. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.

Шелехань Ганна Ігорівна, асистент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (066) 141-54-05. E-mail: shelekhan@email.ua.

Занік Ірина Володимирівна, студентка факультету управління процесами перевезень Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (099) 982-42-86. E-mail: irinka77718@gmail.com.

Shapoval Anna, PhD. Sc. Associate Professor, Department of railway stations and junctions Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (066) 753-81-83. E-mail: ann.shapoval@ukr.net.

Shelehan Anna I., the assistant of railway stations and junctions Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (066) 141-54-05. E-mail: shelekhan@email.ua.

Zanik Irina, a student of management processes of transport of Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (099) 982-42-86. E-mail: irinka77718@gmail.com.

Стаття прийнята 03.12.2016 р.

УДК 66.04

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ВІД ПРОЦЕСІВ ТЕРМІЧНОГО ЗНЕШКОДЖЕННЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Кандидати техн. наук О. П. Крот, О. І. Ровенський, асп. В. В. Конєв

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ВЫБРОСОВ ОТ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Кандидаты техн. наук. О. П. Крот, А. И. Ровенский асп. В. В. Конев

EXPERIMENTAL STUDY OF METHODS OF REDUCING EMISSIONS FROM THE PROCESSES OF THERMAL DESTRUCTION OF MUNICIPAL WASTE

PhD. tehn. O. P. Krot, sciences, pg. V. V. Koniev, PhD. tehn. O. I. Rovenskyi

Наведено приклад сучасної технологічної схеми очищення викидів після термічного знешкодження побутових відходів. У лабораторних умовах було проведено порівняльний дослід з очищення відпрацьованих газів. Запропонований каталізатор є сумішшю паладію та платини, яка нанесена на керамічний матеріал. Отримані результати можна використовувати при проектуванні очисного обладнання після термічного знешкодження відходів різного походження.

Ключові слова: термічне знешкодження, побутові відходи, очищення викидів, катализатор.

Представлен пример современной технологической схемы очистки выбросов после термического обезвреживания бытовых отходов. В лабораторных условиях были проведены сравнительные исследования по очистке отработанных газов. Предложенный катализатор представляет собой смесь палладия и платины, которая нанесена на керамический материал. Полученные результаты можно использовать при проектировании очистного оборудования после термического обезвреживания бытовых отходов различного происхождения.

Ключевые слова: термическое обезвреживание, бытовые отходы, очистка выбросов, катализатор.

The example of modern technological emission control circuit after waste incineration was represented. Comparative studies were conducted in laboratory conditions for cleaning gases of polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs), polychlorinated chlorobenzenes (PCBzs), and of polyaromatic hydrocarbons (PAHs) on catalyst. Proposed catalyst is a mixture of platinum and palladium, which is applied to the ceramic material. The element-organic compounds is not influence on the catalyst in oxidation, which ensures a long life operation without regeneration. The results can be used in the design of pollution control equipment after the incineration waste of various origins.

Keywords: incineration, municipal waste, emissions purification, catalyst.

Вступ. Останніми роками в Україні дуже гостро стоїть проблема накопичення, переробки і утилізації твердих побутових відходів (ТПВ). Так, тільки за 2014 р. утворилось 343,5 млн т твердих побутових відходів, які поховані на 4,5 тис. сміттєзвалищах і полігонах загальною площею понад 8 тис. га. Поряд з цим, серед 6 тисяч сміттєзвалищ – переважана 16 %, а 19 % взагалі не відповідають нормам. Сучасним прикладом небезпеки сміттєзвалища є екологічна катастрофа на полігоні побутових і промислових відходів біля села Грибовичі у Львівській області, на який протягом п'ятдесяти років вивозилося близько 1 млн м³ відходів щороку, тому цей полігон був переповненим та застарілим. А в червні цього року через зсув сміття у декілька тонн під завалами опинилося кілька осіб. Ця трагедія показує, що проблему поводження з відходами необхідно вирішувати невідкладно. Серед основних методів знешкодження ТПВ – є їх спалювання. При спалюванні відходів їх можна вважати альтернативним видом

палива, що є дуже актуальним у час енергетичної кризи в Україні.

Складність створення установок для спалювання ТПВ пов'язана з особливостями цієї технології. Зокрема, спостерігається руйнівний вплив електричних потенціалів і надлишкових зарядів на матеріали і конструкції установок очищення. Проблемами таких впливів на конструкції займалися автори у роботі [1].

Однією з основних причин, яка раніше перешкоджала широкому використанню термічного знешкодження твердих побутових відходів, є наявність небезпечних викидів від цих установок, у тому числі так звана «діоксинова» проблема. У роботі [2] автори досліджують утворення діоксинів при спалюванні різних змодельованих зразків відходів, у тому числі різних видів паперу, різних видів деревини, опалого листя, харчових продуктів, поліетилену, полістиролу, полівінілхлориду, полівініліденхлориду та інших видів пластмасових виробів. Були

проведені дослідження на декількох конструкціях муніципальних установок, але необхідне більш досконале вивчення багатьох індивідуальних факторів, що впливають на формування та розпад діоксинів у муніципальних установках для спалювання сміття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом забруднення навколишнього середовища діоксинами стало серйозною проблемою в Україні. Важливим моментом є дослідження процесів трансформації діоксинів, які можуть утворюватися в результаті спалювання багатьох видів відходів та методів очищення газоподібних продуктів згоряння після спалювання твердих побутових відходів. Ці процеси наведені у роботах [3, 4]. В даних дослідженнях зменшення діоксинів у викидах досягається шляхом впливу на температурні та повітряні процеси у спалювальних пристроях, але не враховується можливість утворення діоксинів у газоходах, після печі.

На сьогоднішній день велику кількість досліджень проведено у напрямку видалення токсичних речовин, у наявних викидах сміттєспалювальних підприємств. Результати цих досліджень були введені в практику. Деякі з прикладів – видалення газоподібного хлористого водню з використанням з'єднань кальцію у вигляді вапна та вапняку [5]. У деяких роботах для очищення газів від діоксинів використовують адсорбенти з високою активною поверхнею, наприклад активоване вугілля. Перспективним напрямком є очищення викидів від діоксинів та їх похідних з використанням каталізатора [6]. У перелічених дослідженнях не розглянуто проблему впливу каталітичних отрут на активність каталізатора.

Суттєвим недоліком використання каталізатора є наявність у викидах сміттєспалювальних підприємств сірчаних сполук, таких як етилмеркаптанів і диметилдісульфід, які можуть

деактивувати навіть платиновий каталізатор, як це розглянуто у роботі [7]. Але в цих дослідженнях були використані комерційні каталізатори - NS-10 Pt/ γ -Al₂O₃, які недоступні для українських споживачів внаслідок високої вартості.

Відомим є спосіб очищення відпрацьованих газів від ПАВ, у тому числі канцерогенних, сажистих сполук, що містять сірку, на двошаровому каталізаторі: у першому шарі – марганцева руда, у другому шарі – паладієвий каталізатор [8]. Доокислення проводять на алюмопаладієвому каталізаторі ПКШ-3 при температурі 400-450°C з наступною регенерацією каталізаторів шляхом продування повітрям при температурі 500-600°C. Недоліком цього методу є висока температура запалювання каталізатора та низький ступінь очищення від органічних речовин, що містять хлор, фтор, фосфор та сірку.

Найближчим за технічною суттю до запропонованого способу є спосіб очищення вихлопних та промислових газів від домішок оксиду вуглецю та органічних сполук, згідно з яким газу пропускають через каталізатор, що містить платину у суміші з родієм, яка нанесена на керамічний матеріал, що має у своєму складі цирконіюмуліт, муліт, глинозем, силіманіт, силікати магнію, циркон, петаліт, сподумен, кордієрит та алюмосилікати [9]. Однак при застосуванні цього способу для окислення викидів, що містять домішки елемент-органічних сполук (сполук, що містять S, Cl, F, P, As та ін.), спостерігається часткова або повна дезактивація каталізатора, яка виявляється через підвищення температури його запалювання і через зниження ступеня очищення від вуглеводнів. Це пояснюється тим, що наявні каталізатори є нестійкими до впливу Cl, F, P, S і швидко втрачають свою активність.

Мета статті – на підставі проведеного аналізу процесів утворення діоксинів та інших хлороорганічних сполук

при спалюванні та існуючих методів очищення викидів від них провести дослідження ефективності знешкодження викидів новим каталізатором з керамічного матеріалу, що містить метал групи платини на носії; зробити опис запропонованого авторами способу; визначити оптимальні технологічні режими процесу очищення.

Для очищення викидів використовують різні методи і технології очищення газоподібних продуктів згоряння ТПВ. Результати виконаного аналітичного огляду існуючих методів і технологій показують, що практично неможливо організувати одночасне зниження викидів усіх основних регламентованих показників шкідливих речовин у рамках якого-небудь одного методу або на одній технологічній стадії. Тому на сучасних установках, що спалюють відходи різного походження, проблема зниження забруднення атмосферного повітря вирішується комплексно, шляхом впровадження декількох природоохоронних заходів, що реалізуються на різних стадіях технологічного процесу.

Об'єктом досліджень даної роботи є процес очищення газових викидів від продуктів згоряння муніципальних відходів.

Прикладом сучасної технологічної схеми очищення викидів після термічного знешкодження сміття може служити п'ятистадійне газоочищення. Перший ступінь – знешкодження, яке полягає в термічному вогневому розкладанні відходів та утилізації. Другий ступінь – очищення газів в камері допалювання при температурі 11000°C протягом 2–2,5 с, де відбувається окислення органічних речовин до вуглекислого газу і води. Після камери допалювання димові гази проходять через високотемпературний каталітичний реактор І ступеня. На зовнішній та внутрішній поверхнях трубок завдяки контакту з активними елементами каталізатора

відбувається деструкція елемент-органічних сполук до парів HCl, HF, SO₂ і SO₃. Для нейтралізації кислих складових димових газів проводиться впорскування содового розчину за допомогою ежекційної форсунки. Содовий розчин (а не просто вода) призначений для нейтралізації кислих газоподібних HCl, HF, SO₂ і SO₃ шляхом перетворення їх у нешкідливі солі NaCl, NaF, Na₂SO₃, Na₂SO₄. Третій ступінь – очищення від великих частинок у вихровому апараті. Четвертий ступінь – знешкодження хлоровмісних речовин, що залишилися (поліхлорованих дибензодіоксинів (ПХДД) і дибензофуранів (ПХДФ)) у каталітичному реакторі при температурі 550-6000°C. Галогенвмісні ангідриди і кислоти, які можуть утворюватися в процесі спалювання, нейтралізуються лужним розчином, що впорскується в камеру допалювання і до, і після каталітичного реактора. Кристали солей і пил, що утворилися, уловлюються в рукавному фільтрі. Перед димовою трубою встановлюється вугільний фільтр, який вловлює сконденсовані аерозолі ртуті та кобальту – п'ятий ступінь (рис. 1, 2).

Такий процес нейтралізації хлоровмісних відходів забезпечує повне їх розкладання. Високий ступінь уловлювання побічних продуктів, що утворилися в процесі спалювання, гарантує дотримання Європейських нормативів на виході з димової труби. Отримане в теплообмінниках тепло є складовою частиною постачання теплом.

В основу дослідження покладено завдання одночасного очищення газових викидів сміттєспалювальних печей від домішок різного походження, у тому числі стійких хлорорганічних сполук, поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), сажистих та інших речовин при підвищеній температурі, з використанням каталізатора.

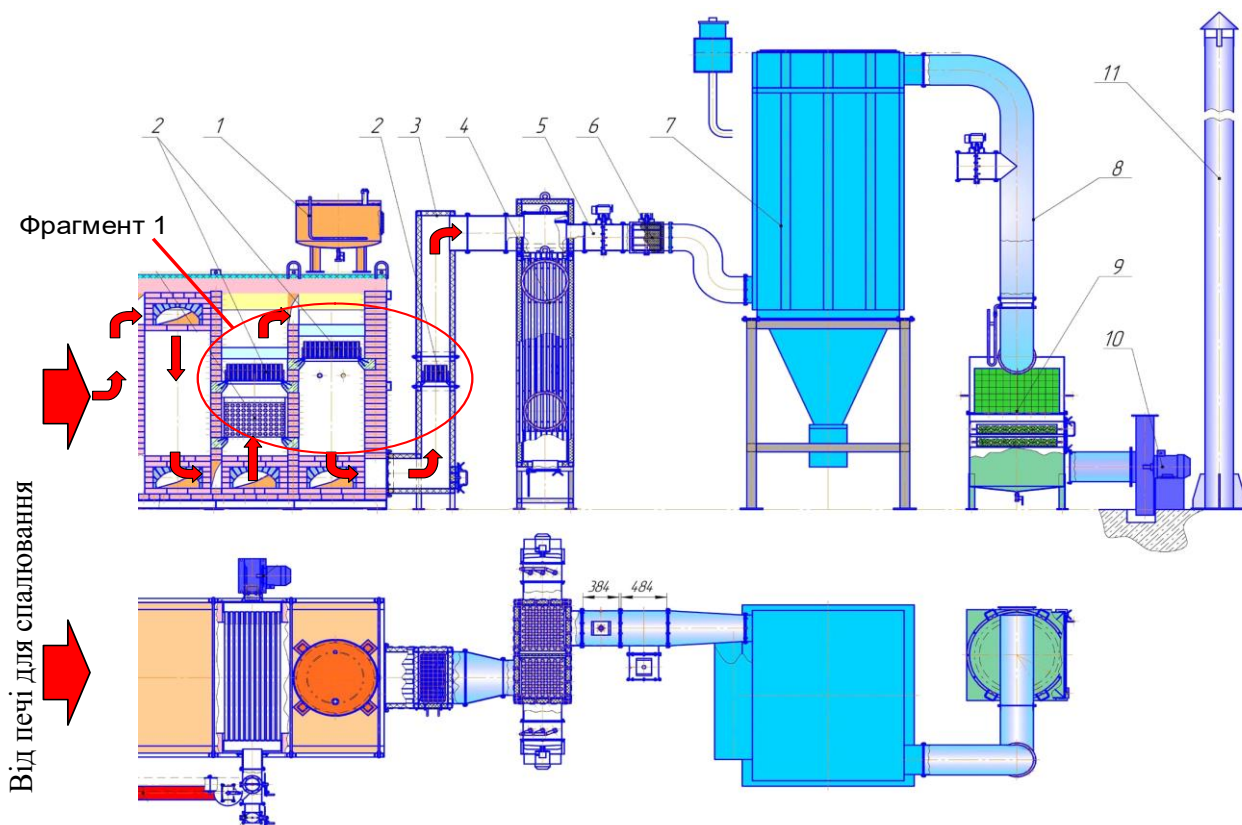


Рис. 1. Можлива компоновка системи каталітичної очистки: 1 – система подачі содового розчину; 2 – каталітичний реактор; 3 – газохід; 4 – димоохолоджувач; 5 – клапан розрідження; 6 – клапан підсосу повітря; 7 – фільтр рукавний; 8 – газохід; 9 – фільтр адсорбційний вуглетканинний; 10 – димосос; 11 – труба димова з дефлектором.

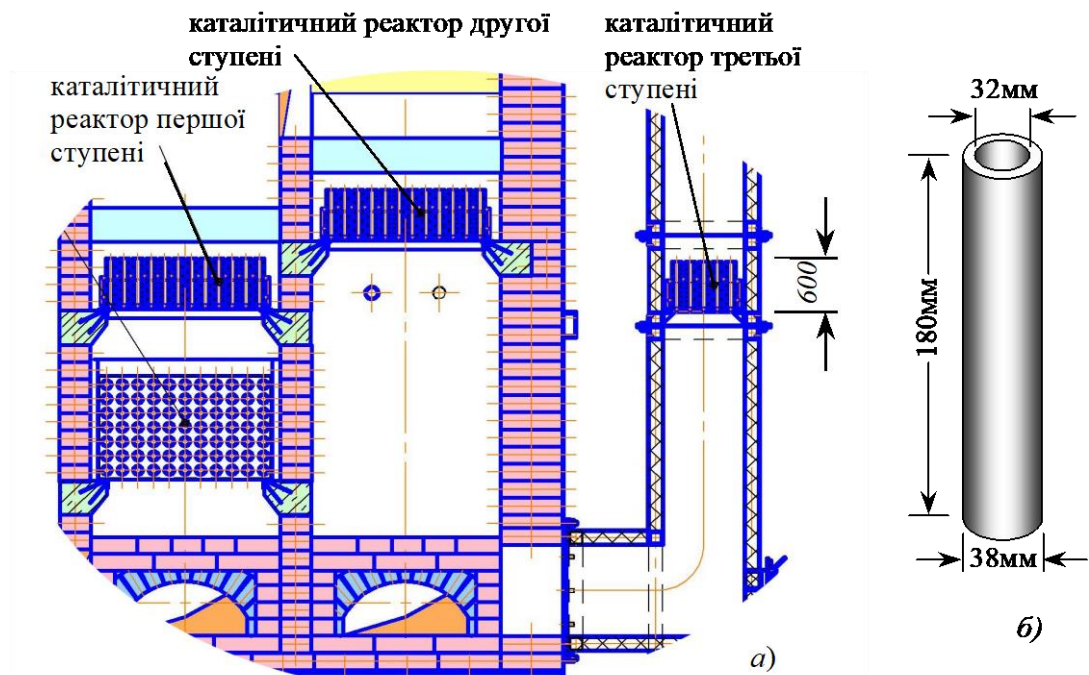


Рис. 2. Фрагменти системи каталітичного очищення: а – фрагмент 1 на рис. 1 (збільшено); б – елемент каталізатора

Методи досліджень та матеріали.

Дослідження проводились на стаціонарній установці з нерухомим шаром каталізатора. Для з'ясування оптимальної об'ємної швидкості газу в реакторі були проведені досліди для кожного типу каталізатора при температурі $50\div 500^{\circ}\text{C}$ з об'ємною швидкістю $10000\div 30000$ год⁻¹. У ході кожного експерименту відбирали 3÷5 проб, отримані результати усереднювали. Активність каталізатора визначалася за ступенем очищення кінцевих компонентів. Хімічний склад газів визначали газоаналізатором ОКІ 5М-5. Для визначення масового складу забруднювальних речовин використовувався метод газової хроматографії. Звичайне виконання корпусу каталітичного реактора – сталевий коробок без кришки, днище якої перфороване.

Дослідження методів зменшення викидів від процесів термічного знешкодження побутових відходів. Поставлене завдання вирішується тим, що очищення газоподібних викидів від домішок поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), сажистих та елемент-органічних речовин виконують шляхом окислення їх при підвищеній температурі на каталізаторі, що містить метал групи платини на носії з керамічного матеріалу, причому як активну речовину каталізатора використовують суміш паладію та платини у співвідношенні 1:(0,26÷0,5), яку наносять на керамічний матеріал, що має у своєму складі відходи корундового виробництва та зв'язуюче – фосфат натрію у співвідношенні 1:(0,10÷0,15). Поставлене завдання також вирішується тим, що носій каталізатора до нанесення суміші паладію та платини висушують при температурі $800\text{-}900^{\circ}\text{C}$ протягом 2-3 годин, а після нанесення активних речовин каталізатор пропікають при температурі $1200\text{-}1500^{\circ}\text{C}$ протягом 2 годин. Завдання винаходу також вирішується тим, що регенерацію каталізатора проводять шляхом продування

його повітрям і парою у співвідношенні 1:2÷3 при температурі $450\div 500^{\circ}\text{C}$.

Гази від сміттєспалювальних печей, установок хімічної, коксохімічної та металургійної галузей промисловості часто мають у своєму складі, окрім ПАВ та сажі, елемент-органічні речовини (органічні сполуки, що містять хлор, фтор, фосфор, сірку), які в процесі знешкодження газів на каталізаторі окислюються до відповідних кислот, що вступають у взаємодію з оксидами металів каталізатора і утворюють на його поверхні кислі солі: хлориди, фториди, фосфати. Солі, що утворились, є неактивними в реакції глибокого окислення елемент-органічних речовин і їх необхідно зруйнувати із застосуванням високих температур або відновного газу. В результаті знижується активність каталізатора, температура його запалювання, підвищується частота регенерації каталізатора і скорочується період його роботи.

Запропонований каталізатор, що є сумішшю паладію та платини, яка нанесена на керамічний матеріал, що містить циркономуліт, циркон, алюмосилікати, відходи корундового виробництва та зв'язуюче – фосфат натрію, був пропечений при $1200\div 1500^{\circ}\text{C}$. Прожарювання каталізатора – одна з важливих операцій при виготовленні контактних мас, внаслідок термічної дисоціації, виходить власне активна речовина каталізатора. Каталізатор практично не зазнає впливу елемент-органічних речовин під час їх окислення, що забезпечує зниження частоти його регенерації. При цьому також знижується температура запалювання каталізатора.

В процесі знешкодження газу, що надходять від сміттєспалювальних печей та інших установок і містять ПАВ, сажисті речовини та сполуки, що мають у своєму складі хлор, фтор, фосфор, сірку, з температурою $50\div 500^{\circ}\text{C}$ подають з об'ємною швидкістю $10000\div 30000$ год⁻¹ на каталізатор, який є сумішшю 0,3-0,5 %

паладію та платини на керамічному носії. Органічні речовини окислюються до CO_2 та H_2O , елемент-органічні сполуки окислюються до відповідних кислот, які виносяться з потоком газу. Цей потік газу, що містить HCl , HF , H_3PO_4 , H_2SO_4 , далі піддають регенерації лужним реагентом. Після 100 годин роботи каталізатор регенерують шляхом продування його повітрям та паром при підвищеній температурі.

У лабораторних умовах було проведено порівняльний дослід з очищення відпрацьованих газів. Спочатку знешкоджували газ, що містить $0,5 \text{ г/м}^3$ ПАВ, на каталізаторі, що становив собою $0,3 \%$ суміші паладію та платини (1:0,25) на керамічному носії із зв'язуючим – фосфатом натрію у співвідношенні (1:0,12) і був пропечений при 1200°C . При об'ємній швидкості 30000 год^{-1} і температурі запалювання 470°C ступінь очищення складав 95% . Далі в газ, що підлягали очищенню, додавали чотирихлористий вуглець як елемент-органічну сполуку, що важко видалити, в концентрації $0,1 \text{ г/м}^3$. При об'ємній швидкості 25000 год^{-1} , температурі запалювання 470°C ступінь очищення від ПАВ складав 95% , ступінь знешкодження чотирихлористого вуглецю – 98% . При роботі каталізатора протягом 30 годин ступінь очищення від ПАВ складав 95% , від чотирихлористого вуглецю – 90% .

Також було виконано порівняльний дослід, аналогічний до попереднього. Спочатку знешкоджували відпрацьовані газ, що містить $0,5 \text{ г/м}^3$ ПАВ на каталізаторі, що становив собою $0,3 \%$ суміші паладію та платини (1:0,3) на керамічному носії із зв'язуючим – фосфатом натрію (1:0,12) і був пропечений при 1350°C . При температурі запалювання 380°C та об'ємній швидкості 30000 год^{-1} ступінь знешкодження від ПАВ складав 98% . Далі в газ, що підлягали очищенню, додавали чотирихлористий вуглець в концентрації $0,1 \text{ г/м}^3$. При об'ємній

швидкості 30000 год^{-1} і температурі запалювання 380°C ступінь очищення від ПАВ складав 98% , ступінь знешкодження CCl_4 – $99,9 \%$. При роботі каталізатора протягом 60 годин ступінь очищення від ПАВ не змінювався і складав 98% , від CCl_4 – $99,9 \%$.

Наступний порівняльний дослід. Спочатку знешкоджували відпрацьовані газ, що містять $0,5 \text{ г/м}^3$ ПАВ, на каталізаторі, який становив собою $0,5 \%$ суміші паладію та платини (1:0,5) на керамічному носії із зв'язуючим – фосфатом натрію (1:0,12) і був пропечений при 1500°C . При температурі запалювання 380°C та об'ємній швидкості 30000 год^{-1} ступінь знешкодження ПАВ складав 98% . Далі в газ, що підлягали очищенню, додавали чотирихлористий вуглець у концентрації $0,1 \text{ г/м}^3$. При об'ємній швидкості 30000 год^{-1} та температурі запалювання 380°C ступінь очищення від ПАВ складав 98% , ступінь знешкодження CCl_4 – $99,9 \%$. При роботі каталізатора протягом 60 годин ступінь очищення не змінювався і складав щодо ПАВ 98% , щодо CCl_4 – $99,9 \%$, тобто залишався на рівні Прикладу 2.

Знешкоджували відпрацьовані газ, що містять $0,5 \text{ г/м}^3$ ПАВ у суміші з чотирихлористим вуглецем (причому концентрація останнього складала $0,1 \text{ г/м}^3$), на каталізаторі, який становив собою $0,3 \%$ суміші паладію та платини (1:0,3) на керамічному носії із зв'язуючим – фосфатом натрію (1:0,12) і був пропечений при 1350°C . Об'ємна швидкість подавання газу складала 30000 год^{-1} . Температура запалювання каталізатора залишалась на тому самому рівні. При роботі каталізатора протягом 100 годин спостерігалось незначне зниження ступеня очищення від ПАВ – 95% , від CCl_4 – 97% .

Регенерацію каталізатора виконували шляхом продування сумішшю повітря та пари у співвідношенні 1:(2÷3), переважно 2,75, при температурі $450\text{-}500^\circ\text{C}$ протягом 3,5 годин. Ступінь знешкодження знову

повертався до високих показників і складав щодо ПАВ – 98 %, щодо ССІ4 – 99,9 %.

У таблиці подано аналіз ступеня окислення ПАВ/сажа та чотирихлористого

вуглецю на відомих каталізаторах у порівнянні із запропонованим залежно від тривалості роботи каталізатора та температури його запалювання.

Таблиця

Порівняльний аналіз ступеня окислення ПАВ/сажа та чотирихлористого вуглецю

Каталізатор	Температура запалювання, °С	Концентрація, г/м ³		Ступінь очищення ССІ4 залежно від маси, %			
		ПАВ/сажа	ССІ4	1 г	30 г	60 г	100 г
Марганцева руда + паладієвий каталізатор кульковий-3 (ПКШ-3)	470	0,5/0,3	-	95	93	85	77
			0,1	93	90	75	67
Платино-родієвий каталізатор	470	0,5/0,3	-	90	87	85	70
			0,1	85	78	72	65
Запропонований каталізатор паладієво-платиновий на кераміці	380	0,5/0,3	-	98,5	98	98	95
				99,9	99,9	99,9	98

Як видно із таблиці, запропонований спосіб у порівнянні із відомими дає можливість з високим ступенем знешкоджувати відпрацьовані гази, що мають у своєму складі ПАВ, сажисті, органічні речовини, які містять хлор, фтор, фосфор, сірку. При цьому ступінь очищення практично не змінюється залежно від часу, і лише після 100 годин роботи каталізатор потребує регенерації, продування гарячим повітрям та парою. Температура запалювання каталізатора складає 380°С замість 470°С. Пару кислот, які утворюються при цьому, вловлюють лужним реагентом. Очищені гази викидають в атмосферу.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Проведено дослідження високоефективного очищення на основі

суміші паладію та платини, яка нанесена на керамічний матеріал, що містить цирконію, циркон, алюмосилікати, відходи корундового виробництва та зв'язуюче – фосфат натрію. Каталізатор практично не зазнає впливу елемент-органічних речовин під час їх окислення, що забезпечує довгий термін його роботи без регенерації. За час проведення досліджень активність каталізатора не знижувалася. В промислових установках термін роботи каталізатора складає п'ять років. Термообробка каталізатора при його виготовленні знижує температуру роботи каталізатора. Отримані результати можна використовувати при проектуванні очисного обладнання після термічного знешкодження відходів різного походження.

Список використаних джерел

1. Плугин, А. Н. Влияние постоянных токов утечки на трещинообразование бетонных и железобетонных конструкций [Текст] / А.Н. Плугин, Ал.А. Плугин, А.А. Конев, С.Г. Нестеренко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 130. – С. 64-71.

2. Shibamoto T, Yasuhara A, Katami T. Dioxin formation from waste incineration [Text] / Shibamoto T, Yasuhara A, Katami T. // *Rev Environ Contam Toxicol.* – 2007. – №190. – P. 1-41.
3. Gordon, M. Dioxin characterisation, formation and minimisation during municipal solid waste (MSW) incineration: review [Text] / Gordon M. // *Chemical Engineering Journal.* — 2002. – №86. – P. 343–368.
4. Hester R. E., Harrison R. M., Eduljee Gev H. Control of PCDD and PCDF emissions from waste combustors [Text] / R. E. Hester, R. M. Harrison, Gev H. Eduljee // *Chlorinated Organic Micropollutants.* — 2006. — №6.— P. 53-72.
5. Bodéan, F. Characterization of flue gas cleaning residues from European solid waste incinerators: assessment of various Ca-based sorbent processes [Text] /Bodéan F., Deniard Ph. // *Chemosphere.* — 2003. — №51.— P. 335–347.
6. Okumura M., Akita T., Haruta M., Wang X., Kajikawa, O., Okada O. Multi-component noble metal catalysts prepared by sequential deposition precipitation for low temperature decomposition of dioxin [Text] / Okumura M., Akita T., Haruta M., Wang X., Kajikawa O., Okada O. // *Applied Catalysis B: Environmental.* – 2003. – №41. – P. 43–52.
7. H.Chu , W.T. Lee , Y.Y. Chiou , T.K. Tseng. The Kinetics of Catalytic Incineration of C₂H₅SH and (CH₃)₂S₂ over a Pt/Al₂O₃ Catalyst [Text] /H. Chu , W.T. Lee , Y.Y. Chiou , T.K. Tseng. // *Environmental Technology.* — 2010. — P.515-522.
8. Спосіб очищення газоподібних викидів від речовин, що містять канцерогени [Текст]: пат. №33262А України: МПК ВО1D 53/46 / Крот О.П. ; заявитель и патентообладатель Крот О.П.; заявл. 15.02.01. — 4 с.
9. Установка термokatалітичного знешкодження муніципальних відходів з утилізацією вторинних ресурсів [Текст]: пат. 69201 України: МПК (2012. 01) F23G5/00/Остапчук В.М.; заявитель и патентообладатель Остапчук В.М. — № u 2011 11073; заявл. 16.09.11; опубл. 25.04.12, Бюл. № 8. – 4 с.

Крот Ольга Петрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та інженерної екології Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (098) 204-71-65.

E-mail: uch.opk@gmail.com.

Ровенський Олександр Іванович, канд. техн. наук, завідуючий відділом регіональної екології, Північно-Східний Науковий Центр Національної академії наук України. Тел.: (050) 402-08-10. E-mail: uch.opk@gmail.com.

Конєв Віталій Васильович, аспірант кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (067) 575-05-51. E-mail: ukrainoslav@ukr.net.

Krot Olga, PhD. tehn., Associate Professor the department safety life and environmental engineering Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture. Tel. : (098) 204-71-65. E-mail: uch.opk@gmail.com.

Rovenskyi Oleksandr, PhD. tehn., Head of the regional ecology department North-East Scientific Center of the National Academy of Sciences of Ukraine. Te. : (050) 402-08-10. E-mail: uch.opk@gmail.com.

Koniev Vitalii, graduate student the department building materials, structures and constructions Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.:(067) 575-05-51. E-mail: ukrainoslav@ukr.net.

Стаття прийнята 10.11.2016 р.

УДК 656.2.022.846

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗВ'ЯЗОК КОЛІЙ В ЗАЛІЗНИЧНИХ ВУЗЛАХ

Кандидати техн. наук О. В. Розсоха, І. В. Берестов, Г. В. Шаповал,
магістрант З. З. Мамедов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАЗВЯЗОК ПУТЕЙ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛАХ

Кандидаты техн. наук А. В. Розсоха, И. В. Берестов, А. В. Шаповал,
магистрант З. З. Мамедов

DETERMINATION OF OPTIMUM DESIGN PARAMETERS INTERCHANGE TRACK IN RAILWAY STATIONS

Associate Professors, Doctors of Science (Ph.D.) O. Rozsokha, I. Berestov, A. Shapoval,
Magistrand Z. Mamedov

У статті подано математичну модель визначення оптимальних конструктивних параметрів розв'язок колій в залізничних вузлах з позиції ресурсозбереження. Існуючі методи розрахунку колієпровідних розв'язок, що розроблені відомими вченими, були спрямовані на побудову геометричних форм без проведення оптимізаційних розрахунків щодо визначення конструктивних параметрів колієпровідних розв'язок. Модель базується на мінімізації капітальних витрат у будівництво колієпровідної розв'язки при оптимальних кутах перехрещення колій, радіусах кривих ділянок та марках стрілочних переводів.

Ключові слова: колієпровідні розв'язки, з'єднання колій, оптимізація.

В статье представлена математическая модель определения оптимальных конструктивных параметров развязок путей в железнодорожных узлах с позиции ресурсосбережения. Существующие методы расчета путепроводных развязок, разработанные известными учеными, были направлены на построение геометрических форм без проведения оптимизационных расчетов по определению конструктивных параметров путепроводных развязок. Модель базируется на минимизации капитальных затрат в строительство путепроводной развязки при оптимальных углах пересечения путей, радиусах кривых участков и марках стрелочных переводов.

Ключевые слова: путепроводные развязки, соединения путей, оптимизация.

The paper presents a mathematical model for determining the optimum design data interchange tracks in railway stations with the position of resource. Existing methods of calculating the viaduct junctions, designed by renowned scientists have focused on the construction of geometric shapes without carrying out optimization calculations to determine the design parameters of viaduct junctions. The model is based on minimizing capital expenditure in the construction of viaduct interchange at the intersection of the best ways angles, radii of curved sections and brands of turnouts.

The aim of this work is to improve the efficiency of rail passenger services in the implementation of high-speed highways. One of the many areas of these measures is to improve the design of rail track solution nodes.

Solutions track called complex devices and structures (kolyeprovidiv), for admission of rolling stock on the routes that intersect each other.

The main design parameters kolyeprovidnoyi solutions include:

- *The angle of intersection lines (angle of intersection of interchange tracks);*
- *Radius of circular curve in the plan;*
- *Marks point frogs at the confluence (branching) tracks;*
- *Length tracks in terms of interchange (length of the route);*
- *The length of the transition curve;*
- *The length of the line insertion between the ends of transition curves;*
- *Steering bows;*
- *The radius of vertical curve at the fracture site profile.*

Before modeling designer previously manually scheme consists junction (junction type is chosen, the number of tracks and switches, position curves stations tracks the availability circle of wire). Next, using the appropriate mathematical apparatus that is implemented on the computer, there are optimal design parameters of solutions.

According to the simulation results obtained optimal design parameters of the solution. The results are used further in determining the economic benefit in selecting design solution to improve the design of a given circle leading solutions.

Keywords: *viaduct interchange, connect railway tracks, optimization.*

Вступ. Сучасні тенденції на ринку транспортних послуг з перевезення пасажирів призводять до зменшення ролі залізничного та підвищення значення автомобільного й повітряного транспорту. Тому необхідно здійснювати заходи щодо підвищення привабливості залізничних перевезень пасажирів шляхом впровадження високошвидкісних магістралей (ВШМ) [1-4].

Саме такі заходи дають можливість галузі залізничного транспорту зберегти і ефективно використовувати існуючий технічний потенціал для здійснення структурних технологічних змін та збереження конкурентних переваг перед іншими видами транспорту.

Висока ефективність високошвидкісного залізничного транспорту сприяє його розвитку як у сферах послуг, так і в конструкціях пристроїв для обслуговування високошвидкісних поїздів, зокрема колійного розвитку.

В теперішній час значне число рішень з розподілу підходів вантажонапружених залізничних магістралей в крупних вузлах припадає на частку колієпровідних розв'язок ліній. Особливо підвищується їх

роль в умовах зростання швидкостей руху пасажирських поїздів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у розвиток теорії ефективної організації пасажирських перевезень та конструкції залізничних вузлів зробили В. І. Бобровський, Т. В. Бутько, Н. І. Бещева, М. І. Данько, С. В. Земблінов, П. С. Грунтов, Д. М. Козаченко, Н. В. Колодяжний, А. М. Корнаков, Ф. П. Кочнев, В. Я. Негрей, Б. Е. Пейзахсон, М. В. Правдін, М. Я. Стефанов, М. П. Іхненко, Ю. О. Пазойський та ін. [5-10].

Вказаними вченими здійснено низку науково-дослідних і проектних робіт з впровадження спеціалізованих залізничних ліній для руху пасажирських поїздів зі швидкістю 250 км/год у напрямку Москва-Сімферополь. Це сприяло б підвищенню ефективності роботи залізниць. Проте труднощі, пов'язані з необхідністю організації вантажних перевезень, обсяги яких значно збільшились у середині 1970-х років, відклали на певний час питання організації швидкісного руху. Питання організації швидкісного руху отримали розвиток тільки на початку XXI сторіччя.

Засновниками теорії розрахунку колієспровідних розв'язок були відомі вчені: Образцов В. М., Корнаков А. М. та Земблінов С. В. У [9] авторами узагальнено відомі на той час методики розрахунку конструктивних параметрів розв'язок та надано класифікацію залізничних вузлів, яка в основному діє і до теперішнього часу. В основі цієї теорії є визначення конструктивних параметрів колієспровідних розв'язок за відомими тригонометричними формулами, де значення окремих елементів приймаються відповідно до досвіду проектувальників. Серед оптимізаційних розрахунків є методика вибору кута перехрещення колій на колієспроводі серед двох-трьох варіантів. Теорію цих вчених з роками удосконалювали.

У [10] авторами проведено аналіз наукових робіт з проблеми автоматизації проектування залізничних станцій. Цей аналіз показав, що методи прямого синтезу оптимальної конструкції планів колійного розвитку практично відсутні. При цьому система моделей повинна підтримувати ітераційний процес удосконалення вихідного варіанта станції на основі послідовного багатократного розв'язання задач аналізу та синтезу. Для реалізації даного підходу розроблена методика автоматизованого перетворення немасштабної схеми, що розроблена проектувальником, у масштабний план. При цьому забезпечується можливість інтерактивного введення, обробки та виведення інформації про колійний розвиток станції в графічній формі.

Розроблено систему структурно-параметричних моделей станції, а також алгоритмів виконання проектних процедур, які дозволяють автоматизувати процес синтезу колійного розвитку станцій на всіх його етапах. В основу моделей закладено подання схем станцій у вигляді орієнтовних графів.

Існуючі методи розрахунку колієспровідних розв'язок, що розроблені вищеназваними авторами, були спрямовані

для поїздів звичайних магістралей залізниць. Оптимізаційним розрахункам щодо визначення конструктивних параметрів колієспровідних розв'язок уваги майже не приділялось.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даної роботи є підвищення ефективності функціонування пасажирських перевезень залізничним транспортом при впровадженні високошвидкісних магістралей. Одним з багатьох напрямків цих заходів є удосконалення конструкції колійних розв'язок у залізничних вузлах.

Основна частина дослідження. Розв'язками називають комплекс колійних пристроїв та споруд (колієспроводів), призначених для пропуску рухомого складу по маршрутах, що взаємно перехрещуються.

На принципову схему розв'язки підходів у вузлах чинять вплив такі фактори: кількість головних колій на лініях, що підлягають розв'язці; допустимість або недопустимість перехрещення окремих ліній в одному рівні без колієспроводів; геометрична схема (тип вузла); взаємне розташування основних елементів вузла (станцій, парків) в схемі та їх призначення; напрямок поїздопотоків, характер і розміри руху через вузол; умови рельєфу місцевості та положення існуючих колій в плані та профілі.

Проектування колієспровідних розв'язок у вузлах та на станціях повинно виконуватись з ретельним, достатньо обґрунтованим вибором їх схеми, правильним та економічно вигідним розміщенням всіх пристроїв в плані та профілі, з урахуванням зниження витрат на спорудження та експлуатацію розв'язок.

Сучасний етап розвитку теорії обґрунтування проектних рішень при проектуванні розвитку та реконструкції об'єктів залізничної інфраструктури характеризується широким впровадженням сучасних математичних методів, перш за все імітаційного моделювання з урахуванням реалій ринкових реформ. Це в повній

мірі може бути віднесено до обґрунтування вибору найбільш оптимального виду розв'язки підходів до залізничного вузла.

Відомі три види розв'язок маршрутів: в одному рівні в горловинах станцій; в одному рівні із спорудженням постів-шлюзів та в різних рівнях зі спорудженням колієпровідних розв'язок.

Останній вид розв'язок з експлуатаційної точки зору, є найбільш радикальним, що дозволяє повністю виключити затримки рухомого складу на перехрещеннях маршрутів. Але цей вид вимагає значних капіталовкладень та викликає значні експлуатаційні витрати на тягу поїздів через збільшення пробігу та змінення профілю підходів з проектуванням крутих уклонів навіть до керівного для забезпечення різностей рівня верха головок рейок колій, що перехрещуються, на колієпроводах висотою до 7,5 м та більше.

Розв'язки маршрутів в горловинах станцій за рахунок секціонування колій дозволяють знизити затримки, а спорудження постів-шлюзів затримки рухомого складу цілком не виключають, але дозволяють їх виключити повністю на основному ходу за рахунок збільшення затримок поїздів, що прямують на відхилення. Тому спорудження постів-шлюзів може розглядатись як проміжний етап між розв'язками маршрутів в одному рівні без постів-шлюзів та перехрещенням в різних рівнях зі спорудженням колієпровідної розв'язки.

Після того, як проектувальники визначились з принциповою схемою колієпровідної розв'язки на підході до залізничного вузла, необхідно розробити математичну модель визначення її оптимальних конструктивних параметрів.

До основних конструктивних параметрів колієпровідної розв'язки відносять:

- кут перехрещення ліній (кут перехрещення колій у розв'язці);
- радіус кругової кривої в плані;
- марки хрестовин стрілочних переводів у місцях злиття (розгалуження) колій;

- довжина колій у розв'язці в плані (довжина траси);
- довжина перехідної кривої;
- довжина прямої вставки між кінцями перехідних кривих;
- керівний уклон;
- радіус вертикальної кривої в місцях перелому профілю.

Конструктивні параметри розв'язки впливають на витрати на її експлуатацію. Зокрема від довжини розв'язки в плані (довжина траси) залежать основні витрати, пов'язані з пробігом поїздів всіх категорій; утриманням і захистом споруд колійного господарства; утриманням пристроїв СЦБ та зв'язку.

Немає сумніву в тому, що на вибір розв'язки впливають і капітальні витрати на її будівництво. Спорудження колієпровідної розв'язки може бути доцільним не одразу при примиканні або удосконаленні нових підходів до вузла, а на певному році експлуатації, коли витрати, пов'язані із затримками поїздів через ворожість маршрутів, будуть більшими ніж витрати на будівництво та експлуатацію розв'язки. У [9, 11-13] зазначено, що капітальні витрати на спорудження колієпровідної розв'язки компенсуються за рахунок економії експлуатаційних витрат приблизно через 5-10 років.

Тому у подальших оптимізаційних розрахунках як критерій оптимізації слід обрати сумарну довжину колій у розв'язці в плані (довжина траси). Вищезазначене враховано у подальшому при формуванні математичної моделі оптимізації. Числові значення у обмеженнях математичної моделі обрано на підставі норм [14, 15].

Для визначення оптимальних конструктивних параметрів розв'язок колій в залізничному вузлі сформовано математичну модель оптимізації. З позиції мінімізації сумарної довжини колій у розв'язці в плані (що призведе до мінімізації капітальних витрат на будівництво) цільову функцію запропоновано записати у такому вигляді:

$$L_i^{mp} \{ \gamma_j; R_k; \alpha_{N_m} \} = \sum_{n_1=1}^{P_1} l_{n_1}^{np} + \sum_{n_2=1}^{P_2} l_{n_2}^{kp} + \sum_{n_3=1}^{P_3} l_{n_3}^{cn} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де i – варіант плану колійного розвитку розв'язки;

L_i^{mp} – сумарна довжина колій у розв'язці в плані (довжина траси), м;

γ_j – кут перехрещення ліній (кут перехрещення колій у розв'язці), на j -му колієпроводі, градус;

R_k – радіус k -ї кругової кривої в плані, м;

α_{N_m} – кут відхилення бокової колії на m -му стрілочному переводі в місці злиття (розгалуження) колій в залежності від марки хрестовини (при пасажирському русі – 1/18, 1/22; при вантажному – 1/11), град;

$l_{n_1}^{np}$ – довжина n_1 -ї прямої ділянки колії, м;

P_1 – кількість прямих ділянок колій;

$l_{n_2}^{kp}$ – довжина n_2 -ї кривої ділянки колії, м;

P_2 – кількість кривих ділянок колій;

$l_{n_3}^{cn}$ – довжина n_3 -ї ділянки колії, на яких розташовано стрілочні переводи у відповідних напрямках, м;

P_3 – кількість ділянок колій, на яких розташовано стрілочні переводи у відповідних напрямках.

Дана задача розв'язується при таких обмеженнях:

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{en} \leq i_{кер} = 12\text{‰}; \Delta i_H \leq 9\text{‰}; \\ R_k^n \geq 3000 \text{ м (при пасажирському русі)}; \\ R_k^e \geq 1200 \text{ м (при вантажному русі)}; \\ R_e^n \geq 15000 \text{ м (при пасажирському русі)}; \\ R_e^e \geq 10000 \text{ м (при вантажному русі)}; \\ \alpha_{N_m}^n = 2,5972^\circ; 3,1822^\circ \text{ (при пасажирському русі)}; \\ \alpha_{N_m}^e = 5,2050^\circ \text{ (при вантажному русі)}; \\ e \geq 4,1 \text{ м}; L_{кор}^z = 50 \text{ м}; \\ d_0 \geq 150 \text{ м}; k_2 \geq 25 \text{ м}; c \geq 40 \text{ м}; \\ L_H \geq 300 \text{ м}; b \geq \frac{L_H}{2} + T_e; \\ \frac{L_H}{2} \geq \frac{L_{кпр}}{2} + T_e; l_{пл} \geq L_H; \\ L \leq L_{пл} \geq L_{пр}, \end{array} \right. \quad (2)$$

де i_{en} – уклон елемента профілю, ‰;

$i_{кер}$ – керівний уклон профілю, ‰;

Δi_H – алгебраїчна різниця суміжних уклонів, ‰;

R_e – радіус вертикальної кривої, м;

e – ширина між осями суміжних колій, м;

$L_{кор}^{зм}$ – корисна довжина запобіжного тупика, м;

d_0 – довжина прямої вставки між кривими дільницями колій, м;

k_2 – пряма вставка між кінцем стрілочного перевалу та кривою дільницею колії, м;

c – довжина перехідної кривої, м;

L_n – довжина поділяючої площадки і елементів перехідної крутизни, м;

b – відстань від осі колієпроводу до кривої (кругової чи вертикальної), м;

T_6 – тангенс вертикальної кривої, м;

$L_{кпр}$ – повна довжина колієпроводу, м;

$L_{нл}$ – довжина траси колії від точки її відхилення до середини колієпроводу, м;

$L_{пр}$ – довжина підйомної частини колієпровідної розв'язки в профілі, де забезпечується набір потягом необхідної висоти на колієпровід, м;

L – проекція траси колії, що відхиляється, на основну лінію, м;

$l_{нл}$ – довжина елемента профілю в місці спорудження колієпроводу, м.

При визначенні складових вищезазначених обмежень для більш доступного сприйняття інформації розглянуто схему розв'язки на рис. 1.

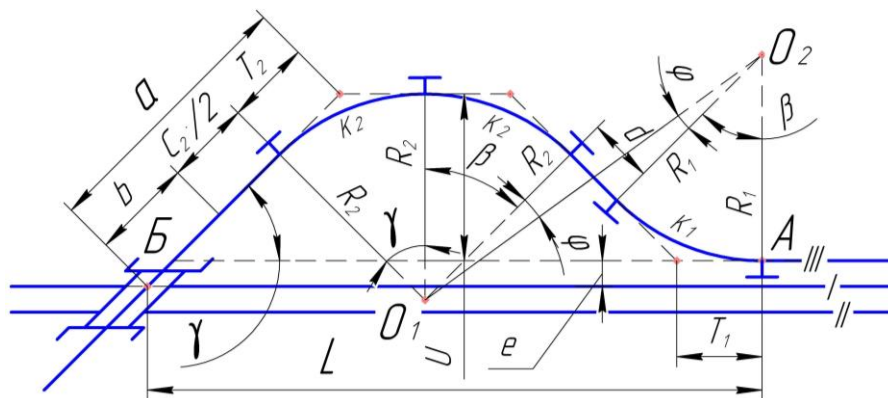


Рис. 1. Схема колієпровідної розв'язки для візуалізації при визначенні її конструктивних параметрів

Основні будівельні показники колієпроводів наведено у [15].

Кут повороту колії β , що прямує на колієпровід, знаходиться за формулами:

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta = \arccos\left(\frac{2R_1 - U}{2R_1} \cos \varphi\right) - \varphi; \\ U = a \sin \gamma - 1,5e; \quad a = b + \frac{c_2}{2} + T_2; \\ b = \frac{L_n}{2} + T_6; \quad T_6 = \frac{R_6 \Delta i_n}{2 \cdot 1000}; \\ T_2 = R_2 \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}; \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{d}{2R_1}; \\ d = \frac{c_1}{2} + d_0 + \frac{c_2}{2}. \end{array} \right. \quad (3)$$

Довжина траси колії від точки її відхилення до середини колієпроводу знаходиться за формулами:

$$\begin{aligned} L_{nl} &= K_1 + d + K_1 + K_2 + \frac{c_2}{2} + b; \\ K_1 &= 0,017453R_1\beta; \\ K_2 &= 0,017453R_2\gamma. \end{aligned} \quad (4)$$

Проекція траси колії, що відхиляється на основну лінію, знаходиться за формулою

$$L = a \cdot \cos \gamma + 2T_2 + (T_2 + d + T_1) \cos \varphi + T_1. \quad (5)$$

Довжина підйомної частини колієпроводної розв'язки в профілі, де забезпечується набір потягом необхідної висоти на колієпровід, знаходиться за формулою

$$L_{np} = \frac{l_{nl}}{2} + l_n, \quad (6)$$

де l_n – довжина підйомної частини колієпроводної розв'язки, м.

Довжина елемента профілю в місці спорудження колієпроводу

$$l_{nl} = L_{кпр} + T_{\epsilon}^n + T_{\epsilon}^c, \quad (7)$$

де $T_{\epsilon}^n, T_{\epsilon}^c$ – довжина тангенсів, кривих, що сполучаються між собою, підйомної та

спускної частини, м. При цьому уклон спуску приймають рівним керівному $i_c = i_{кер}$, а підйом зменшують на опір руху

в кривих $i_n = i_{кер} - \frac{700}{R}$.

Довжина підйомної частини колієпроводної розв'язки складає

$$l_n = \frac{H_n}{i_n}, \quad (8)$$

де H_n – висота бровки земляного полотна III колії в т. Б відносно т. А (рис. 2), м.

$$H_n = h_{I-II} + H_{кп}, \quad (9)$$

де h_{I-II} – висота бровки земляного полотна I-II колії в т. Б відносно т. А, м;

$H_{кп}$ – різниця позначок головок рейок верхньої та нижньої колії (рис. 3), м

$$H_{кп} = h_c + h_{нб} + h_p, \quad (10)$$

де h_c – відстань від головки нижньої рейки до низу конструкції, м;

$h_{нб}$ – висота прольотної будови до підшви рейок верхньої колії (будівельна висота в головному прольоті), м;

h_p – висота рейок верхньої колії, м.

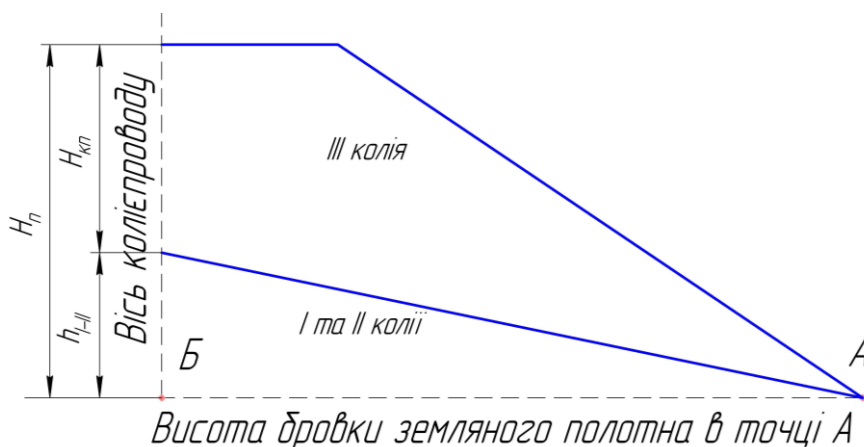


Рис. 2. Профіль колій колієпроводної розв'язки

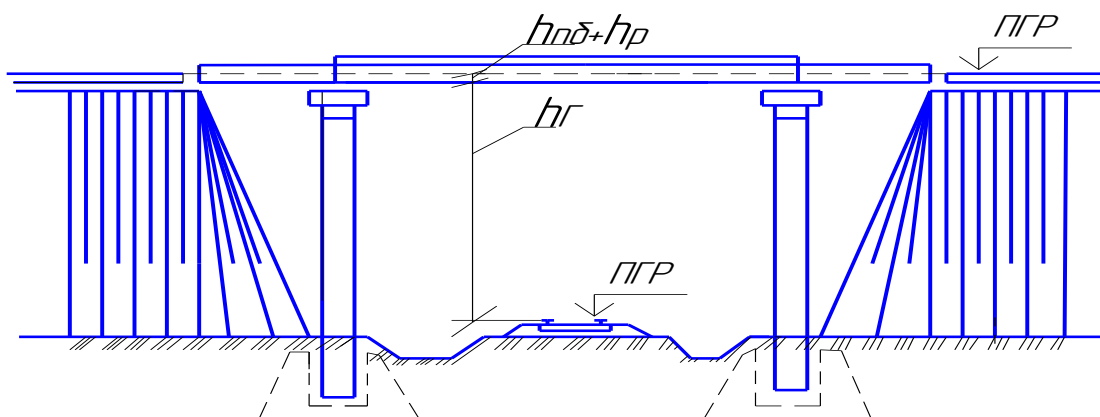


Рис. 3. Загальний вигляд колієпроводу у двох рівнях

Вищезазначена оптимізаційна задача відноситься до задач лінійного програмування, оскільки має цільову функцію та обмеження лінійного характеру.

При розв'язанні даної задачі найбільш доцільно застосувати симплекс-метод. Для цього обмеження (2) до цільової

функції (1) приведено до канонічного вигляду, причому використано відомі прийоми заміни рівняння двома протилежними нерівностями та зміни знаку у нерівностях.

В канонічному вигляді цільова функція буде мати вигляд

$$L_i^{mp} \{ \gamma_j; R_k; \alpha_{N_m} \} = - \left(\sum_{n_1=1}^{p_1} l^{np}_{n_1} + \sum_{n_2=1}^{p_2} l^{kp}_{n_2} + \sum_{n_3=1}^{p_3} l^{cn}_{n_3} \right) \rightarrow \max \quad (11)$$

з обмеженнями

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{en} \leq i_{кер}; \Delta i_H \leq 9; \\ -R_k^n \leq -3000; -R_k^g \leq -1200; \\ -R_g^n \leq -15000; -R_g^g \leq 10000; \\ \alpha_{N_m}^n \leq 3,1822; -\alpha_{N_m}^n \leq -3,1822; \\ \alpha_{N_m}^n \leq 5,2050; -\alpha_{N_m}^n \leq -5,2050; \\ -e \leq -4,1; L_{кор}^{zm} \leq 50; -L_{кор}^{zm} \leq -50; \\ -d_0 \leq -150; -k_2 \leq -25; -c \leq -40; \\ -L_H \leq -300; -b + \frac{L_H}{2} + T_g \leq 0; \\ -\frac{L_H}{2} \leq -\frac{L_{кпр}}{2} - T_g; -l_{nl} \leq -L_H; \\ L \leq L_{nl}; -L_{nl} \leq -L_{np}. \end{array} \right. \quad (12)$$

Далі доцільно застосувати симплекс-метод, процедура виконання якого описана у будь-якому математичному джерелі, наприклад [16-18].

Математичну модель можна реалізувати в програмних середовищах C++, КОМРАС.

Перед моделюванням попередньо проектувальником у ручному режимі складається схема розв'язки (обирається тип розв'язки, кількість колій та стрілочних переводів, розташування кривих дільниць колій, наявність коліспроводів). Далі за допомогою відповідного математичного апарату, що реалізований на ПЕОМ, знаходяться оптимальні конструктивні параметри розв'язки.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Розроблено математичну модель визначення оптимальних конструктивних параметрів розв'язок колій в залізничних вузлах з позиції ресурсозбереження. Модель базується на мінімізації капітальних витрат у будівництво коліспровідної розв'язки при оптимальних кутах перехрещення колій, радіусах кривих дільниць та марках стрілочних переводів. За результатами моделювання отримуються оптимальні конструктивні параметри розв'язок. Отримані результати використовуються у подальшому при визначенні економічного ефекту при виборі проектного рішення щодо удосконалення конструкції заданої коліспровідної розв'язки.

Список використаних джерел

1. Розсоха, О. В. Моделювання пасажирських поїздопотоків високошвидкісних залізничних магістралей [Текст] / О. В. Розсоха, В. М. Солонець // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту заліз. тр-ту. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 5–13.
2. Розсоха, О. В. Аналіз функціонування систем управління безпекою руху поїздів на залізницях країн Євросоюзу [Текст] / О.В. Розсоха, Ю.В. Смачило // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту заліз. тр-ту. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 151. – С. 4–11.
3. Розсоха, А. В. Функционирование систем управления безопасностью движения на железных дорогах Украины и России [Текст] / А. Н. Огарь, Ю. О. Пазойский, А. В. Розсоха, А. А. Сидраков, Ю. В. Смачило // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту заліз. тр-ту. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 156. – С. 18–28.
4. Jose, A. Gomes-Ibanez, Gines de Rus. Competition in the Railway Industry. An International Comparative Analysis [Text] / Jose A. Gomes-Ibanez, Gines de Rus. – Massachusetts. : Edward Elgar Publishing Limited, 2006. – 201 p.
5. Пазойский, Ю. О. Организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (в примерах и задачах) [Текст] / Ю. О. Пазойский, Л. С. Рябуха, В. Г. Шубко; под ред. В. Г. Шубко. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
6. Грунтов, П. С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок [Текст]: учеб. для вузов / под. ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 544 с.
7. Кочнев, Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог [Текст]: учеб. пособие для вузов / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников. – М. : Транспорт, 1990. – 424 с.
8. Бутько, Т. В. Пасажирські перевезення (залізничний транспорт) [Текст]: навч. посібник / Т. В. Бутько, О. А. Малахова, А. В. Прохорченко, Д. В. Константінов. – Харків: Райдер, 2014. – 260 с.
9. Корнаков, А. М. Развязки железнодорожных линий в узлах [Текст] / А. М. Корнаков. – М.: Трансжелдориздат, 1962. – 154 с.

10. Бобровский, В. И. Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций [Текст]: монографія / В.И. Бобровский, Д.Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкин. – Дніпропетровськ: Маковецкий, 2010. – 156 с.
11. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР [Текст]: ВСН 56-78/МПС СССР. – Изд. офиц. – М.: Транспорт, 1978. – 174 с.
12. Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты) [Текст]: учеб. пособие / Н. В. Правдин, Т. Н. Банек, В. Я. Негрей [и др.]; под. общ. ред. Н. В. Правдина. – М.: Транспорт, 1984. – 296 с.
13. Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты) [Текст]: учеб. пособие / Н.В. Правдин, В.Г. Шубко, Е.В. Архангельский [и др.]; под. общ. ред. Н.В. Правдина и В.Г. Шубко. – М.: Маршрут, 2005. – 502 с.
14. Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування [Текст]: ГБН В.2.3-37472062-1:2012: затв. Міністерством інфраструктури України 17.01.2013: замість ВСН 207-89/МПС СССР: чинні від 01.03.2013. – К. [б. в.], 2012. – 112 с.
15. Проектирование железнодорожных станций и узлов [Текст]: справ. и метод. пособие / под ред. А.М. Козлова и К.Г. Гусевой. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.
16. Вагнер, Г. Основы исследования операций [Текст] / Г. Вагнер. – М.: Мир, 1973. – Т. 1. – 336 с.
17. Вагнер, Г. Основы исследования операций [Текст] / Г. Вагнер. – М.: Мир, 1973. – Т. 2. – 488 с.
18. Вагнер, Г. Основы исследования операций [Текст] / Г. Вагнер. – М.: Мир, 1973. – Т. 3. – 502 с.

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.
Берестов Ігор Вячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. E-mail: i.berestov@mail.ru.
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.
Мамедов Зія Закір огли, магістрант кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-42. s4749@ukr.net.

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.

Berestov Igor, Associate Professor, Doctor of Science (Ph.D.), Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: i.berestov@mail.ru.

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.

Mamedov Zyia, magistrand of Chair «Railway Stations and Junctions», Ukraine State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-42. s4749@ukr.net.

Стаття прийнята 09.12.2016 р.

УДК 629.4.083:629.45

ПРИСТРІЙ АКУСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ КОЛІСНИХ ПАР НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА

Кандидати техн. наук В. В. Бондаренко, Д. І. Скуріхін, магістрант Я. П. Мельник

УСТРОЙСТВО АКУСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КОЛЕСНЫХ ПАР НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Кандидаты В. В. Бондаренко, Д. И. Скурихин, магистрант Я. П. Мельник

ACOUSTIC DIAGNOSTIC DEVICE FOR WHEELSETS BASED ON MICROCONTROLLER

Ph.D. Bondarenko V., Ph.D. Skurikhin D., Master student Melnyk Ya.

На основі попередніх досліджень сформульовано завдання та запропоновано новий пристрій акустичного контролю колісних пар вагонів під час руху на основі мікроконтролера. Ця реалізація способу та пристрою акустичного контролю колісних пар вагонів має значну гнучкість і дає змогу допрацьовувати алгоритм роботи модуля обробки звука, швидко змінювати та легко налаштовувати компоненти схеми, що в цілому підвищує достовірність діагнозу.

Ключові слова: вагон, колісні пари, акустичний контроль, короткі нерівності, мікроконтролер, імітатор акустичного сигналу.

На основе предыдущих исследований сформулированы задачи и предложено новое устройство акустического контроля колесных пар вагонов во время движения на основе микроконтроллера. Данная реализация способа и устройства акустического контроля колесных пар вагонов имеет значительную гибкость и позволяет дорабатывать алгоритм работы модуля обработки звука, быстро менять и легко настраивать компоненты схемы, в целом повышает достоверность диагноза.

Ключевые слова: вагон, колесные пары, акустический контроль, короткие неровности, микроконтроллер, имитатор акустического сигнала.

The publication, based on previous research tasks are formulated and offered a new device acoustic control car wheelsets based on the microcontroller. In the system, microphones are fixed under the body of railway vehicle to record and analyze the frequency content of the acoustic signal for wheels (and potentially for bearings) and alarm if specific defect frequency is detected during operation.

This system can be simple integrated into the traditional onboard monitoring (diagnostic) system of railway train because it is wireless (uses microphones and doesn't require place wires from axle-box accelerometer sensors to body of vehicle). This implementation of the method and device acoustic control car wheelsets has great flexibility and allows modifying the algorithm of the signal processing module, to change quickly and easily adjust the circuit components, generally increases the accuracy of the diagnosis.

This onboard acoustics diagnostic system is more accurately and effective then known wayside acoustic detective systems, which have problems with accurately diagnosing caused by the Doppler Effect especially when vehicles pass by at high speeds.

Keywords: car wheelsets, acoustic diagnostic, short irregularities, microcontroller, simulator of acoustic signal.

Вступ. Технічний стан колісних пар безпосередньо впливає на безпеку руху поїздів, а його зміна під час рейсу створює аварійні умови експлуатації. Короткі ізольовані нерівності на поверхні кочення коліс є однією з найпоширеніших відмов ходових частин, які знижують довговічність осей колісних пар та підшипників буксових вузлів. Непідресорені елементи ходових частин пасажирського вагона за весь термін служби при експлуатації без ушкоджень поверхні кочення колеса сприймають орієнтовно $37 \cdot 10^4$ ударів із прискореннями $j \geq 450 \text{ м/с}^2$ взимку та $j \geq 300 \text{ м/с}^2$ влітку. При експлуатації колісної пари з короткими нерівностями на поверхні кочення частота появи зазначених прискорень збільшується:

- для $k = 2$ – в 20,5 разу;
- для $k = 3$ – у 32 рази, (k – коеф.

динамічного перевантаження).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз технології експлуатації та технічного обслуговування пасажирських вагонів показав, що на залізницях України немає засобів автоматизованого контролю технічного стану колісних пар під час руху поїздів, окрім теплових. Відмови колісних пар виявляють оглядачі вагонів на станціях, що не задовольняє вимоги підвищення достовірності, автоматизації та оперативності контролю технічного стану вагонів.

Використання ефективних методів та засобів контролю технічного стану найбільш відповідальних елементів вагонів дає змогу поєднати планово-попереджувальну систему ремонту та технічного обслуговування вагонного парку з більш доцільною з економічної точки зору системою ремонту за технічним станом [2, 5-7].

Бортові системи безперервного контролю ходових частин вагонів під час руху існують лише на стадії розробок і не впроваджені в експлуатацію: система АСТК і пристрій на базі електромагнітно-акустичних перетворювачів. У цих системах первинні перетворювачі (датчики вібрації) встановлені на елементах ходових частин, що обумовлює такі недоліки: громіздкість конструкції, невисоку надійність і складності при технічному обслуговуванні вагонів.

Запропоновано альтернативний підхід до контролю технічного стану колісних пар під час руху вагона, в основі якого лежить реєстрація пружних коливань колісної пари через повітря датчиками, які розташовані на рамі вагона [1, 3].

У ході досліджень [4] було науково обґрунтовано підхід до контролю технічного стану колісних пар шляхом реєстрації їх акустичних коливань, сформульовано технічне завдання та виготовлено макетний зразок бортового акустичного пристрою (рис. 1).



Рис. 1. Макетний зразок пристрою акустичного контролю та імітатор звука взаємодії колеса з рейкою

Визначення мети та задачі дослідження. Під час подальших досліджень цього методу контролю з'ясовано, що вищевказані аналізатор та імітатор акустичного сигналу мають ряд недоліків:

- виконані на аналоговій елементній базі;
- складні для налаштування;
- неможливо змінити алгоритм роботи аналізатора.

У зв'язку з цим було поставлено завдання розробити макетний зразок бортового пристрою контролю колісних пар на цифровій елементній базі. Для його вирішення було виділено такі завдання:

- 1) на основі методу акустичного контролю розробити алгоритм та написати

програмний код мовою C для обробки акустичного сигналу;

- 2) зібрати схему на основі мікроконтролера AVR ATmega328, яка додатково включає в себе: мікрофон, індикатор, дзвоник та будь-який імітатор акустичного сигналу взаємодії колеса з рейкою;

- 3) виконати налаштування пристрою.

Основна частина дослідження. Як математичне обґрунтування та розроблення на основі нього програмного коду наведемо деякі подробиці застосованого методу акустичного контролю.

Для моделювання руху колеса з повзуном на колісній парі використовувалася залежність:

$$Q(t) = \frac{Q_{cm} (T_0 - t_{y\delta}) + Q_{\delta} t_{y\delta}}{T_0} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[2 \left(\frac{Q_{\delta} - Q_{cm}}{\pi n} \right) \left(\cos \frac{\pi n (2t_z + t_{y\delta})}{T_0} \sin \frac{\pi n t_{y\delta}}{T_0} \right) + 2 \left(\frac{Q_{\delta} - Q_{cm}}{\pi n} \right) \left(\sin \frac{\pi n (2t_z + t_{y\delta})}{T_0} \sin \frac{\pi n t_{y\delta}}{T_0} \right) \right] \quad (1)$$

де t_z – зсув у часі відносно $t = 0$;

n – кількість імпульсів у послідовності;

$t_{y\delta}, T_0$ – тривалість і період імпульсів;

Q_{δ} – сила удару колеса по рейці;

Q_{cm} – статичне навантаження від колеса на рейку.

Імпульсна послідовність (1) була використана як збуджуючий вплив, що діє на колісну пару. Після чого у результаті моделювання вимушених коливань розраховані віброшвидкості коливань поверхні колісної пари.

Шумовипромінення від колісної пари в підвагонний простір розглянуте як

зовнішня необмежена акустична задача. Розв'язання задач такого типу методом скінчених елементів є неефективним і трудомістким процесом через необхідність дискретизувати нескінченну область. У цій ситуації раціональним є метод граничних елементів ВЕМ (Boundary Element Method), у якому рівняння, що управляє нескінченною областю, знижують до рівняння за скінченною границею.

Звуковий тиск у підвагонному просторі згідно з методом граничних елементів визначений через матрицю акустичного перетворення АТМ (Acoustic Transfer Matrix):

$$p = \{ATV(\omega)\}^T \cdot \{v_{ns}(\omega)\}, \quad (2)$$

де p – звуковий тиск у підвагонному просторі;

ω – частота коливань;

$\{v_{ns}(\omega)\}$ – вектор-стовпець, що містить нормальні швидкості поверхні колісної пари.

Для різних частот були проведені розрахунки з метою визначення місця найбільшої інтенсивності звукових

коливань колісної пари у підвагонному просторі. З'ясовано, що звуковий тиск у підвагонному просторі розподіляється нерівномірно з найбільшою концентрацією біля кінців повздовжніх балок рами візка (рис. 2). У цих місцях доцільно розташовувати первинні перетворювачі мікропроцесорного пристрою акустичного контролю.

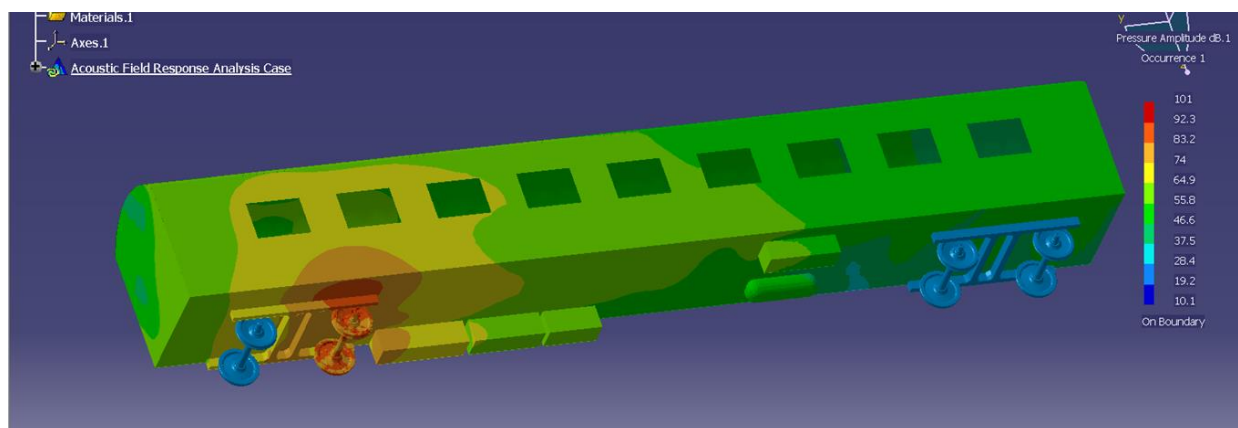


Рис. 2. Розподілення звукового тиску в підвагонному просторі від коливань колісної пари

Для виділення послідовності імпульсів ударів колеса з повзуном по рейці із звукового сигналу використовувалась допоміжна послідовність прямокутних імпульсів тривалістю $2\Delta\tau_i$ з амплітудою, рівною одиниці:

$$\sigma_i(t) = \sum_{k=0} \sigma'_i(t - t_i - kT_i); \quad (3)$$

$$\sigma'_i(t) = \begin{cases} 1 & \text{для } -\Delta\tau_i \leq t \leq \Delta\tau_i; \\ 0 & \text{для } |t| \geq \Delta\tau_i. \end{cases}, \quad (4)$$

де t_i – інтервал часу між початком відліку й першим імпульсом;

k – номер імпульсу;

T_i – період проходження імпульсів;

$\Delta\tau_i$ – зсув імпульсу.

При множенні імпульсні послідовності збігаються, що відповідає наявності в сигналі періодичної складової, тобто повзуна на колісній парі. Для більш достовірного діагнозу нами використаний ще один діагностичний параметр – кількість імпульсів, що збіглися підряд.

Цей математичний апарат був використаний при написанні програмного коду, після чого зібраний і запрограмований пристрій акустичного контролю (рис. 3). Докладніше з роботою пристрою можна ознайомитися за відеоматеріалом [5].

Ця реалізація способу та пристрою акустичного контролю колісних пар вагонів має значну гнучкість і дає змогу допрацьовувати алгоритм роботи модуля

обробки звука, швидко змінювати та легко налаштовувати компоненти схеми, що в цілому підвищує достовірність діагнозу.

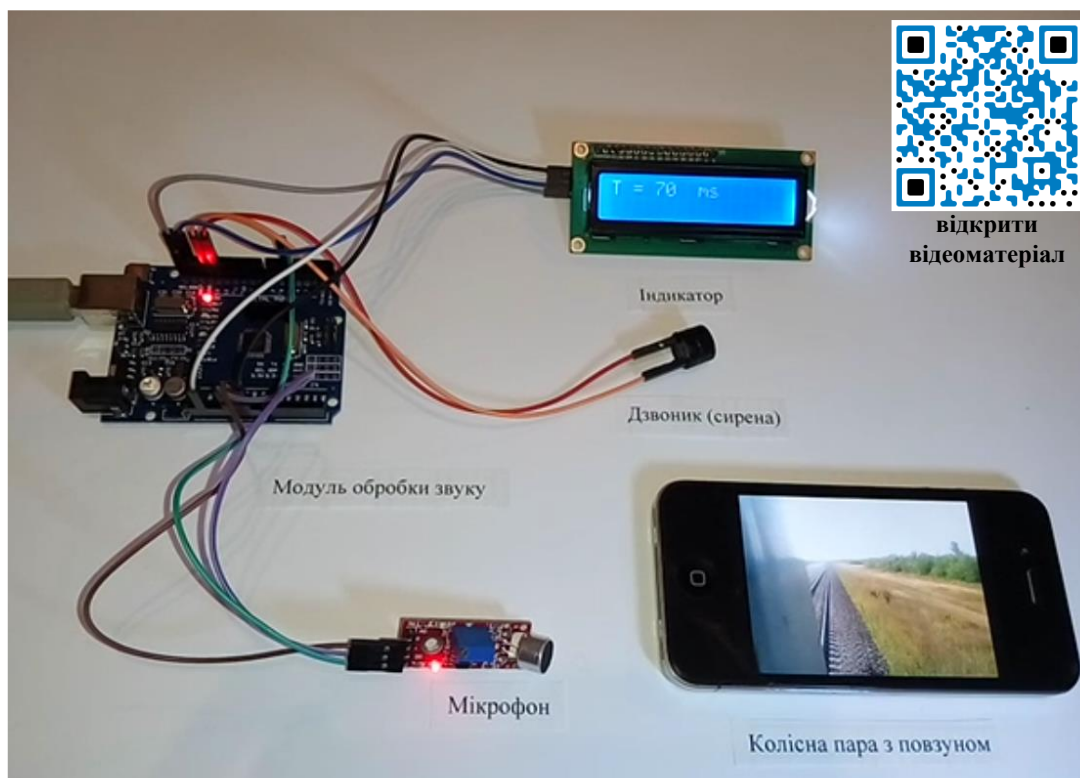


Рис. 3. Пристрій акустичного контролю колісних пар вагонів на основі мікроконтролера

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. У публікації розглянуто сучасні засоби неруйнівного контролю ходових частин вагонів, виділено їх недоліки та допрацьовано альтернативний підхід до контролю технічного стану колісних пар під час руху пасажирського вагона. На основі попередніх досліджень сформульовано завдання та розроблено

новий пристрій акустичного контролю колісних пар вагонів під час руху на основі мікроконтролера. Доведено, що пристрій акустичного контролю дає змогу автоматично визначити відмови колісних пар під час руху пасажирського вагона, відтворювати в реальному режимі часу аудіо інформацію, зняту з мікрофонів для оцінки технічного стану колісних пар експертом віддалено.

Список використаних джерел

1. Мартинов, І. Е. Підвищення експлуатаційної надійності пасажирських вагонів на основі акустичного контролю колісних пар [Текст] / І.Е. Мартинов, В.В. Бондаренко,

Д.І. Скуріхін // Вагонний парк: міжнародний інформаційно-технічний журнал. – Харків, 2011. – № 6. – С. 36-39.

2. Бондаренко, В. В. Розроблення та випробування макетного зразка пристрою акустичного контролю колісних пар [Текст] / В.В. Бондаренко, Д.І. Скуріхін, Т.В. Мосійчук // 36. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 141. – С. 83-87.

3. Скуріхін, Д. І. Удосконалення технології технічного обслуговування та діагностики колісних пар пасажирських вагонів на основі методу акустичного контролю [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.07 “Рухомий склад залізниць та тяга поїздів” / Д. І. Скуріхін. – Харків, 2014. – 143 с.

4. Onboard Acoustic Diagnostic System of railway vehicle [Електронний ресурс]: відеохостинг YouTube. Режим доступу: <https://youtu.be/hWA4xnJubH0>.

5. Chuliang, Wei. Reliability Verification of a FBG Sensors Based Train Wheel Condition Monitoring System. Chuliang Wei; Zemin Cai; Hwa-yaw Tam; S. L. Ho; Qin Xin: 2012 Second International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application / Pages: 1091 - 1094, DOI: 10.1109/ISdea.2012.434.

6. Nicks, S. Condition monitoring of the track/train interface. S. Nicks. IEE Seminar on Condition Monitoring for Rail Transport Systems (Ref. No. 1998/501) Pages: 7/1 - 7/6, DOI: 10.1049/ic:19980980.

7. Hailstone, J. Condition monitoring for rail vehicles-a freight train operator's perspective. J. Hailstone. IEE Seminar on Condition Monitoring for Rail Transport Systems (Ref. No. 1998/501). Pages: 2/1 - 2/4, DOI: 10.1049/ic:19980975.

Бондаренко В'ячеслав Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-35. E-mail: bonvua@ukr.net.

Скуріхін Дмитро Ігорович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-35. E-mail: skurikhin@i.ua.

Мельник Ярослав Петрович, магістрант кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту, група 10-7-ВМз.

Bondarenko V. Ph.D., associate professor Department of Railway Cars, Ukrainian State University of Railway Transport, phone: 057-730-10-35.

Skurikhin D. Ph.D., senior lecturer Department of Railway Cars, Ukrainian State University of Railway Transport. Ph.: 057-730-10-35.

Melnyk Ia. Master student Department of Railway Cars, Ukrainian State University of Railway Transport.

Стаття прийнята 10.12.2016 р.

УДК 666.9.022.3+691.33

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АКТИВАЦІЇ МАТЕРІАЛУ У ВІБРАЦІЙНО-ВАЛКОВОМУ ПЕРЕРОБНИКУ

Доктори техн. наук О. Ю. Крот, В. І. Вінниченко, канд. техн. наук О. Г. Савченко, асист. Д. В. Супряга, асп. А. В. Ручка

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА АКТИВАЦИИ МАТЕРИАЛА В ВИБРАЦИОННО-ВАЛКОВОМ ПЕРЕРАБОТЧИКЕ

Доктора техн. наук А. Ю. Крот, В. И. Винниченко, канд. техн. наук А. Г. Савченко, ассист. Д. В. Супряга, асп. А. В. Ручка

EXPERIMENTAL RESEARCH THE PROCESSING OF THE MATERIAL IN ACTIVATOR VIBRATORY-ROLLER TYPE

Doctor of Technical Sciences A. Y. Krot, V. I. Vinnichenko, PhD. tehn. Sciences A. G. Savchenko, Assist. D. V. Supryaga, graduate student A. V. Ruchka

Підтверджено можливість створення та ефективність застосування вібраційно-валкового активатора для підготовки будівельних сумішей на базі барабанно-валкової машини. Проведено кількісний експериментальний аналіз впливу вібрації на ефективність активації.

Ключові слова: механічна активація, барабанно-валкова машина, вібраційно-валкова активація, будівельні суміші, багатофакторний планований експеримент, регресійна модель.

Подтверждена возможность создания и эффективность использования вибрационно-валкового активатора для подготовки строительных смесей на базе барабанно-валковой машины. Проведен количественный экспериментальный анализ влияния вибрации на эффективность активации.

Ключевые слова: механическая активация, барабанно-валковая машина, вибрационно-валковая активация, строительные смеси, многофакторный планируемый эксперимент, регрессионная модель.

Was analyzed ways to improve the reactivity and the activity of the materials. The perspective is the activation of prepared and wet mixture. The possibility of the creation and efficient use of an activator for the preparation of building mixtures based on drum-roll machine. Was describes the design of the machine - drum-roll activator with mechanical vibration of roller. Was planned and executed a three-factor orthogonal experiment of the second order. Found regression equation. Confirmed its adequacy in accordance with Fisher criterion. Was determined the significance of the regression coefficients of the equation by Student's test. As a criterion of the effectiveness of activation was accepted the strength of the samples from the recycled material. It was determined that the activation efficiency increased significantly with increasing frequency and amplitude of the oscillations, but optimal values under the conditions of this experiment were not achieved. Optimum cement content was about 11%.

Keywords: mechanical activation, drum-roller machine, activator vibratory-roller type, building mix, multivariate planned experiment regression model.

Вступ. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Все більш популярною останнім часом стає ідея активації речовин з метою зміни їх властивостей для використання в різних сферах виробництва і науки. Багато інформації в науково-технічних джерелах присвячується технології і машинам для активації в'язучих речовин. Популярним є напрям модифікації речовин внаслідок їх активації хімічними впливами, зокрема активація силікатних матеріалів [1]. Ефект від хімічної активації силікатних матеріалів автоклавного твердіння може проявлятися, наприклад, у зниженні температури автоклавування [2]. Суттєвий вплив хімічна активація створює і на властивості матеріалів, одержуваних на основі силікатних сумішей [3]. При активації бетонних (у тому числі силікатних) сумішей важливим є і досягнення оптимального гранулометричного складу з точки зору найкращого укладання для досягнення максимальної густини [4]. Значно більшу ефективність впливу здатний забезпечити спільний вплив на речовину хімічної та механічної активації. Найбільш відомими машинами, де відбувається механічна активація речовини, є кульові млини [5]. Та поряд з перевагами такого типу машин є суттєвий недолік – малий k до d , який за різними даними для різних кульових млинів складає від 2 % до 20 %. У технології силікатних матеріалів відомим у СРСР і у світі було виробництво силікальциту з застосуванням дезінтеграторів, широкому розповсюдженню якого перешкождали їх технічні особливості.

Переважає більшість відомих технологій механічної активації – «сухі» технології, з нульовим або мінімальним вмістом вологи у суміші. Значно менше прикладів реалізації в обладнанні активації всієї суміші, разом із заповнювачем і зволоженою кінцевою кількістю води [6]. Така активація дозволяє розв'язувати багато проблем, що впливають на якість товарних виробів чи матеріалів: якісне

змішування компонентів, активація заповнювача з досягненням більш ефективної його форми, поточне корегування гранулометричного складу та ін.

На кафедрі механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва та архітектури (ХНУБА) розроблено конструкцію барабанно-валкової машини (рис. 1), яку запропоновано застосовувати як активатор будівельних сумішей [7].

Машина складається із циліндричного барабана, який встановлений на котках і обертається з надкритичною швидкістю від спеціального привода. В середині барабана розташовано валок, здатний котитися по внутрішній поверхні барабана. Валок притискається до барабана. У верхній частині до барабана притискається ніж.

Матеріал (будівельна суміш) завантажується в барабан через лоток, прокатується між валком і барабаном, піддається механічному тиску, піднімається разом з барабаном, зрізається ножом, падає і знову піддається дії валка. Цей цикл багаторазово повторюється, після чого матеріал відводиться за межі барабана (розвантажується). Завантажується і розвантажується матеріал суцільною порцією.

Інший варіант виконання машини – конструкція безперервної дії, в якій матеріал безперервно пересувається вздовж барабана.

Тиск у матеріалі під валком значно (на порядок) менший, ніж у млинах схожої конструкції. Найбільший тиск у матеріалі може становити 1 МПа. Товщина шару матеріалу між валком і барабаном, яка залежить від їх розмірів, має бути значною – у кілька разів більшою за розмір найбільшого шматка в перероблюваній суміші.

Механічна активація суміші у машинах такого типу охоплює багато процесів, що відбуваються з матеріалом, а виражається вона у поліпшенні властивостей сумішей та збільшенні міцності виробів, сформованих з них.

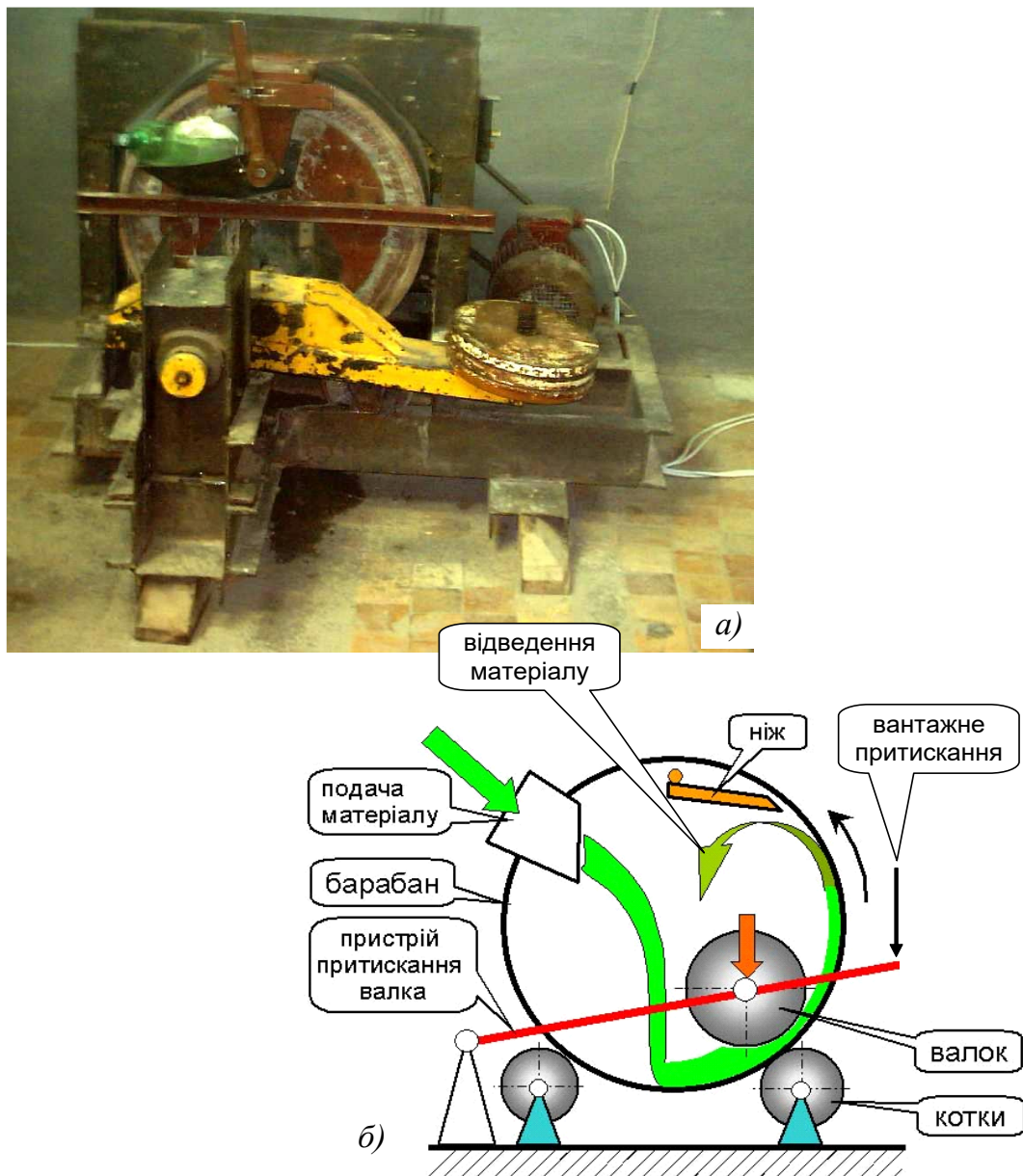


Рис. 1. Напівпромисловий зразок барабанно-валкового активатора періодичної дії: а)фото; б)схема

Більш відомою з літературних джерел є вібраційна активація будівельних матеріалів [8]. З метою оцінки поєднання позитивного впливу на матеріал прокатування під валком та вібрації створена лабораторна установка барабанно-валкової машини періодичної дії з примусовою вібрацією системи “важіль – валок” (рис. 2).

Мета статті – підтвердити ефективність застосування вібраційно-валкового активатора для підготовки будівельних сумішей; провести кількісний експериментальний аналіз впливу вібрації на ефективність активації.

Для одночасного вивчення впливу параметрів процесу вібраційно-валкової активації на ефективність переробки був

обраний планований багатofакторний експеримент. Математичні методи планування експерименту дають змогу досліджувати й оптимізувати складні процеси, забезпечуючи високу ефективність досліджень і точність визначення досліджуваних факторів [9]. Більш простий план першого порядку неможливо використовувати у зв'язку з тим, що результати експериментів першого етапу з визначення ефективності переробки свідчать про істотну нелінійність впливу факторів на функцію відгуку.

Методика досліджень. Як план експерименту був обраний ортогональний план другого порядку, що забезпечує рівність нулю всіх коваріацій між коефіцієнтами в рівнянні регресії і найвищу точність поблизу центра плану. Для оцінки ефективності вібраційно-валкової активації була обрана цементно-піщана суміш як найбільш доступна, стабільна за якістю і така, що не вимагає автоклавної обробки.

Ефективність активації оцінювалась за міцністю зразків, МПа сформованих з активованої суміші.

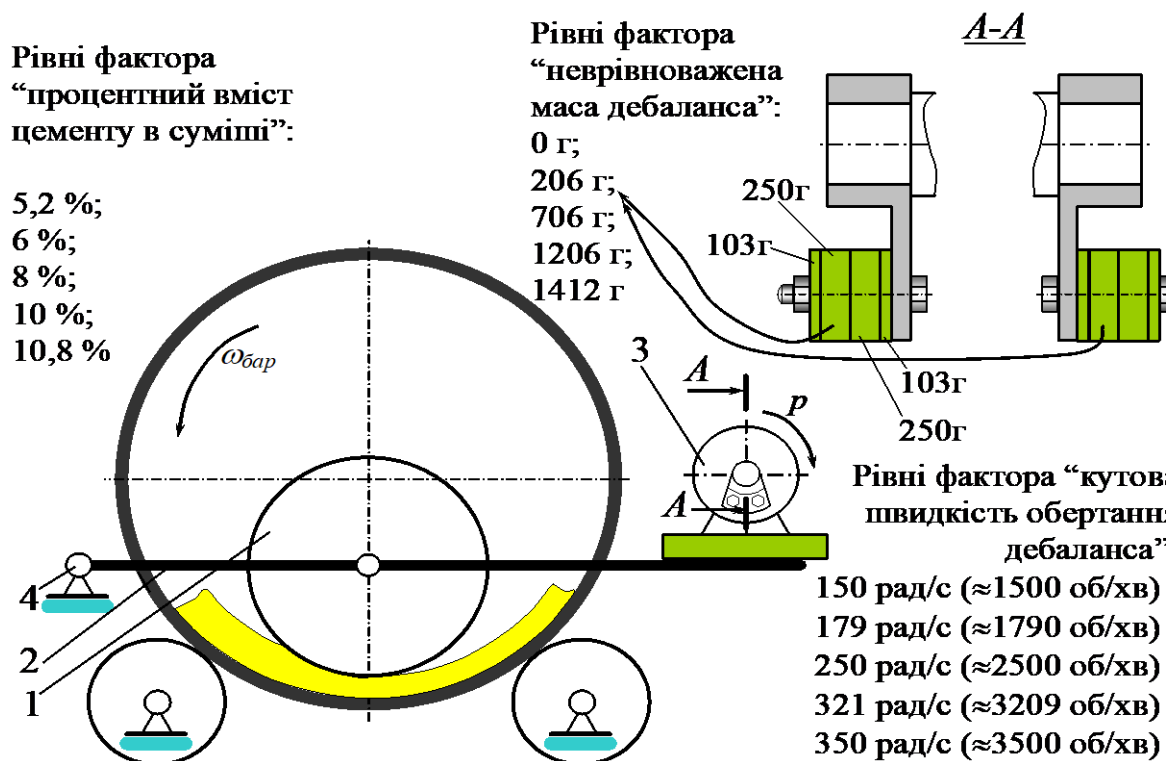


Рис. 2. Схема машини періодичної дії з примусовою вібрацією системи “важіль – валок”; вибір інтервалів варіювання факторів

Методика проведення експерименту:

1) підготовка машини до роботи шляхом активації порції зволоженої до 10÷12 % цементно-піщаної суміші протягом 4-5 хвилин для розігрівання робочих органів та їх зволоження;

2) підготовка суміші згідно з планом експерименту (табл. 2);

3) завантаження порції суміші в машину при піднятому валку для рівномірного розподілу і початок відліку тривалості процесу активації після

завершення завантаження; опускання валка;

4) активація суміші протягом 1 хв.;

5) відбір порцій активованої суміші (≈ 1 кг), для формування зразків (не менш ніж 5 штук);

6) повне розвантаження машини;

7) витримування зразків 7 днів при нормальних умовах ізольованими від зовнішнього середовища;

8) визначення міцності зразків на стиск.

Аналіз результатів попередніх досліджень дав можливість вибрати три основних фактори, що впливають на ефективність переробки, їхні нульові значення й інтервали варіювання.

Фактори:

- Кутова швидкість обертання дебалансу p (рис. 2), у межах від $p = 179$ рад/с до $p = 321$ рад/с (зоряні точки 150 рад/с і 350 рад/с).

- Неврівноважена маса дебалансу $m_{деб}$, у межах від $m_{деб} = 206$ г до $m_{деб} = 1206$ г (зоряні точки 0 г і 1412 г).

- Процентний вміст цементу в суміші C , у межах від $C = 6$ % до $C = 10$ % (зоряні точки 5,2 % і 10,8 %).

План експерименту складений для околу точок усередині зазначеної межі значень перемінних (основного рівня).

$$P_{срeд} = \frac{179 + 321}{2} = 250 \text{ рад/с};$$

$$m_{деб_срeд} = \frac{206 + 1206}{2} = 706 \text{ г}; \quad (1)$$

$$C_{срeд} = \frac{6 + 10}{2} = 8 \text{ \%}.$$

Кожний з факторів набував одною з п'яти значень (для кодових рівнів “+1”, “0”, “-1” і зоряних точок “+1,414” і “-1,414”), що обчислюються за формулою

$$X_j = x_j \cdot \Delta x_j + x_j^0, \quad (2)$$

де X_j – натуральне значення фактора;

x_j – кодове значення фактора;

Δx_j – інтервал варіювання j -го фактора;

x_j^0 – значення j -го фактора на нульовому рівні.

У табл. 1 подано координати центра плану, інтервали варіювання і рівні дослідження.

Таблиця 1

Основні характеристики плану експерименту

Характеристика	Кодове значення фактора	Кутова швидкість обертання дебалансу p , рад/с	Неврівноважена маса дебалансу $m_{деб}$, г	Процентний вміст цементу в суміші C , %
Інтервал варіювання	Δx_j	71	500	2
Верхній рівень	+1	321	1206	10
Основний рівень	0 (x_j^0)	250	706	8
Нижній рівень	-1	179	206	6
Зоряні точки	+1,414	350	0	10,8
	-1,414	150	1412	5,2

Був здійснений перехід від фізичних перемінних “ p , $m_{деб}$, C ” до безрозмірних кодованих перемінних “ x_1 , x_2 , x_3 ”,

нормованих так, щоб вони набували значення “+1” для верхнього рівня і “-1” для нижнього рівня.

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{p - p_{cp}}{\Delta p} = \frac{p - 250}{71} \\ x_2 &= \frac{m_{деб} - m_{деб_сред}}{\Delta m_{деб}} = \frac{m_{деб} - 706}{500} \\ x_3 &= \frac{Ц - Ц_{сред}}{\Delta Ц} = \frac{Ц - 8}{2} \end{aligned} \right\} (3)$$

У табл. 2 подано матрицю планування експерименту. Число дослідів при цьому визначається за формулою:

$$N = 2^k + 2 \cdot k + n_0 \text{ (при } k < 5), \quad (4)$$

$$N = 2^3 + 2 \cdot 3 + 4 = 8 + 6 + 4 = 18.$$

Тут n_0 – кількість нульових точок;

K – кількість факторів.

Лінійне перетворення квадратичних стовпців x_j^2 проводилося за формулою:

$$x_j' = x_j^2 - \bar{x}_j^2 = x_j^2 - \frac{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2}{N}. \quad (5)$$

У кожній серії дослідів експеримент проводився тричі і визначалося середнє значення функції відгуку.

Для визначення помилки відтворюваності, необхідної для оцінки значимості коефіцієнтів при перевірці адекватності математичної моделі, були виконані чотири рівнобіжних досліди на нульових рівнях факторів (рядки 15-18 у табл. 2).

Таблиця 2

Вихідні дані і результати проведення багатofакторного експерименту

Номер дослідів	Код	Значення	Код	Значення	Код	Значення	Марочність зразків, середнє значення
	0	250	0	706	0	8	
	Δ	71	Δ	500	Δ	2	
	+	321	+	1206	+	10	
	-	179	-	206	-	6	
		p , рад/с		$m_{деб}$, Г		$Ц$, %	y
1	-	179	-	206	-	6	80,5
2	+	321	-	206	-	6	147,5
3	-	179	+	1206	-	6	146,5
4	+	321	+	1206	-	6	153,5
5	-	179	-	206	+	10	133,5
6	+	321	-	206	+	10	154,5
7	-	179	+	1206	+	10	147,5
8	+	321	+	1206	+	10	268,5
9	-1,414	150	0	706	0	8	127,9
10	+1,414	350	0	706	0	8	204
11	0	250	-1,414	0	0	8	114,7
12	0	250	+1,414	1412	0	8	185,3
13	0	250	0	706	-1,414	5,2	121,4
14	0	250	0	706	+1,414	10,8	160
15	0	250	0	706	0	8	160,5
16	0	250	0	706	0	8	159,3
17	0	250	0	706	0	8	158
18	0	250	0	706	0	8	162

За результатами експериментів розраховані коефіцієнти регресії і їхні помилки. Завдяки ортогональності матриці всі коефіцієнти регресії визначалися незалежно один від одного за формулою

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{ji} \cdot y_i)}{\sum_{i=1}^N x_{ji}^2} \quad (6)$$

У результаті розрахунків по матриці отримане рівняння виду

$$Y = b'_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{23} x_2 x_3 + b_{31} x_3 x_1 + b_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (7)$$

Для переходу до звичайного запису b_0 визначали за формулою

$$b_0 = b'_0 - b_{11} \cdot \bar{x}_{11}^2 - b_{22} \cdot \bar{x}_{22}^2 - b_{33} \cdot \bar{x}_{33}^2 \quad (8)$$

Значимість коефіцієнтів рівняння регресії перевірялася за критерієм Стьюдента:

$$t_j = \frac{b_j}{S_{b_j}} \quad (9)$$

де S_{b_j} – дисперсія коефіцієнтів.

Значення коефіцієнтів регресії і дисперсії цих коефіцієнтів, а також значення критерію Стьюдента подано в табл. 3.

Таблиця 3

Основні дані рівнянь регресії

Індекс j	Значення коефіцієнтів регресії, дисперсій цих коефіцієнтів, а також значення критерію Стьюдента		
	b_j	S_{b_j}	$ t_j $
0	157,94	0,481	321,7
1	26,97	0,589	45,8
2	25,0	0,589	42,4
3	19,22	0,589	32,6
11 (4)	5,33	0,683	7,8
22 (5)	-2,72	0,683	4,0
33 (6)	-7,42	0,683	10,9
12 (7)	5,0	0,721	6,9
23 (8)	7,0	0,721	9,7
13 (9)	8,51	0,721	11,8
123 (10)	20,01	0,721	27,7
$S^2_{\text{восп}} = 4,16 \quad S^2_{\text{адек}} = 12,21 \quad F_p = 2,93$			

У результаті обробки експериментальних даних було отримано повне рівняння регресії у вигляді:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{31}x_3x_1 + b_{123}x_1x_2x_3, \quad (10)$$

де b – коефіцієнт регресії;
 x – кодовані перемінні чи фактори, визначені за формулою (3).

Усі коефіцієнти регресії (рівняння (10)) є значимими.

Була перевірена адекватність рівняння регресії за критерієм Фішера:

$$F_p \leq F, \quad (11)$$

де F_p – розрахункове значення критерію Фішера, $F_p = 2,93$; (табличне значення $F=8,8$).

$$F_p = \frac{S_{адек}^2}{S_{восп}^2}, \quad (12)$$

$S_{адек}$ – дисперсія адекватності, визначена за формулою

$$S_{адек}^2 = \frac{1}{N - B} \times \sum_{j=1}^N (y_{j_{екс}} - y_{j_{расч}})^2, \quad (13)$$

$y_{j_{екс}}$, $y_{j_{расч}}$ – експериментальне і розрахункове значення функції відгуку;

B – число членів рівняння регресії;

N – число дослідів повного факторного експерименту (у даному випадку 18).

$F_p \leq F$ виконується, оскільки ($2,93 < 8,8$);

рівняння регресії адекватно.

Визначення рівняння регресії і перевірка його адекватності проводилися за описаною вище методикою на ЕОМ.

У результаті отримане адекватне рівняння регресії:

$$Y = 157,94 + 26,97x_1 + 25x_2 + 19,22x_3 + 5,33x_1^2 - 2,72x_2^2 - 7,42x_3^2 + 5x_1x_2 + 7x_2x_3 + 8,5x_3x_1 + 20x_1x_2x_3. \quad (14)$$

Підставляючи у рівняння (14) значення x_1 , x_2 , x_3 з виразу (3), можна перейти до рівняння регресії у фізичних перемінних.

$$Y = 157,94 + 26,97 \cdot \frac{p-250}{71} + 25 \cdot \frac{m_{десб} - 706}{500} + 19,22 \cdot \frac{Ц-8}{2} + 5,33 \cdot \left(\frac{p-250}{71}\right)^2 - 2,72 \cdot \left(\frac{m_{десб} - 706}{500}\right)^2 - 7,42 \cdot \left(\frac{Ц-8}{2}\right)^2 + 5 \cdot \left(\frac{p-250}{71}\right) \cdot \left(\frac{m_{десб} - 706}{500}\right) + 7 \cdot \left(\frac{m_{десб} - 706}{500}\right) \cdot \left(\frac{Ц-8}{2}\right) + 8,5 \cdot \left(\frac{Ц-8}{2}\right) \cdot \left(\frac{p-250}{71}\right) + 20 \cdot \left(\frac{p-250}{71}\right) \cdot \left(\frac{m_{десб} - 706}{500}\right) \cdot \left(\frac{Ц-8}{2}\right). \quad (15)$$

Для фіксованих у центрі плану двох факторів побудовані двовимірні графіки (рис. 3, а, б, в) функції відгуку від третього фактора. Зроблено висновки щодо виконаних досліджень та визначено перспективи майбутніх досліджень.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Використання вібрації при валковій активації істотно підвищує ефективність активації.

У досліджених інтервалах зміни дебалансних мас і частоти вібрації

ефективність активації, що виражається в марочності зразків, збільшувалася з зростанням значень цих параметрів; найбільш ефективні значення цих параметрів не визначені у зв'язку з неможливістю конструктивної реалізації в межах даної фізичної моделі. З графіка (рис. 3, б) очевидно, що маса невірноважених частин дебалансів має оптимальне значення, і воно було майже досягнуте. Проте вміст цементу має оптимальне значення (близько 11 %).

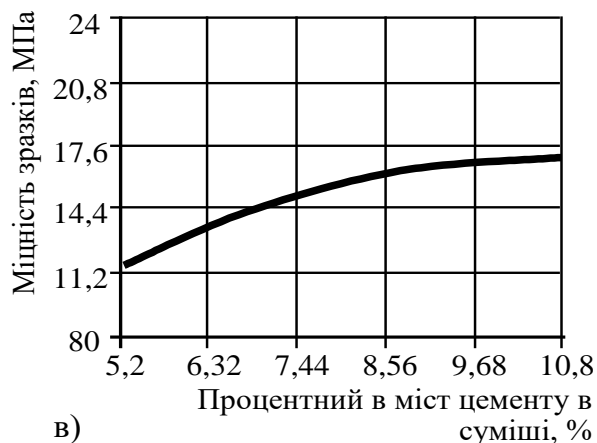
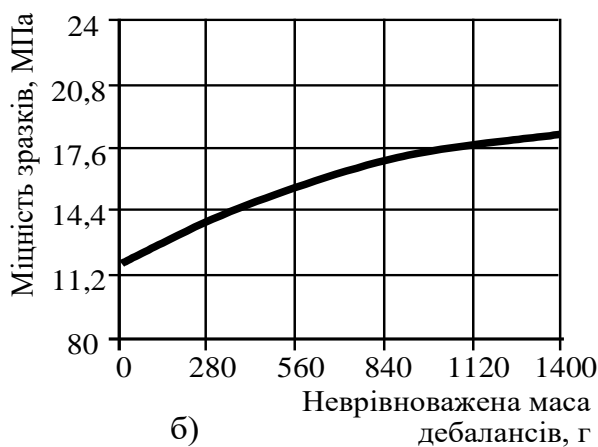


Рис. 3. Залежності міцності зразків від кутової швидкості обертання дебалансів (а), невірноваженої маси дебалансів (б), процентного вмісту цементу в суміші (в)

Список використаних джерел

1. Shabanova, G.N. Intensification of Phase Formation in the CaO – SiO₂ – H₂O System [Text] / G.N. Shabanova, S.A. Kiseleva, D.N. Shabanov //18 International Baustofftagung. 12-15 September, 2012. – Tagungsbericht. – Band 2. – Weimar, 2012. – P. 1248 – 1253.
2. The Influence of Structure Modification of Silicate Materials after Hardening in Non-autoclave Conditions on Their Coefficient of Heat Conductivity [Text]: Proceeding of International

Conference “Alkali Activated Materials – Research, Production and Utilization”. / Shinkevich E, Lutskin Y. – Prague, 2007. – P. 621-635.

3. Kubátová, D. The Effect of Mechanical Activation of Lime Putty on Properties of the Autoclaved Calcium Hydrosilicate Materials [Text] / D. Kubátová, M. Boháč, R. Nečas // Procedia Engineering – 2016. – Volume 151. – P. 18–25

4. Roelfstra, P.E. Le beton numerique [електроний ресурс] / P.E. Roelfstra, H. Sadouki, H. Wittman // Material Structure. – 1985. – №18. – P. 327–335. – Режим доступу: \www/ URL: https://www.researchgate.net/publication/225518224_Le_beton_numerique.

5. HIEN, T.T.T. Mechanical modification of silica powders [Text] / Tran Thi Thu HIEN, Takashi SHIRAI and Masayoshi FUJI // Journal of the Ceramic Society of Japan. – 2012. – № 120. – P.429-435.

6. V. Vinnichenko, A. Krot, N. Vitsenko. Theoretical and experimental research into manufacturing of silicate products without thermal treatment // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technology organic and inorganic substances, 2016. – Vol 5, № 6 (83). – P. 29-36.

7. Крот, О. Ю. Наукові основи створення обладнання для механічної активації та пресування будівельних сумішей [Текст]: автореф. дис... д-ра техн. наук: спец. 05.05.02 / О. Ю. Крот. – Харків, 2013. – 36 с.

8. Штаерман, Ю. Я. Виброактивация цемента [Текст] / Ю. Я. Штаерман. – Тбилиси: «Техника да шрома», 1957. – 43 с.

9. Кафаров, В. В. Математическое моделирование основных химических производств [Текст] / В. В. Кафаров, М. Б. Глебов. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.

Крот Александр Юлійович, д-р техн. наук, професор кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (098) 619-691-7. E-mail: tanko_drom@rambler.ru.

Вінниченко Варвара Іванівна, д-р техн. наук, професор кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (050) 167-97-05. E-mail: vvinnichenko@ukr.net.

Савченко Олександр Григорович, канд. техн. наук, професор кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (066) 813-53-09. E-mail: savchenko-ag@mail.ru.

Супряга Дмитро Вікторович, асистент кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (066) 292-43-53. E-mail: supdima@ukr.net.

Ручка Артем Володимирович, аспірант кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва і архітектури. Тел.: (093) 99-39-869. E-mail: ruchka-vl17@mail.ru.

Krot Alexander, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of mechanization of construction processes, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (098) 619-691-7. E-mail: tanko_drom@rambler.ru.

Vinnichenko Varvara, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of mechanization of construction processes, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (050) 167-97-05.

E-mail: vvinnichenko@ukr.net.

Savchenko Alexander, PhD. tehn., Professor of the Department of mechanization of construction processes, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (066) 813-53-09. E-mail: savchenko-ag@mail.ru.

Supryaga Dmitry, assistant Professor of the Department of mechanization of construction processes, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (066) 292-43-53. E-mail: supdima@ukr.net.

Ruchka Artem, graduate student of the Department of mechanization of construction processes, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (093) 99-39-869. E-mail: ruchka-vl17@mail.ru.

Стаття прийнята 12.12.2016 р.

УДК 666:695

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗВЕСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРЕССОВАННЫХ СИЛИКАТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Доктора техн. наук В. И. Винниченко, А. Ю. Крот, канд. техн. наук Н. Ю. Вищенко

ВИКОРИСТАННЯ ВАПНА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПРЕСОВАНИХ СИЛІКАТНИХ ВИРОБІВ

Доктори техн. наук В. І. Вінниченко, О. Ю. Крот, канд. техн. наук Н. Ю. Віщенко

USE OF LIME IN MANUFACTURING PRESSING SILICATE PRODUCTS

Doctors of Technical Sciences V.I. Vinnichenko, A.Y. Krot, PhD. tehn. Sciences N.U. Vitsenko

Выполнен анализ возможности использования доломитовой извести при изготовлении силикатных изделий. Осуществлены экспериментальные исследования. Известь обжигали во вращающейся печи при невысоких температурах. При изготовлении образцов силикатную массу механически активировали. Твердение образцов происходило при нормальных условиях без использования тепловой энергии. Показатели качества отвечают существующим государственным стандартам. Кристаллооптические исследования показали образование вокруг частиц кварца гелеподобной массы гидросиликатов кальция. Гель гидросиликатов кальция склеивает между собой частички компонентов.

Ключевые слова: доломитовая известь, автоклав, тепловая обработка, обжиг, периклаз, экспериментальные исследования, силикатные изделия, тепловая энергия, образцы изделий, энергоэффективность, негашеная известь, гашеная известь, оксид магния, песок кварцевый, прочность на сжатие, гидратация, гидросиликаты кальция, кристаллооптические исследования, механическая активация.

Виконано аналіз можливості використання доломітового вапна при виготовленні силікатних виробів. Здійснено експериментальні дослідження. Вапно випалили в обертовій печі при невисоких температурах. При виготовленні зразків силікатну масу механічно активували. Твердіння зразків відбувалось при нормальних умовах без використання теплової енергії. Показники якості відповідають існуючим державним стандартам. Кристалооптичні дослідження показали утворення навколо частинок кварцу гелеподібної маси гідросилікатів кальцію. Гель гідросилікатів кальцію склеює між собою частинки компонентів.

Ключові слова: доломітове вапно, автоклав, тепла обробка, випал, периклаз, експериментальні дослідження, силікатні виробі, тепла енергія, зразки виробів, енергоефективність, негашене вапно, гашене вапно, оксид магнію, пісок кварцовий, міцність на стиск, гідратація, гідросилікати кальцію, кристалооптичні дослідження, механічна активація.

The analysis of possible use in the manufacture of dolomitic lime silicate products. We carried out a pilot study. Lime was burned in a rotary kiln at low temperatures. In the manufacture of samples of silicate mass is mechanically activated. Curing occurred the samples under normal conditions without the use of thermal energy. Quality parameters meet current state standards. Birefringent crystal studies have shown the formation of gel-like particles around the quartz weight of calcium silicate. Gel calcium Hydrosilicates gluing together pieces of components.

Keywords: *dolomitic lime, autoclave, cooking, roasting, periclase, experimental studies, silicate products, thermal energy, samples of products, energy efficiency, quicklime, hydrated lime, magnesium oxide, silica sand, compressive strength, hydration, calcium hydrosilicates, birefringent crystal research, mechanical activation.*

Введение. В современных условиях все большую актуальность при производстве строительных материалов приобретает экономия энергоресурсов [1]. Применяемые технологии прессованных силикатных изделий включают гидротермальную обработку для обеспечения протекания реакций образования гидросиликатов кальция. Гидротермальная обработка в автоклаве является энергозатратной стадией технологического процесса. Но существуют также мнения о возможности твердения известково-песчаного сырца без запаривания в автоклаве [2], что вызывает интерес с точки зрения энергоэффективности производства силикатных изделий.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время усилия ученых всего мира направлены на снижение энергетических затрат при автоклавной обработке или на замену автоклавной обработки пропариванием в ямной пропарочной камере. Существенное снижение режимов тепловлажностной обработки позволяет реализовать механическая активация [3]. Существенным изменениям подвергаются как мелкодисперсные компоненты силикатного порошка [4], так и структура заполнителя, обеспечивая наилучшую плотность сформованного изделия [5]. Значительный вклад в развитие энергосберегающего направления внесены известными украинскими учеными [6, 7]. Научные подходы создания энергосберегающих технологий были направлены в основном на введение различных добавок, способствующих сокращению времени автоклавной обработки или проведению тепловлажностной обработки изделий в

ямной пропарочной камере. Уменьшению стадий технологического процесса за счет совмещения процесса гашения извести и образования гидросиликатов кальция внимания практически не уделялось.

Определение цели исследований. Целью статьи является анализ возможности использования кальциевой и доломитовой извести для получения образцов силикатного кирпича, набирающего прочность без применения тепловой обработки.

Основная часть исследований. В производстве силикатного кирпича, как правило, используют кальциевую известь с содержанием оксида магния не более 5 %. Авторами проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований по использованию кальциевой негашеной извести с исключением отдельного процесса гашения. Результаты исследований доказали целесообразность данного направления [8]. Однако интересным оказалось и направление использования доломитовой извести, поскольку она содержит оксид магния.

Существующие в настоящее время ограничения по содержанию оксида магния обусловлено тем, что при обжиге магнезиальных карбонатных пород в обычно применяемых шахтных и вращающихся печах, в которых перепад между температурой газов и теоретической диссоциацией $MgCO_3$ достигает 400-600 °С, а время пребывания материала при максимальной температуре колеблется от 1-2 до 8-10 ч, образуется минерал периклаз [9-10]. Этот минерал характеризуется замедленной гидратацией с увеличением объема, что приводит к образованию в автоклавных изделиях трещин или даже к полному их разрушению [10].

Имеются разные взгляды в оценке влияния температуры обжига и соответственно в оценке влияния размеров кристаллов периклаза на скорость его гидратации. Часть исследователей, к числу которых принадлежит П.П. Будников [11], показали, что скорость гидратации оксида магния с повышением температуры ее обжига падает, хотя очень тонкое измельчение может увеличить способность MgO к гидратации. Однако другие исследователи [12] считают, что высокообожженный и высокорекристаллизованный периклаз имеет большую способность к гидратации, чем малорекристаллизованный периклаз. Предотвратить образование периклаза при обжиге магнезиальных пород (по данным работы [13]) возможно путем их обжига в интервале температур (800-900)°C, при котором происходит лишь частичная карбонизация $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$. Сторонником пониженных температур обжига магнезиальных пород является Э.Д. Певзнер [14]. Оптимальным режимом обжига магнезиальных карбонатных пород, по данным Э.Д. Певзнера [14], должен быть кратковременный (1-3 ч) обжиг при температуре (850-900)°C с быстрым охлаждением продукта обжига.

Несмотря на положительное влияние на активацию окиси магния, присутствующей в магнезиальной и доломитовой извести, минеральных и химических добавок, они еще не нашли

производственного применения. Большинство из перечисленных выше исследователей считают, что эффективность этих добавок будет достаточна лишь в тех случаях, когда температура обжига магнезиальных вяжущих не будет превышать (900-1000)°C.

При выполнении лабораторных исследований по получению силикатного кирпича из магнезиальной извести обжиг при производстве извести осуществлялся при температурах (900-1000)°C в течение 45 мин. Известь обжигалась во вращающейся печи длиной 7 м Харьковского опытно-экспериментального цементного завода. Состав используемой силикатной смеси представлен в таблице. Смесь подвергалась механической активации в барабанно-валковом активаторе, разработанном сотрудниками кафедры механизации строительных процессов ХНУСА.

Образцы изготавливались методом полусухого прессования.

После трех суток твердения при нормальных условиях получены образцы со следующими характеристиками: морозостойкость – F50; водопоглощение – 8 %; предел прочности при сжатии – 40 МПа; средняя плотность – 1650 кг/м³.

На рис. 1, 2 приведены микрофотографии иммерсионного препарата силикатного кирпича.

Таблица

Состав смеси

Материал	Процентное содержание	Единица измерения	Количество на тысячи штук условного кирпича
Песок кварцевый	70	м ³	1,913
Доломитовая известь	10	т	0,36*
Минеральная добавка	10	т	0,28
Вода	10	м ³	0,28

* учитывая активность извести.

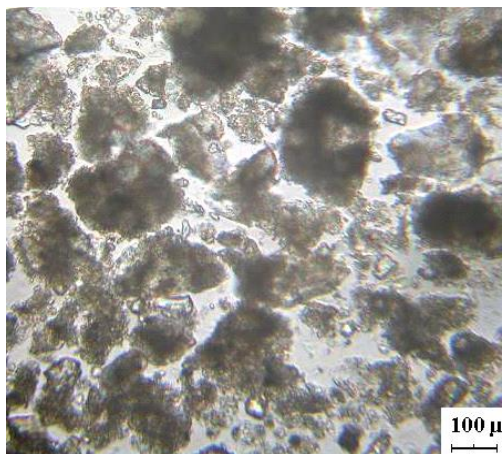


Рис. 1. Микрофотография иммерсионного препарата силикатного кирпича (общий вид). Без анализатора.

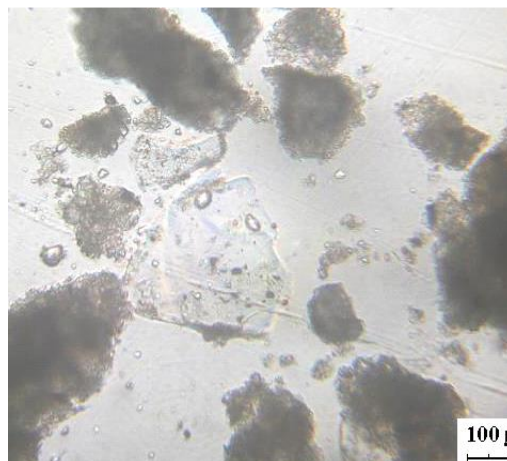


Рис. 2. Микрофотография иммерсионного препарата силикатного кирпича (крупные обломочные зерна кварца и сгустки основной цементирующей массы). Без анализатора.

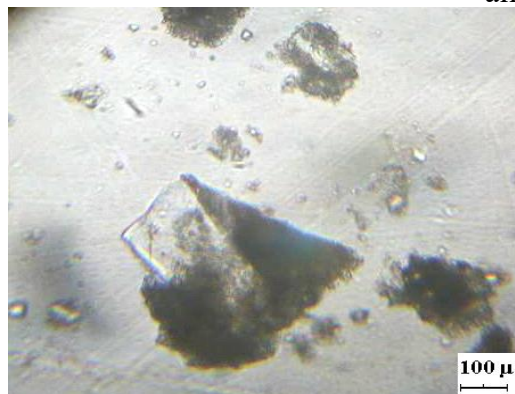


Рис. 3. Микрофотография иммерсионного препарата силикатного кирпича (обрастание зерен кварца основной массой гидросиликатов кальция)

На рис. 1 представлен общий вид тонкодисперсной агрегатной гидросиликатной основной массы с развитыми в ней мелкими зернами кальцита и обломочными зернами кварца. В центральной части рис. 2 расположено крупное прозрачное зерно кварца, окруженное сгустками гидросиликатно-карбонатной массы. На рис. 3 показано обрастание зерен кварца сгустками и пленками основной цементирующей массы. Очень четко видно, что зерна кварца окружены гелеобразной массой гидросиликатов кальция, склеивающей между собой составляющие смеси.

Таким образом, с помощью кристаллооптических исследований установлено, что в результате

взаимодействия исходных компонентов образовалась однороднозернистая мелкокристаллическая масса, состоящая из гидросиликатов кальция, на фоне которой расположены крупные зерна α -кварца и мелкие зерна кальцита.

Отмечается отсутствие исходных компонентов смеси – минеральной добавки и извести. Полученные результаты позволяют говорить о возможности применения доломитовой извести в производстве силикатного кирпича без тепловой обработки и развитии исследований в данном направлении.

Выводы из исследований и перспективы. Проведены экспериментальные исследования получения образцов силикатного кирпича с применением в

качестве вяжущего вещества мягкообожженной доломитовой извести с применением активации, но без подачи тепловой энергии при твердении. После трех суток твердения при нормальных условиях получены образцы со следующими характеристиками: морозостойкость – F50; водопоглощение –

8 %; предел прочности при сжатии – 40 МПа; средняя плотность – 1650 кг/м³.

Кристаллооптические исследования показали, что активация силикатной массы способствовала образованию вокруг зерен кварца гелеобразной связующей массы из гидросиликатов, способствующей склеиванию составляющих компонентов между собой.

Список использованных источников

1. Меркушов, В. Т. Энергоефективність та енергозбереження – основні чинники впливу на енергетичну безпеку України. Стан, проблеми, перспективи [Текст] / В.Т. Меркушов // Праці Міжнар. конф. “Енергетична безпека Європи. Погляд у XXI століття”. – К., 2001. – С. 27-31.
2. Researches and mathematic modelling structure and properties of cellular silicate composition / Shinkevich E., Lutskin E., Tchesskii Yu., Bondarenko G. // Proc. of the 2nd International Symposium Non-Traditional Cement & Concrete. – Brno, 2005. – P. 148-153.
3. Kubátová, D. The Effect of Mechanical Activation of Lime Putty on Properties of the Autoclaved Calcium Hydrosilicate Materials [Текст] / D. Kubátová, M. Boháč, R. Nečas // Procedia Engineering – 2016. – Volume 151. – P. 18–25.
4. HIEN, T.T.T. Mechanical modification of silica powders [Текст] / Tran Thi Thu HIEN, Takashi SHIRAI and Masayoshi FUJI // Journal of the Ceramic Society of Japan. – 2012. – №120. – P. 429-435.
5. Roelfstra, P.E. Le beton numerique [Текст] / P.E. Roelfstra, H. Sadouki, H. Wittman // Material Structure. – 1985. – №18. – P. 327–335. – Режим доступа: \www/ URL: https://www.researchgate.net/publication/225518224_Le_beton_numerique.
6. Shinkevich E, Lutskin Y. The Influence of Structure Modification of Silicate Materials after Hardening in Non-autoclave Conditions on Their Coefficient of Heat Conductivity // Proceeding of International Conference “Alkali Activated Materials – Research, Production and Utilization”. – Prague, 2007. – P. 621-635.
7. Shabanova G.N. Intensification of Phase Formation in the CaO – SiO₂ – H₂O System / G.N. Shabanova, S.A. Kiseleva, D.N. Shabanov // 18 International Baustofftagung. 12-15 September, 2012. – Tagungsbericht. – Band 2. – Weimar, 2012. – P. 1248 – 1253.
8. V.Vinnichenko, A. Krot, N. Vitsenko. Theoretical and experimental research into manufacturing of silicate products without thermal treatment // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technology organic and inorganic substances, 2016. – Vol 5, No 6 (83). – P. 29-36
9. Зейфман, М. И. Производство силикатного кирпича, силикатных ячеистых блоков [Текст] / М.И. Зейфман. – М.: Стройиздат, 1990. – 184 с.
10. Воробьев, Х. С. Вяжущие материалы для автоклавных изделий [Текст] / Х.С. Воробьев. – М.: Стройиздат, 1972. – 287 с.
11. Будников, П. П. Изучение скорости гидратации окиси магния, обожженной при различных температурах [Текст] / П.П. Будников, Х.С. Воробьев // Прикладная химия. – 1959. - № 2. – С. 253-258.
12. Красс, Я. Р. Исследование влияния вида затворителей на свойства периклазового цемента [Текст] / Я.Р. Красс, А.А. Пирогов [и др.] // Сб. трудов УНИИО: Теоретические и

технологические исследования в области огнеупоров. – М.: Изд-во «Металлургия», 1971. – Вып. 15. – С. 111-121.

13. Философов, П. С. Местные доломитовые вяжущие вещества [Текст] / П. С. Философов. – М.: Промстройиздат, 1946. – 23 с.

14. Певзнер, Э. Д. Оптимальные условия обжига доломитовой извести [Текст] / Э. Д. Певзнер // Строительные материалы. – 1963. – №6. – С. 10-11.

Вінниченко Варвара Іванівна, доктор техн. наук, професор кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (057) 717-80-17.
E-mail: vvinnichenko@ukr.net.

Крот Олександр Юлійович, доктор техн. наук, професор кафедри механізації будівельних процесів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (098) 619-691-7.
E-mail: tanko_drom@rambler.ru.

Віценко Наталія Юріївна, канд. техн. наук, старший науковий співробітник кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій Придніпровської державної академії будівництва і архітектури.
E-mail: vitsenko.n@ukr.net.

Vinnichenko Varvara, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of mechanization of construction processes, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057) 717-80-17.
E-mail: vvinnichenko@ukr.net.

Krot Alexander, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of mechanization of construction processes, Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (098) 619-691-7. E-mail: tanko_drom@rambler.ru.

Vitsenko natalia, phd. Tehn. Sciences, senior researcher of Department of building materials, products and structures technology of prydniprovs'ka State Academy of civil engineering and architecture. E-mail: vitsenko.n@ukr.net.

Стаття прийнята 12.12.2016 р.

УДК 629.423.33

НОВА КОНСТРУКЦІЯ КАРЕТКИ СТРУМОЗНІМАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Кандидати техн. наук А. В. Павшенко, Н. П. Карпенко

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ КАРЕТКИ ТОКОСЪЕМНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА.

Кандидаты техн. наук А. В. Павшенко, Н. П. Карпенко

NEW DESIGN FOR CARRIAGE CURRENT COLLECTION DEVICES SPEED ELECTRIC TRACTION ROLLING STOCK.

Cand. of Techn. Sciences A. Pavshenko, N. Karpenko

Обґрунтовано актуальність науково-дослідних робіт, спрямованих на удосконалення конструкцій струмознімальних пристроїв для сучасного електротягового рухомого складу. Наведено описання розробленої авторами конструкції модуля контактної струмознімання, яка забезпечує умови якісного струмознімання при підвищених швидкостях. Подано математичні залежності для визначення основних геометричних параметрів рухомих елементів механічної системи запропонованого модуля.

Ключові слова: струмоznімальний пристрій, модуль контактного струмоznімання, механічна система.

Обоснована актуальность научно-исследовательских работ, направленных на усовершенствование конструкции токоcъемных устройств для современного электротягового подвижного состава. Показано описание разработанной авторами конструкции модуля контактного токоcъема, которая обеспечивает условия качественного токоcъема при повышенных скоростях. Представлены математические зависимости для определения основных геометрических параметров подвижных элементов механической системы предложенного модуля.

Ключевые слова: токоcъемное устройство, модуль контактного токоcъема, механическая система.

The actuality of scientific research aimed at improving the design of current collector devices for the modern electric traction rolling stock. It is shown the description of the contact current collection module developed by the authors of construction, which provides high-quality current collection conditions at high speeds. Present a mathematical dependences for definition of basic geometric parameters of the moving elements of the proposed module mechanical system.

Keywords: current collection devices, contact current collection module, mechanical system.

Вступ. На даний момент електричний тяговий рухомий склад (ЕТРС), термін експлуатації якого перевищує 25 років, складає близько 70 %. Державними програмами реформування залізничного транспорту передбачено впровадження нових типів ЕТРС, що відповідають вимогам швидкісного руху (до 200 км/год), яке буде відбуватися за рахунок розроблення нових конструкцій на вітчизняних підприємствах. При цьому особливу увагу слід приділяти струмоznімальним пристроям (СЗП), які забезпечують якісне та безперебійне постачання електроенергією бортових мереж тяги, систем гальмування та живлення допоміжних агрегатів.

Аналіз останніх результатів досліджень. Конструкції СЗП ЕТРС, які на протязі багатьох років експлуатуються на залізницях України, значно морально застаріли [1, 2]. Їх основу складають багатоланкові важільні механізми з досить великими зведеними масами, що не повністю відповідає потрібним умовам функціонування СЗП при швидкісному русі. Досвід експлуатації та ремонту ЕТРС показав, що вже при досягненні швидкостей 140 км/год в СЗП електровозів

ЧС7, ДС3 та електропоїздів ЕПЛ9Т, ЕПЛ2Т мають місце порушення контакту та різні відмовили механічної системи. Це визначає актуальність науково-дослідних робіт щодо розроблення нових конструкцій СЗП, які б задовольняли умови експлуатаційної надійності при їх використанні на швидкісному ЕТМВРС [3]. В Українському державному університеті залізничного транспорту була розроблена нова рамно-трапецеїдальна конструкція струмоznімального пристрою, що забезпечує можливість її застосування при швидкостях до 200 км/год [4]. При синтезуванні конструкції було виділено чотири взаємопов'язані модулі (пневмопружинний модуль МІ, рамно-задавальний модуль МІІ, модуль рухомих рам МІІІ та модуль контактного струмоznімання МІV). Разом з цим у попередніх працях не були розглянуті особливості механічної системи модуля контактного струмоznімання.

Метою статі є описання розробленої авторами нової конструкції механічної системи модуля контактного струмоznімання рамно-трапецеїдального СЗП.

Розвиток класифікації конструкцій СЗП, що представлено в роботі [5],

передбачає описання загальної конструкції, а також її окремих модулів у вигляді відповідних структурних формул. Складена на основі рекомендації [5] структурна формула нового СЗП має вигляд

$$\text{СЗП} = \text{МІ} + \text{МІІ} + \text{МІІІ} + \text{МІV}. \quad (1)$$

У свою чергу структурна формула модуля МІV має вигляд

$$\text{МІV} = \text{ПЛ}/_{1+ЗУР} + \text{К}/_{\text{МХ}} = \text{ВСК} + \text{П}/_{\text{КМ}} + \text{КВ}, \quad (2)$$

де ПЛ – полоз;

ЗУР – з уловлювальним рогом;

К – каретка; МХ – малий хід;

ВСК – важільна система каретки;

П – пружини каретки;

КМ – комбіновані деформації;

КВ – контактні вставки.

Відповідно до формули (2) була розроблена конструкція модуля контактного струмоznімання.

Головною відзнакою нової конструкції модуля контактного струмоznімання є те, що конструктивне виконання центруючого механізму каретки СЗП у вигляді тяги, що зв'язує головний вал струмоznімального пристрою з повідком, на якому закріплено дві каретки плунжерного типу, забезпечує зменшення зведеної до верхнього шарніра маси механічної системи модуля контактного струмоznімання, а також покращення умов проходження струмоznімальним пристроєм ділянок з великим перепадом висоти контактного проводу. Досягненню технічного результату сприяє простота конструкції деталей, зв'язків між ними, технології їх виготовлення та складання.

Модуль контактного струмоznімання (рис. 1) містить дві каретки плунжерного типу 1, які встановлено на поводок 2, шарнірно приєднаний до рухомої рами-трапеції 9 струмоznімального пристрою

через важелі 3. До повідка 2 шарнірно приєднано додатковий важіль 4, який з'єднано тягою 5 з важелем 6, що жорстко закріплено на головному валі 10. На каретках 1 встановлено полоз 7 зі струмоznімальними накладками 8 таким чином, щоб забезпечити невеликий поворот полоза відносно своєї повздожньої осі.

На рис. 2 показано спрощену для розглядання схему (не враховується просторовість) механічної системи ABCD нової конструкції каретки. Нижче у прив'язці до цієї схеми розглядається модуль контактного струмоznімання при різних можливих положеннях в експлуатації струмоznімального пристрою (у складеному стані, при мінімальній H_{min} та максимальній H_{max} робочій висоті) швидкісного ЕТРС. Геометричні параметри ланок ABCD та їх граничні положення визначаються необхідністю забезпечення перпендикулярності осей кареток ED до площин контакту полоза з контактним проводом: положення E_1D_1 контуру $AB_1C_1D_1$ і кутів нахилу до горизонталі ланок 4 і 6 φ_{4min} і φ_{6min} при піднятому на мінімальну робочу висоту струмоznімального пристрою H_{min} ; положення E_2D_2 контуру $AB_2C_2D_2$ і кутів нахилу до горизонталі ланок 4 і 6 φ_{4max} і φ_{6max} , що відповідає максимальній робочій висоті H_{max} . Фіксованими геометричними параметрами контуру ABCD (рис. 2) є відстань від осі обертання головного валу до шарніра важеля 6 l_{AB} ; довжина тяги 5 l_{BC} і додаткового важеля 4 l_{CD} ; кут нахилу до горизонталі ланки 6 контуру $AB_1C_1D_1$ φ_{6min} ; кут нахилу до горизонталі ланки 6 контуру $AB_1C_1D_1$ φ_{6max} ; координата розташування повідка 4 відносно осі обертання головного валу l_{AD} . Кут нахилу до горизонталі ланки 4 контуру $AB_1C_1D_1$ φ_4 в усіх положеннях струмоznімального пристрою визначається за формулою

$$\varphi_{4max} = \arccos \left(\frac{l_{DC}^2 - l_{BC}^2 + (\sqrt{l_{AB}^2 + l_{AD}^2 - 2 \cdot l_{AD} \cdot l_{AB} \cdot \cos \varphi_6})^2}{2 \cdot l_{DC} \cdot (l_{AB}^2 + l_{AD}^2 - 2 \cdot l_{AD} \cdot l_{AB} \cdot \cos \varphi_6)} \right).$$

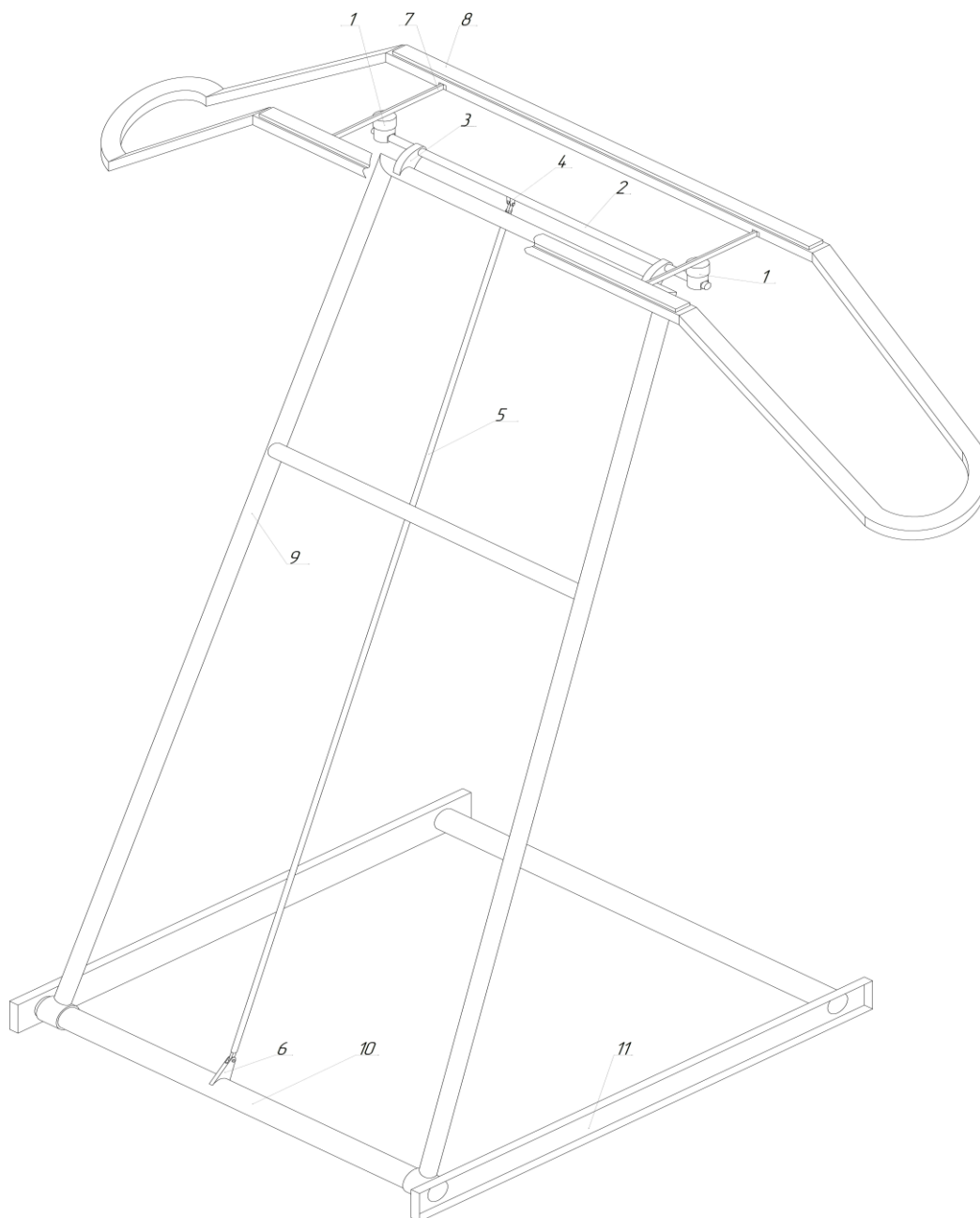


Рис. 1. Загальний вигляд модуля контактної струмознімання

У складеному стані пружини кареток 1 знаходяться у нестиснутому стані, поводок 2 через додатковий важіль 4, тягу 5 і важіль 6 (рис. 1) займає положення, при якому площина контакту полозу паралельна даху електровоза.

При підніманні головний вал 10, обертаючись, повертає раму-трапецію 9 і виконує основний підведення полоза 7 зі

струмознімальними накладками 8 до контактної провідки, при цьому важіль 6, обертаючись навколо осі головного вала разом з тягою 5 і додатковим важелем 4, утворює центруючий механізм, що повертає поводок 2, який забезпечує виконання умови перпендикулярності осей кареток 1 до площини даху електротягового рухомого складу.

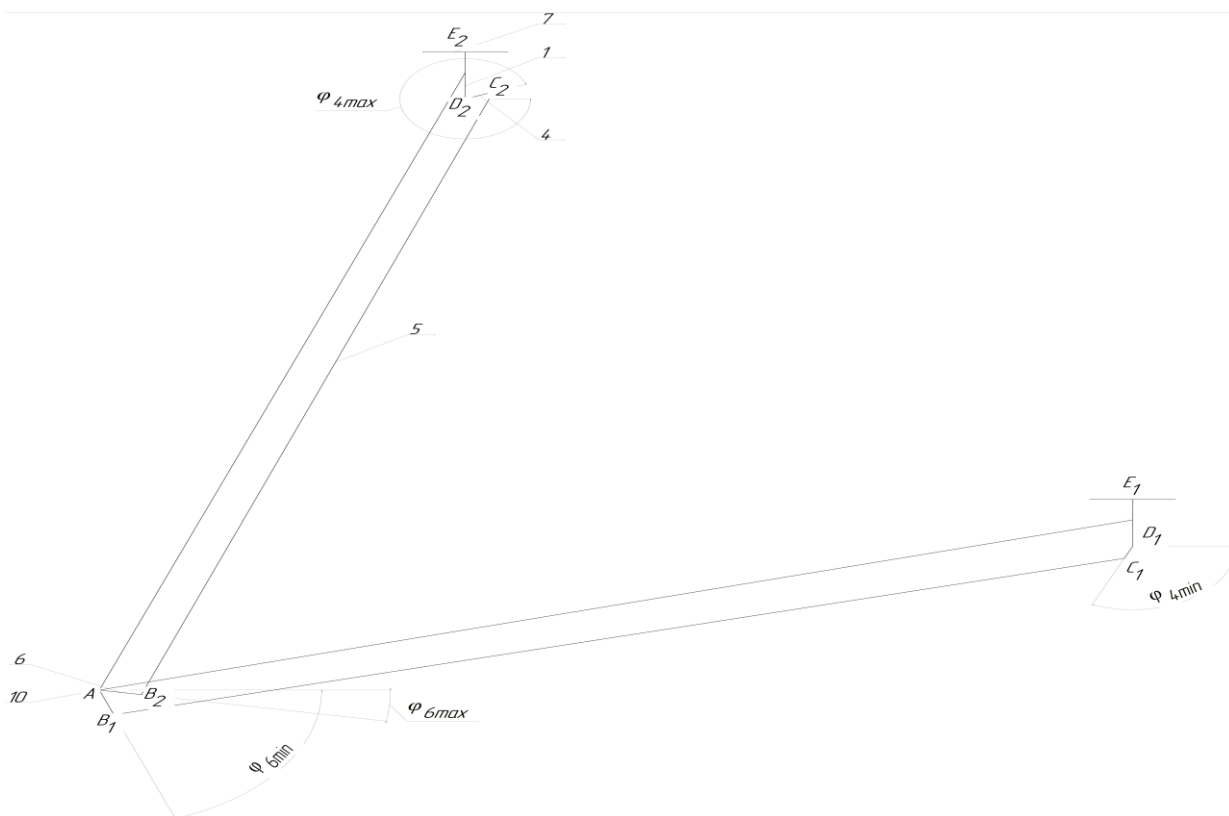


Рис. 2. Кінематична схема механічної системи модуля контактної струмознімання

Під час руху ЕТРС збуджуються коливання модуля контактної струмознімання, що обумовлено геометричними особливостями положення контактної провладу, внаслідок наявності стріли провису, що визначає дію суттєвих динамічних навантажень і характеризується зміною відстані точки Е до рівня нерухокої рами 11 струмознімального пристрою і сприймаються двома каретками 1 та через поводок 2, додатковий важіль 4, тягу 5 і важіль 6 головним валом 10, що суттєво зменшує дію динамічних навантажень на

деталі та з'єднання модуля контактної струмознімання та механічної системи струмознімального пристрою.

Висновки і рекомендації щодо подальшого використання. Наведене в статті описання конструкції модуля контактної струмознімання спрямовано на удосконалення математичної моделі роботи нового СЗП рамно-трапецеїдального типу, що у свою чергу дозволить отримати уточнені характеристики його функціонування при різних швидкостях руху ЕТРС.

Список використаних джерел

1. Беляев, И. А. Взаимодействие токоприемников контактной сети при высоких скоростях движения [Текст] / И. А. Беляев. – М.: Транспорт, 1968. – 160 с.
2. Колесов, С. Н. Материалы и взаимодействие контактной подвески и токоприемника (при обычном, скоростном и высокоскоростном движении) [Текст] / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – Днепропетровск.: ДНУЗТ, 2006. – 281 с.

3. Bautista, A. J. Dynamic interaction between pantograph and rigid overhead lines using a coupled FEM – multibody procedure [Text] / A. J. Bautista, P. Montesinos, P. Pintado // Mechanism and Machine Theory. – 2016. – Vol. 97. – P. 100-111.

4. Струмознімний пристрій [Текст]: пат. 85140 Україна, МПК В 60 L 5/00, В 60L 5/18 / Мороз В.И., Братченко О.В., Павшенко А.В.; власник Українська державна академія залізничного транспорту. - № а200706728; заявл. 15.06.2007; опубл. 25.12.2008, Бюл. №24. – С. 4.

5. Мороз, В. І. Модульно-декомпозиційна класифікація струмознімальних пристроїв сучасного електричного тягового рухомого складу залізниць [Текст] / В.І. Мороз, Н.П. Карпенко, А.В. Павшенко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Вип. 86. – С. 114-121.

6. Мороз, В. І. Моделювання експлуатаційних характеристик струмознімальних пристроїв сучасного електричного тягового рухомого складу при підвищених швидкостях руху [Текст] / В. І. Мороз, Н. П. Карпенко, А. В. Павшенко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 3 (71). – С 66-68.

Павшенко Андрій Васильович канд. техн. наук, доцент кафедри механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-53. E-mail: mpmkafedra@gmail.com.

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

Pavshenko Andrii Vasilevich, cand. tech. sciences, docent department mechanical engineers and designing the machines Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-53. E-mail: mpmkafedra@gmail.com.

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

Стаття прийнята 12.12.2016 р.

УДК 656.223

МЕТОДИ УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ З НЕВЕЛИКИМ ОБСЯГОМ РОБОТИ ШЛЯХОМ ЗАЛУЧЕННЯ ДОДАТКОВИХ ВАНТАЖІВ

Д-р техн. наук Д. В. Ломотько, асп. Н. А. Носко

МЕТОДЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ С НЕБОЛЬШИМ ОБЪЕМОМ РАБОТЫ ПУТЕМ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ГРУЗОВ

Д-р техн. наук Д. В. Ломотько, асп. Н. А. Носко

METHODS IMPROVEMENT OF RAILWAY STATIONS WITH A SMALL AMOUNT OF WORK BY ATTRACTING ADDITIONAL CARGO

PhD, D. V. Lomotko, postgraduate N. A. Nosko

У статті розглянуто проблеми експлуатації малодіяльних ділянок залізниць України. Визначено поняття малодіяльних ділянок та станцій, їх позиціонування в системі залізничного транспорту. Аналізуються результати наукових досліджень основних напрямків діяльності і розвитку малодіяльних ділянок залізниць. Запропоновано методи підвищення ефективності функціонування малодіяльних ділянок і станцій, таких як

концентрація вантажів на опорних станціях, застосування мобільних вантажно-розвантажувальних комплексів та створення логістичних центрів.

Ключові слова: залізниця, ефективність, малодіяльна ділянка залізниці, концентрація вантажної роботи, логістичний центр.

В статье рассмотрены проблемы эксплуатации малодетальных участков железной дороги Украины. Определены понятия малодетальных участков и станций, их позиционирования в системе железнодорожного транспорта. Анализируются результаты научных исследований основных направлений деятельности и развития малодетальных участков железной дороги. Предложены методы повышения эффективности функционирования малодетальных участков и станций, такие как концентрация грузов на опорных станциях, использование мобильных погрузо-разгрузочных комплексов и создание логистических центров.

Ключевые слова: железная дорога, эффективность, малодетальный участок железной дороги, концентрация грузовой работы, логистический центр.

Strategic positioning in low-traffic segments of the railway system is considered. The level of transport and social welfare of different segments of the population in the regions is an important factor for complex estimation of functioning of separate low-traffic segments and the feasibility of their activities. Analyzed the results of basic research activities and the development of rail transport. In the article consider the problem exploitation of area railway which is small used in railway of Ukraine. Proposed methods efficiency functioning of area railway which is small used and stations.

Keywords: railway, efficiency, area of railway which is small used, logistics centre.

Вступ. В Україні близько 60 % ВВП здійснюється малим і середнім бізнесом з переважним застосуванням автомобільного транспорту [1]. Це створює умови зменшення обсягів перевезення на окремих ділянках, що робить їх малодіяльними. За існуючими правилами технічної експлуатації залізниць України, до малодіяльних ділянок віднесено ділянки, що за розмірами руху пасажирських і вантажних поїздів (у сумі) за графіком не перебільшують 8 пар на добу [2]. Це дає тільки уявлення про інтенсивність руху потягів і не містить економічної оцінки вигідності експлуатації ділянки. Варто зауважити, що навіть за умови однакового розміру руху на різних ділянках економічна ефективність їх використання буде визначатися сукупністю таких факторів, як співвідношення вантажного і пасажирського руху, характер вантажів, що перевозяться ними, обсяги перевезень, склад інфраструктурних елементів тощо.

Тому загальноприйнятий і традиційно застосований критерій малодіяльності залізничних ділянок (вісім і менше пар поїздів на добу) не дає не тільки об'єктивної кількісної оцінки ефективності використання ділянки в конкретних умовах, а навіть не дозволяє опосередковано визначити доцільність її експлуатації.

Залежно від об'єму і характеру роботи вантажні станції, як і інші залізничні станції, крім пасажирських, поділяються на шість класів: позакласні, 1, 2, 3, 4, 5 класу. На мережі залізниць, поряд з крупними і середніми є малодіяльні станції, відкриті для виконання вантажної та комерційних операцій на місцях загального користування. Виконання вантажної та комерційної роботи на цих станціях не дозволяє ефективно використовувати комплекс технічних засобів залізничного транспорту, перешкоджає механізації вантажно-розвантажувальних робіт, призводить до

збиткового утримання експлуатаційного штату, ускладнює управління вантажною і поїзною роботою. Тим не менше, для закриття таких станцій необхідно представляти комплексне техніко-економічне обґрунтування. Величезних втрат завдає розвіз на малодіяльні станції вагонів під навантаження чи вивантаження, а також їх прибирання.

Тому в нинішніх умовах на залізничному транспорті все більшої гостроти набуває проблема малодіяльних ділянок залізниці, адже експлуатація малодіяльних ділянок залізниць України завдає ПАТ «Укрзалізниця» достатньо відчутних збитків, що значно підвищує собівартість залізничних перевезень і впливає на конкурентоспроможність залізничного транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує чимало робіт, пов'язаних з визначенням шляхів підвищення ефективності малодіяльних ділянок залізниць. Це питання широко висвітлювалось у публікаціях як вітчизняних, так і зарубіжних вчених.

Наприклад, у своїй статті Каміль Морвант розглядає специфічні проблеми, що виникають при експлуатації залізничної інфраструктури Західної Європи. Саме у Західній Європі спостерігається перевага обсягів пасажирських перевезень над вантажними, що у свою чергу призвело до ускладнення планування залізничних графіків руху. Автор статті дає огляд процесів організації, правил і практики залізничних перевезень і виділяє три ключові проблеми управління для керівництва французьких залізниць при роботі з вантажами: невизначеність середньострокових перспектив розвитку ринку вантажних перевезень на національному рівні; складність у використанні інфраструктури внаслідок різноманітності номенклатури вантажів і товарів, що надаються до перевезення; нерівномірність в обсягах вантажних перевезень, що призводить до необхідності

врахування цього при плануванні перевезень. Ці проблеми притаманні не тільки французьким залізницям, а їх досвід в умовах українських залізниць може бути застосовано для покращення процедур управління вантажними перевезеннями [3].

Ахмет Тортум, Надир Яйла у статті «Моделювання вибору режиму міжміських вантажоперевезень зі штучними нейронними мережами та адаптивної нейронечіткої системи логічного висновку, експертні системи з додатками» описують новий підхід до вибору режиму міжміського моделювання вантажних перевезень з використанням штучних нейронних мереж (ІНС) та адаптивні моделі нейронечіткої системи виведення (ANFIS). Новий підхід поєднує в собі здібності до навчання штучних нейронних мереж і прозорий характер нечіткої логіки. Підхід виявляється вельми адаптивним і ефективним при дослідженні нелінійних відносин між різними змінними. Модель системи логічного висновку адаптивної нейро-нечіткої тестується на ринку вантажних перевезень у Туреччині, Німеччині, Франції та Австрії, використовуючи інформацію про вантажопотоки і їх атрибути. В ІНС і моделі ANFIS успішніші в поданні нелінійного поведіння вибору режиму міжміських вантажних перевезень порівняно з класичними моделями [4].

Щодо вітчизняних вчених, то у своїх роботах Ю.С. Бараш, Д.Г. Сїтутіс розглядають питання реформування залізничного транспорту, наголошують на необхідності приділити особливу увагу економістів «вузьким місцям» залізничних сполучень, до яких належать слабо завантажені дільниці залізничного транспорту [5, 6]. В. І. Пасічник, Ю. Ф. Кулаєв у своїх роботах визначають гостру потребу в розробленні спеціальних методів управління експлуатаційною діяльністю малодіяльних дільниць [7, 8]. Але в зазначених роботах особлива увага приділяється поточному стану

малодіяльних ділянок. На сьогодні не існує чіткої програми щодо шляхів підвищення ефективності роботи малодіяльних ділянок і станцій. Серед них більше за все уваги надається їх закриттю. Проте, з одного боку, їх експлуатація в економічному сенсі в багатьох випадках є нерентабельною через високу собівартість і низький рівень приведенного вантажообігу, а з іншого – відмовитись від їх експлуатації неможливо, оскільки часто вони є єдиним

сполученням на деяких напрямках. Їх закриття призведе до втрати соціального, виробничого зв'язку з певним пасажиро- та вантажоутворюючим пунктом.

Визначення мети та задачі дослідження. Мета даної статті полягає в дослідженні питання щодо залученню додаткових вантажів і впровадження методів підвищення ефективності роботи малодіяльних станцій і ділянок. Вирішення вбачається в методах, поданих на рисунку.



Рис. Методи підвищення роботи малодіяльних ділянок

Розглянемо метод концентрації вантажів на опорних станціях. Цьому питанню присвячена значна кількість досліджень. Цією тематикою займалися М. М. Іваницький, Л. В. Іловайський, О. В. Кизим та інші.

Опорні станції – це станції нового типу, до них належать технічні та вантажні станції, об'єднані з групою лінійних станцій технологічно пов'язаних одна з одною [9]. Опорні станції вирішують такі завдання:

- створення більш ефективного механізму управління станціями з боку дорожнього та регіональних центрів управління перевозками;

- прийняття на себе відповідальності за роботу лінійних станцій, функцій з забезпечення зв'язку з клієнтурою з питань щодо перевезень, розрахунків тощо;

- підготовка кадрів, контроль за безпекою та інше.

Залежно від місцевих умов та економічної доцільності можуть бути використані такі форми концентрації вантажної роботи: часткове закриття станції (на визначений період року), концентрація з окремими видами вантажу (наливні, ліс, мінеральні добрива), концентрація перевезення дрібних відправок, ліквідація малодіяльних під'їзних колій з передачею їх на місця загального користування або створення об'єднаних транспортних господарств для групи підприємств.

Створення опорних станцій нового типу дозволить сформувати нову структуру організації та управління перевізним процесом, вирішити багато експлуатаційних завдань, знизити експлуатаційну вартість, пов'язану зі скороченням маневрових локомотивів, закриттям окремих колій і парків станції, складів, вантажних пристроїв, товарних контор.

Одна з найважливіших складових перевізного процесу – вантажно-розвантажувальні роботи. У процесі переміщення вантажу вони виконуються неодноразово – при прийманні вантажу у клієнта, при перевантаженні з одного виду транспорту на інший, а також при переміщенні його на склад. Саме тому наступним методом підвищення ефективності роботи малодіяльних ділянок є мобільні вантажно-розвантажувальні комплекси. Під мобільним вантажно-розвантажувальним комплексом розуміється підйомно-транспортні, вантажно-розвантажувальні машини, що дозволяють виконувати вантажні операції без потреби стаціонарного обладнання. Це дозволить збільшити продуктивність праці та прискорити оборот вагона, підвищить пропускну спроможність фронтів навантаження та вивантаження рухомого складу. Наприклад, німецькою компанією Windhoff був розроблений і запущений в експлуатацію модульний вантажний дизель-поїзд CargoSprinter. Даний принципово новий мотор-вагонний поїзд (склад з вагонів-платформ з моторними модулями по кінцях) сприяє безперешкодному переходу вантажних поїздів на децентралізовані перевантажувальні станції і під'їзні колії підприємств.

Використання вантажних потягів типу CargoSprinter на ПАТ «Укрзалізниця» може суттєво скоротити час доставки вантажів залізницею. Пропонується використовувати цей вид рухомого складу для розвезення вантажу, що потребує швидкої доставки, а також місцевого вантажу. Курсування таких поїздів на полігоні залізниці по вільних маршрутах між пунктами навантаження і розвантаження (під'їзні колії підприємств, вантажні станції) дозволить використовувати на залізничному транспорті логістичні схеми і принципи, які раніше застосовувались в інших видах транспорту, у першу чергу в автомобільному [10].

Розглянемо наступний метод – логістичні центри. Поняття «логістичний центр» у науковій літературі трактується по-різному. Іноді використовують такі назви, як транспортний центр, логістичний парк, логістичне село (freight village), центр товароруху (Güterverkehrszentrum), логістичний вузол, інтермодальний термінал, інтерпорт та ін. Логістичний центр повинен бути оснащений новітніми системами, що дозволяють скорочувати ланцюг поставок, оптимізувати товарні потоки, підвищувати маневреність поставок. Дана система формує основні та технічні вимоги до складської системи, встановлює цілі та критерії її оптимального функціонування, диктує умови переробки вантажу.

Як свідчить досвід зарубіжних країн, розвиток логістичних центрів може суттєво сприяти додатковому економічному зростанню [11]. Знадобилося лише 10-15 років для того, щоб мультимодальні центри стали ключовою частиною транспортної, виробничої і соціальної інфраструктури в країнах Європи. Ефективність транспортно-логістичних центрів для споживачів (вантажовідправників) полягає у скороченні транспортних і логістичних витрат. Це підтверджує й зарубіжний досвід функціонування логістичних центрів, який свідчить про те, що транспортні витрати скорочуються на 7-20 %, витрати на вантажно-розвантажувальні роботи і зберігання матеріальних ресурсів і готової продукції зменшуються на 15-30 %, запаси матеріальних ресурсів і готової продукції – на 50 %, загальні логістичні витрати – на 12-35 %, а також прискорюється оборотність матеріальних ресурсів на 20-40 % [12].

Для ефективного функціонування логістичних центрів існує ряд найважливіших аспектів:

- інтермодальність: зв'язок різних видів транспорту для швидкої перевалки;
- багатфункціональність: транспорт і логістика представлені через перевізників, експедиторів, агентів, вантажників,

брокерів, митних брокерів, уповноважених осіб (порт, митниця);

- обробка інформації: доступ до телематичної системи, яка пов'язана з управлінням транспортом і ланцюгом постачань;

- обробка вантажу: широкий асортимент обладнання для обробки вантажів, тобто розподіл, комбіновані контейнери і місця для зберігання, розміщення тощо;

- доступність: для державних і приватних компаній, щоб знайти і/або використовувати інформацію центру;

- міжгалузевий: інтегрована співпраця з діловим сектором, що обслуговується;

- розподіл витрат: надання послуги зберігання, використання ІТ-систем, розвиток послуг і знань;

- послуги: упаковка, митне оформлення, АЗС з об'єктами миття автомобілів, дослідницька діяльність.

Тож розвиток логістичних центрів значно впливає на територіальний та економічний розвиток, а саме удосконалює, з погляду логістики, транспортну та складську діяльність, а також здійснює контроль транспортних витрат і підвищує конкурентоспроможність промислової продукції. Таким чином, центр сприяє створенню привабливих умов для компаній і галузей, які хотіли б бути частиною транспортного центру.

Аналіз форми статистичної звітності ЦО-4, показує, що на значній їх кількості (до 15,21 % протяжності мереж (таблиця) кількість вантажних поїздів не перевищує 1-2 за добу.

Таблиця

Кількість і структура дільниць на залізничному транспорті

Назва залізниці	ДН-1		ДН-2		ДН-3		ДН-4		ДН-5		Всього		Питома вага МДД, %
	Всього	МДД	Всього	МДД	Всього	МДД	Всього	МДД	Всього	МДД	Всього	МДД	
Придніпровська	20	1	18	1	15	2	13	0	0	0	66	4	6,06
Південна	5	2	22	1	5	1	16	0	7	0	55	4	7,27
Південна-Західна	19	3	23	8	24	3	14	2	19	9	99	25	25,25
Одеська	44	2	19	11	19	0	14	2	0	0	96	15	15,63
Львівська	32	6	15	1	22	5	31	6	18	0	118	18	15,25
Укрзалізниця	120	14	97	22	85	11	88	10	4	9	434	66	15,21

З наведеного випливає, що на 15,21 % експлуатаційної довжини мережі залізниць України обґрунтування доцільності функціонування малодіяльних залізниць повинно базуватись на розрахунках величини доходу і витрат. Показник собівартості перевезень залежить від обсягів перевезен-

ня, собівартість при збільшенні обсягів перевезень має тенденцію до скорочення.

Експлуатаційні витрати (E) розраховуються за формулою

$$E = E_{пк} + E_p * L$$

де $E_{пк}, E_p$ – відповідно витрати на початково-кінцеві операції та витрати руху, грн;

L – відстань, км.

Собівартість перевезень

$$A = \frac{e_{пк}}{L} + e_p$$

де $e_{пк}, e_p$ – відповідно собівартість на початково-кінцеві операції та витрати руху, грн.

У цілому наведені дані показують, що на рівень собівартості перевезень впливають розмір транспортних засобів, їх потужність. Однією з важливіших причин низької собівартості є велика потужність транспортних засобів, їх великі розміри. Важливим фактором дешевизни залізничних перевезень є високий рівень продуктивності праці, пов'язаний у першу чергу з вже розглянутими факторами: велика потужність технічних засобів і масовий характер перевезень. При більш високій вантажо-напруженості витрати, що залежать від руху, розподіляються на більшу кількість тонно-кілометрів, і це знижує рівень собівартості. Прискорення обороту рухомого складу дозволяє виконати задані перевезення з меншою кількістю локомотивів і вагонів. Зменшення витрат за всіма цими статтями викликає скорочення транспортних витрат, а при однаковому обсязі перевезень призводить до зниження собівартості тонно-кілометра, особливо на малодіяльних ділянках.

Висновки. Наведене вище свідчить, що експлуатація малодіяльних залізниць України завдає ПАТ «Укрзалізниця» відчутних збитків та чималих труднощів організаційно-управлінського характеру. Та перш ніж закривати малодіяльні ділянки і станції, необхідно якомога більше зусиль направити на збільшення обсягів роботи на них, оскільки ефективне функціонування малодіяльних ділянок залізниць впливає не тільки на стійкий соціально-економічний розвиток промисловості, а й має загальнодержавні та загальнонаціональні значення, бо ці ділянки розташовані в так названих депресивних регіонах, де обмежена кількість робочих місць, високий рівень безробіття, невелика підприємницька активність. Для таких районів забезпечення транспортним обслуговуванням є однією з головних умов економічного зростання.

Зважаючи на необхідність формування в Україні ефективної та конкурентоспроможної системи залізничного транспорту, виявляється вкрай необхідним стратегічне позиціонування та досягнення економічної рівноваги. Вважається, що саме ці методи найповніше відповідають ринковим вимогам і враховують світові тенденції розвитку залізничного транспорту. Запропоновані методи підвищення ефективності функціонування малодіяльних ділянок і станцій неодмінно збільшать ефективність, рентабельність даних ділянок, зацікавлять нових клієнтів, що у свою чергу позитивно вплине на соціально-економічний розвиток залізниці та її конкурентоспроможність.

Список использованных источников

1. Зоріна, О. І. Методичний підхід до визначення малодіяльності залізничних ділянок [Текст] / О.І. Зоріна // Залізничний транспорт: Зб. наук. праць ДЕУТ. Сер. Економіка і управління. – 2010. – Вип. 16. – С. 196.
2. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]. – Харків: Індустрія, 2007. – 120 с.

3. Camille Morvant, Challenges raised by freight for the operations planning of a shared-use rail network // A French perspective, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 73, March 2015, P. 70-79, ISSN 0965-8564. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2014.12.003>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856414002894>).
4. Ahmet Tortum, Nadir Yayla, Mahir Gökdağ, The modeling of mode choices of intercity freight transportation with the artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system // Expert Systems with Applications, Vol. 36, Issue 3, Part 2, April 2009. – P. 6199-6217. ISSN 0957-4174. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2008.07.032>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417408004697>).
5. Бараш, Ю. С. Управління залізничним транспортом країни [Текст]: монографія / Ю. С. Бараш. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2006. – 252 с.
6. Ейтутис, Г. Д. Теоретико-практичні основи реформування залізниць України [Текст]: монографія / Г. Д. Ейтутис. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект- Поліграф», 2009. – 240 с.
7. Пасічник, В. І. Теоретичні основи економіки експлуатаційної діяльності залізниць [Текст]: монографія / В. І. Пасічник. – К.: Наук. світ, 2003. – 222 с.
8. Кулаєв, Ю. Ф. Економіка залізничного транспорту [Текст]: навч. посібник / Ю. Ф. Кулаєв. – 2-е вид., переробл. і допов. – К.: «Фенікс», 2012. – 240 с.
9. Иваницкий, Н. М. Концентрация грузовой работы в современных условиях [Текст] / Н. М. Иваницкий, А. Ф. Котляренко // Железнодорожный транспорт. – 1995. – №11. – С. 2-6.
10. Поезд CargoSprinter и развитие его концепции [Электронный ресурс] / Ch. Wessels. Eisenbahningenieur, 1999, N 9, S. 70- 72. – Режим доступа: www/URL:http://CSS-rsd.ru/ZDM/04-rood-9199.htm. – Загл. с экрана.
11. Альбеков, А. У. Современные логистические технологии и стратегии [Текст] / А. У. Альбеков. – Ростов н/Д: Изд-во РГЭУ (РИНХ), 2010. – 353 с.
12. Сергеев, В. И. Логистика в бизнесе [Текст] / В. И. Сергеев. – М.: ИНФРА-М, 2001. – 587 с.

Ломотко Денис Вікторович, доктор техн. наук, академік, професор, кафедра транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: lomotko.denis@gmail.com.
Носко Наталя Андріївна, аспірант кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: natasha-timashova92@mail.ru. Тел. 050-62-88-530.

Lomotko Denys Viktorovich, Doctor of Engineering, professor, Academician of the Ukrainian State University of Railway Transport, Department of Transport Systems and Logistics. E-mail: lomotko.denis@gmail.com.
Nosko Natalia A., postgraduate Ukrainian State University of Railway Transport, Department of Transport Systems and Logistics. E-mail: natasha-timashova92@mail.ru. Tel. 050-62-88-530.

Стаття прийнята 12.12.2016 р.

УДК 621.314

СТАБИЛИЗАЦИЯ И АКТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ВЫПРЯМЛЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ЗАМКНУТОЙ СТРУКТУРЕ

Ассист. Ю. А. Семененко

СТАБІЛІЗАЦІЯ ТА АКТИВНА ФІЛЬТРАЦІЯ ВИПРЯМЛЕНОЇ НАРУГИ В ЗАМКНЕНІЙ СТРУКТУРІ

Асист. Ю. О. Семененко

STABILIZATION AND ACTIVE FILTERING OF THE RECTIFIED VOLTAGE IN THE CLOSED STRUCTURE

Assistant Y. O. Semenenko

В данном исследовании решено актуальное научно-техническое задание по совершенствованию методов улучшения электромагнитной совместимости системы тягового электроснабжения постоянного тока со смежными электроустановками и повышения качества энергии питания электрического подвижного состава железных дорог.

В процессе исследований установлено, что для обеспечения эффективной фильтрации и стабилизации напряжения на выходе тяговых подстанций постоянного тока целесообразно применять в выпрямительных установках активные фильтры-стабилизаторы последовательного типа на базе емкостного накопителя энергии с повышенной частотой широтно-импульсной модуляции.

Обоснованность результатов исследований была подтверждена экспериментально с помощью имитационного компьютерного моделирования.

Ключевые слова: активный фильтр-стабилизатор, преобразовательный агрегат, емкостной накопитель энергии, широтно-импульсная модуляция, импульсное напряжение.

У даному дослідженні вирішено актуальне науково-технічне завдання щодо вдосконалення методів покращення електромагнітної сумісності системи тягового електропостачання постійного струму з суміжними електроустановками і підвищення якості енергії живлення електричного рухомого складу залізниць.

У процесі досліджень встановлено, що для забезпечення ефективної фільтрації і стабілізації напруги на виході тягових підстанцій постійного струму доцільно застосовувати у випрямних установках активні фільтри-стабілізатори послідовного типу на базі ємнісного накопичувача енергії з підвищеною частотою широтно-імпульсної модуляції.

Обґрунтованість результатів досліджень була підтверджена експериментально за допомогою імітаційного комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: активний фільтр-стабілізатор, перетворюючий агрегат, ємнісний накопичувач енергії, широтно-імпульсна модуляція, імпульсна напруга.

In this study, it decided the current scientific and technical project on improving the methods for improving the electromagnetic compatibility of the system of traction power supply of direct current to the adjacent electrical installations and improve the quality of electric energy supply of railway rolling stock.

During the study found that for effective filtration and stabilization of the voltage at the output of the DC traction substations it is advisable to apply rectifier Active Filter Settings stabilizers serial type based on capacitive energy storage with high frequency pulse-width modulation. In practice, the operation of electric power systems of transport, the use of passive filtration method has some significant drawbacks, which requires finding more effective methods. The use of passive filter to suppress low frequency harmonics noncanonical is impractical due to significant growth of mass and size parameters.

The validity of research results was confirmed experimentally using simulation computer simulation.

Keywords: *active filter-regulator, the converter unit, a capacitive energy storage, pulse width modulation, pulse voltage.*

Введение. Улучшение электромагнитной совместимости системы тягового электроснабжения постоянного тока со смежными электроустановками и качественное питание электрического подвижного состава на участках с интенсивным и скоростным движением может быть обеспечено при эффективной фильтрации и стабилизации напряжения на выходе тяговой подстанции.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ активных методов фильтрации посвящен целый ряд работ, в которых показана оптимальность применения в мощных системах питания [1-4]. Сравнительный анализ эффективности использования фильтров показывает, что применение пассивных фильтров целесообразно только для подавления канонических гармоник [2]. Применение пассивных фильтров для подавления низкочастотных неканонических гармоник нецелесообразно из-за значительного роста их массогабаритных показателей. Повышение степени фильтрации пульсации достигается применением комбинированных активных систем, которые представляют собой комбинацию соединенных по определенной схеме пассивного и активного звена фильтра [5-7].

Определение цели и задачи исследований. Цель и задача исследований заключается в обеспечении необходимой фильтрации и стабилизации выпрямленного напряжения. Это возможно решить путем применения вольтодобавочных

преобразователей на базе трехфазных выпрямителей напряжения с ШИМ на быстродействующих ключах [6-9].

Основная часть исследования.

Предлагается применить в выпрямительной установке тяговой подстанции активный фильтр-стабилизатор последовательного типа на базе емкостного накопителя энергии, схема которого приведена на рис. 1.

Как видно из схемы, активный фильтр-стабилизатор АФС включен последовательно с выпрямительной установкой ВУ тяговой подстанции, которая представляет собой двенадцатипульсный выпрямитель. Система управления СУ АФС (рис. 1) с другими элементами схемы образует замкнутую систему автоматического регулирования, которая обеспечивает активную фильтрацию и стабилизацию выходного напряжения подстанции.

Схема АФС похожа на схемы активных фильтров последовательного типа, которые были предложены в работах [6, 7]. Как и указанные фильтры, АФС построен на базе емкостного накопителя энергии C_n (рис. 1), включенного в диагональ мостового коммутатора. Схема коммутатора (преобразователя) АФС упрощена по сравнению с коммутаторами упомянутых активных фильтров: в нем два управляемых ключа (тиристорный VS на базе $IGCT$ и транзисторный VT на базе $IGBT$), другие два ($VD1$ и $VD2$) являются неуправляемыми ключами. Главное же

отличие заключается в том, что в АФС для заряда C_n дополнительно предусмотрен выпрямитель заряда ВЗ, мощность которого составляет 10 % мощности основной ВУ, и эта дополнительная

энергия нужна для того, чтобы обеспечивать более эффективную фильтрацию, а главное стабилизацию среднего значения выходного напряжения $U_{с0}$ тяговой подстанции.

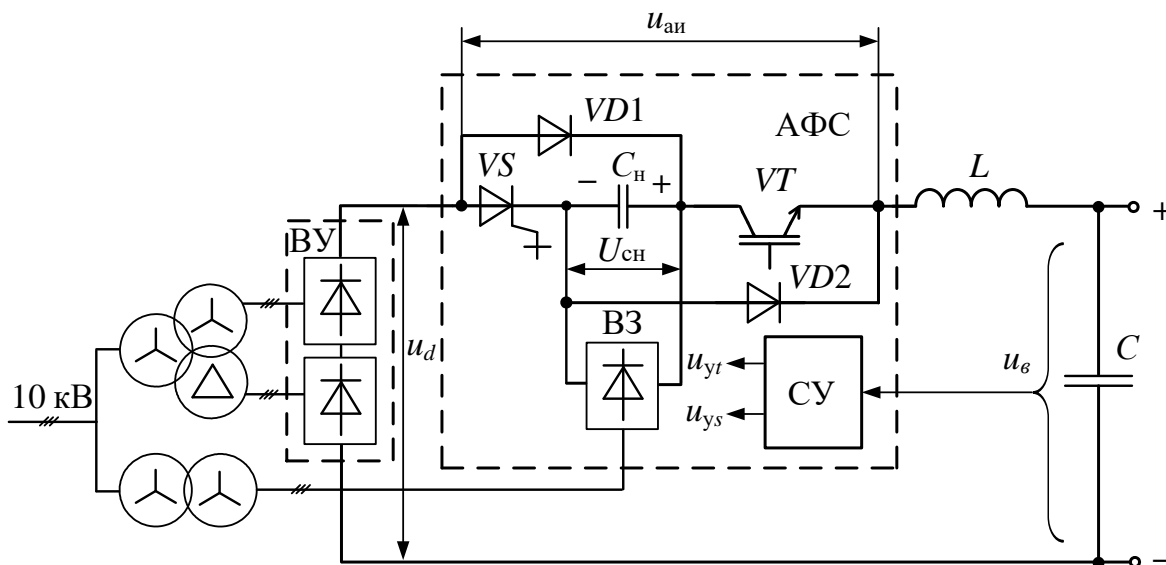


Рис. 1. Схема активного фильтра-стабилизатора последовательного типа

В предлагаемой схеме преобразователь напряжения АФС с напряжения $U_{сн}$ формирует импульсное напряжение $u_{ан}$, как показано на рис. 2. С этого напряжения LC -

фильтром выделяется совокупность усредненных на периоде ШИМ значений – гладкая составляющая, показанная штриховой линией на рис. 2 и обозначенная $u_{сг}$.

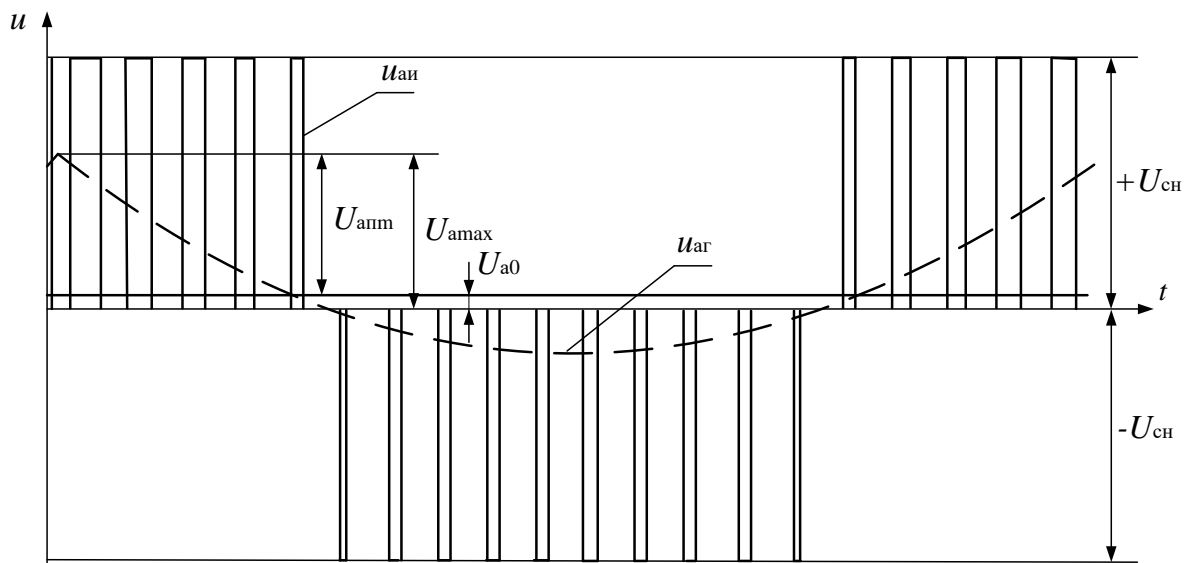


Рис. 2. Диаграмма выходного напряжения активного фильтра-стабилизатора

Напряжение $u_{ар}$ содержит переменную составляющую $u_{ап}$, повторяющую форму и противофазную переменной составляющей выпрямленного напряжения $u_{дп}$, поскольку она сформирована для его подавления. Кроме этого, напряжение $u_{ар}$ имеет и постоянную составляющую $U_{а0}$, которая формируется для стабилизации напряжения на выходе тяговой подстанции [8-12].

Для формирования импульсов напряжения положительной полярности $u_{ан}$ с амплитудой, которая равна напряжению $U_{сн}$, включается тиристорный ключ VS и транзисторный ключ VT преобразователя АФС. При формировании паузы ключ VT выключается, диодный ключ $VD2$ естественно включается и проводит ток вместе с ключом VS . Для изменения знака напряжения $u_{ан}$ ключ VS выключается, а включается низкочастотный диодный ключ $VD1$. При выключении VT естественно включается диодный ключ $VD2$ и вместе с ключом $VD1$ формирует импульсы отрицательной полярности с амплитудой $-U_{сн}$. Для формирования нулевой паузы ключ VT преобразователя включается, закрывая при этом ключ $VD2$, и проводит ток вместе с $VD1$. Преобразователь АФС действует одновременно как инвертор напряжения с однополярной ШИМ при формировании переменной составляющей напряжения $u_{ап}$ и как широтно-импульсный преобразователь при формировании постоянной составляющей $U_{а0}$.

При анализе работы АФС пренебрежем активными потерями в LC -фильтре и ВУ. На конденсаторе LC -фильтра с выходного напряжения выпрямителя u_d и отфильтрованного от гармоник с частотой ШИМ гладкой составляющей напряжения АФС $u_{ар}$ формируется выходное напряжение подстанции u_b , определяемое соотношением для схемы (рис. 1)

$$u_b = u_d + u_{ар} + L \frac{di}{dt}, \quad (1)$$

где $L \frac{di}{dt}$ – напряжение на индуктивности реактора L пассивного фильтра.

Выходное напряжение подстанции u_b практически не содержит переменной составляющей, поскольку переменная составляющая напряжения выпрямительной установки $u_{дп}$ компенсируется напряжением $u_{ап}$. Качественное формирование напряжения компенсации достигается применением в преобразователе АФС повышенной частоты ШИМ и емкостного накопителя с низким уровнем пульсации напряжения питания. Таким образом, в установившемся режиме выходное напряжение подстанции будет равно

$$U_{b0} = U_{d0} + U_{а0}. \quad (2)$$

Для анализа основных параметров преобразователя напряжения АФС нужно определить амплитудное значение напряжения $u_{ар}$, которое обозначено U_{amax} на рис. 2. Это значение определяется как сумма постоянной составляющей напряжения $U_{а0}$, которая равна отклонению среднего значения выпрямленного напряжения ΔU_{d0} от заданного (номинального), и амплитуды положительной полуволны переменной составляющей $U_{анм}$ (рис. 2), значение которой равно амплитуде отрицательной полуволны переменной составляющей выпрямленного напряжения $U_{днм}$.

При условии симметрии питающего ВУ трехфазного напряжения и нулевой угле коммутации диодов, если совместить середину отрицательной полуволны переменной составляющей выпрямленного напряжения с началом координат, то зависимость $u_{дп}(\omega t)$ превратится в четную функцию, которая при разложении в ряд Фурье содержит только косинусные составляющие

$$u_{d\pi}(\omega t) = \sum_{k=m}^{\infty} U_{dk \max} \cos k\omega t, \quad (3)$$

где $k = qm$, – номер канонической гармоники выпрямленного напряжения u_d ; $m = 12$ – пульсность ВУ; $q = 1, 2, 3, \dots$; $U_{dk \max}$ – амплитуда k -й канонической гармоники напряжения u_d .

При значении угловой координаты $\theta = \omega t = \frac{(2n \pm 1)\pi}{m}$, где $n = 0, 1, 2, \dots$, когда

$$U_{a \max} = U_{a0} + U_{апм} = \Delta U_{d0} + \Delta U_{d\gamma} + \sum_{k=m}^{\infty} U_{dk \max} + \sum_{v=2}^{\infty} U_{dv \max}, \quad (5)$$

где ΔU_{d0} – снижение постоянной составляющей выпрямленного напряжения, вызванное снижением напряжения питания ВУ;

$\Delta U_{d\gamma}$ – снижение выпрямленного напряжения, обусловленное наличием угла коммутации диодов ВУ;

$U_{dv \max}$ – амплитуда v -ой неканонической гармоники напряжения u_d .

Как видно из формулы (5), для определения значения напряжения $U_{a \max}$ необходимо учесть снижение среднего значения выпрямленного напряжения ΔU_{d0} , которое пропорционально снижению напряжения питания ВУ, а

$\cos k\omega t = -1$, модуль амплитуды $U_{d\pi m}$ определяется из формулы (3) как сумма амплитуд напряжений канонических гармоник

$$|U_{d\pi m}| = \sum_{k=m}^{\infty} U_{dk \max}. \quad (4)$$

Для определения $U_{d\pi m}$ к суммы из формулы (4) при несимметрии напряжения питания ВУ необходимо добавить еще амплитуду суммарного напряжения неканонических гармоник

также снижение напряжения U_{d0} , обусловленное наличием угла коммутации диодов [9]:

$$\Delta U_{d\gamma} = U_{d0} \frac{I_d}{I_{dном}} u_k \sin \frac{\pi}{m}, \quad (6)$$

где $\frac{I_d}{I_{dном}} = I_d^*$ – относительное значение тока ВУ;

u_k – условное напряжение короткого замыкания [9].

Для определения амплитуд неканонических гармоник выпрямленного напряжения используем систему уравнений

$$\bar{U}_v = \begin{cases} \frac{-\varepsilon}{v-1} \cos\left(\frac{v-1}{2}\gamma_0\right) e^{-j\left[(1-v)\left(\alpha_0 + \frac{\gamma_0}{2}\right) - \psi_2\right]}, & \text{для } v = 2(1+3k) \\ \frac{\varepsilon}{v+1} \cos\left(\frac{v+1}{2}\gamma_0\right) e^{-j\left[(1+v)\left(\alpha_0 + \frac{\gamma_0}{2}\right) + \psi_2\right]}, & \text{для } v = 2(2+3k). \end{cases} \quad (7)$$

Анализ уравнения (5) показывает, что амплитудное значение U_{amax} достигает максимума при минимальном напряжении

питания ВУ и максимальной нагрузке, как показано на графике рис. 3.

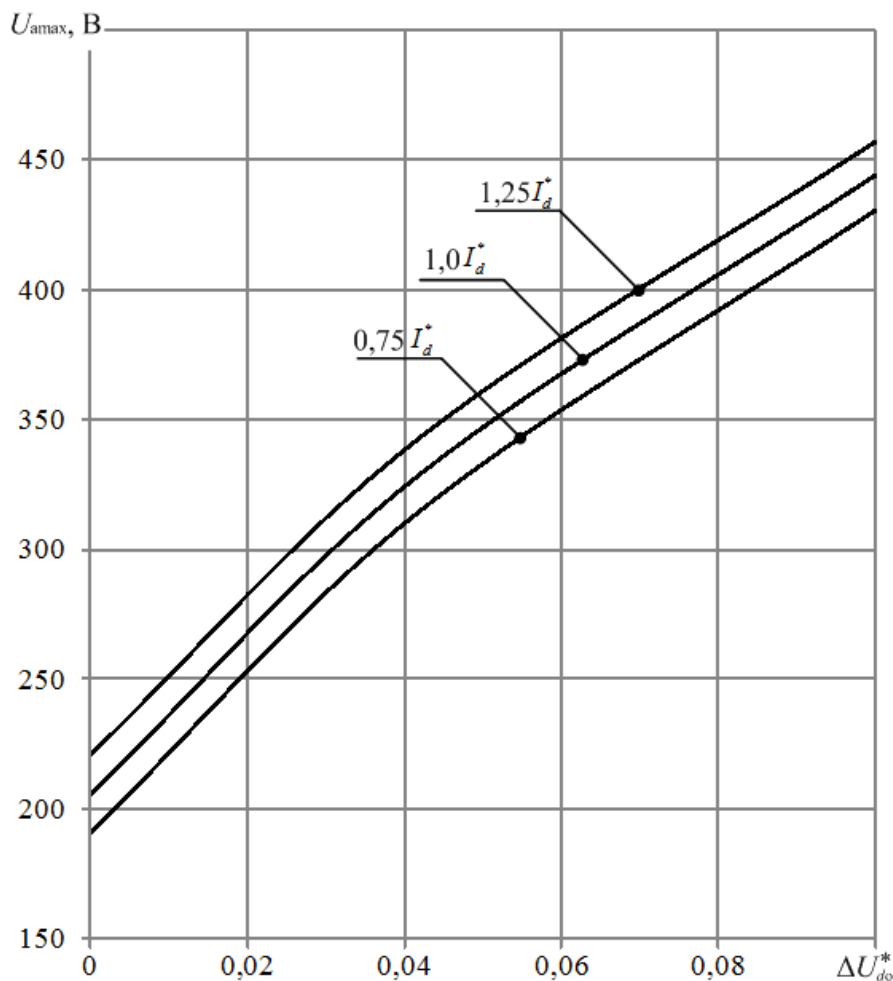


Рис. 3. Зависимость значения напряжения U_{amax} от снижения постоянной составляющей выпрямленного напряжения ΔU_{d0}^*

При построении графика было принято, что максимальная нагрузка соответствует значению тока ВУ I_d^* 0,75; 1,0 и 1,25, а минимальное напряжение питания ВУ на 10 % ниже номинального [7-11]. При заданном номинальном значении выходного напряжения подстанции $U_{\text{в0ном}} = 3300$ В для АФС в составе преобразовательного агрегата с двенадцатипульсной схемой ВУ согласно уравнению

(6) максимальное значение $U_{\text{amax}} = 460$ В (рис. 3).

Емкостной накопитель энергии C_H заряжается током ВЗ, а также током основной ВУ при формировании полуволны напряжения u_{ag} отрицательной полярности. Для качественного формирования напряжения u_{ag} накопитель должен быть заряжен до напряжения несколько больше U_{amax} . Выполним оценочный расчет емкости накопителя

енергии без учета заряда током основной ВУ при формировании импульсов напряжения $u_{ан}$ отрицательной полярности:

$$C_n = \frac{I_{зп}}{\omega k_{пу} U_{сн}}, \quad (8)$$

где $I_{зп}$ – переменная составляющая тока заряда емкостного накопителя;

ω – частота пульсации напряжения емкостного накопителя энергии;

$k_{пу}$ – коэффициент пульсации напряжения (для фильтровых конденсаторов принимают не более 0,04-0,05).

Определив переменную составляющую тока заряда $I_{зп}$, получаем согласно уравнению (8) емкость $C_n = 0,1$ Ф. Эту емкость батареи накопителя энергии реализовать не очень сложно, применив, например, конденсаторы фирмы

Electronicon Semicode E50.R29 на 2000 мкФ каждый и напряжение 900 В [10-12]. Как преимущество АФС можно отметить то, что для его преобразователя необходимы два неуправляемых и два управляемых ключа, и только один из них на базе *IGBT*. Для реализации вольтодобавочных выпрямителей напряжения с ШИМ [11-12], выполняющих такую же задачу и имеющих такую же мощность, нужны шесть ключей на *IGBT*, последовательно соединенных с диодами, которые защищают транзисторы от обратного напряжения.

Предложена замкнутая система выпрямительного агрегата подстанции с активным фильтром-стабилизатором, представленная на рис. 4, которая должна обеспечивать автоматическое регулирование выходного напряжения с целью его стабилизации и подавления пульсации.

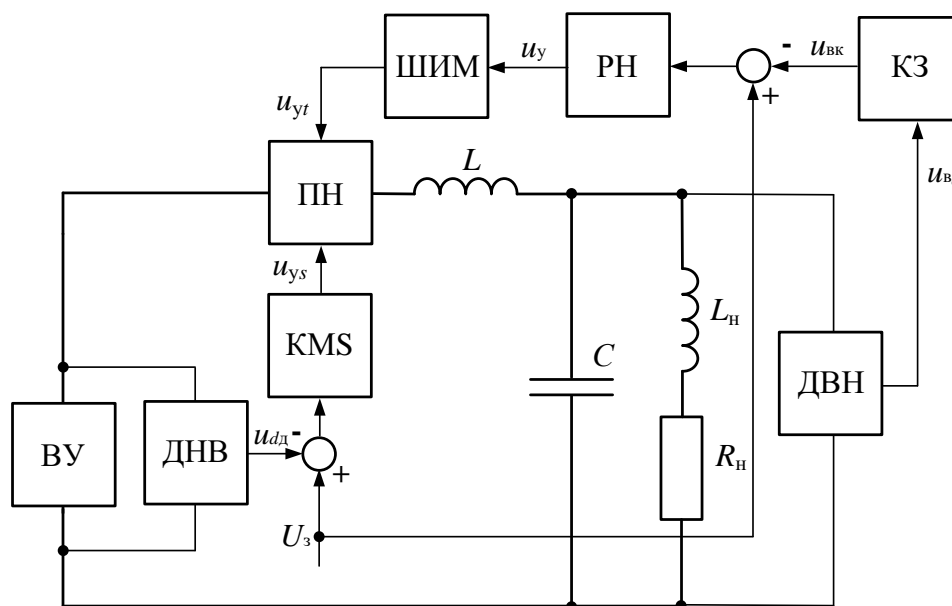


Рис. 4. Замкнутая система автоматического регулирования выходного напряжения

В замкнутой системе автоматического регулирования датчик выходного напряжения ДВН передает сигнал о постоянной и переменной составляющих

выходного напряжения подстанции. От ДВН сигнал $u_{вд}$ подается на корректирующее звено КЗ, после чего сигнал $u_{вк}$, как сигнал отрицательной

обратной связи по напряжению, сравнивается с напряжением задания U_3 на входе регулятора напряжения РН (рис. 4). Разностный сигнал ($U_3 - u_{BK}$) содержит постоянную и переменную составляющие, несущие информацию об отклонении от заданного выходного напряжения U_{BO} и о пульсации этого напряжения u_{BP} . Регулятор напряжения РН вырабатывает сигнал управления u_y , по которому преобразователем напряжения ПН формируется компенсирующее напряжение с целью стабилизации и подавления переменной составляющей выходного напряжения тяговой подстанции.

Импульсы управления транзисторным ключом u_{yt} преобразователя АФС вырабатываются широтно-импульсным

модулятором ШИМ. С помощью датчика напряжения выпрямителя ДНВ информация о мгновенном значении выходного напряжения двенадцатиимпульсной выпрямительной установки ВУ $u_{дд}$ подается на схему сравнения, где оно сравнивается с напряжением задания U_3 . Компаратор КМС преобразует результирующий сигнал в импульсный сигнал управления тиристорным ключом u_{ys} преобразователя АФС.

Для проверки и подтверждения достоверности результатов теоретических исследований была разработана имитационная компьютерная модель активного фильтра-стабилизатора последовательного типа в среде MATLAB (рис. 5).

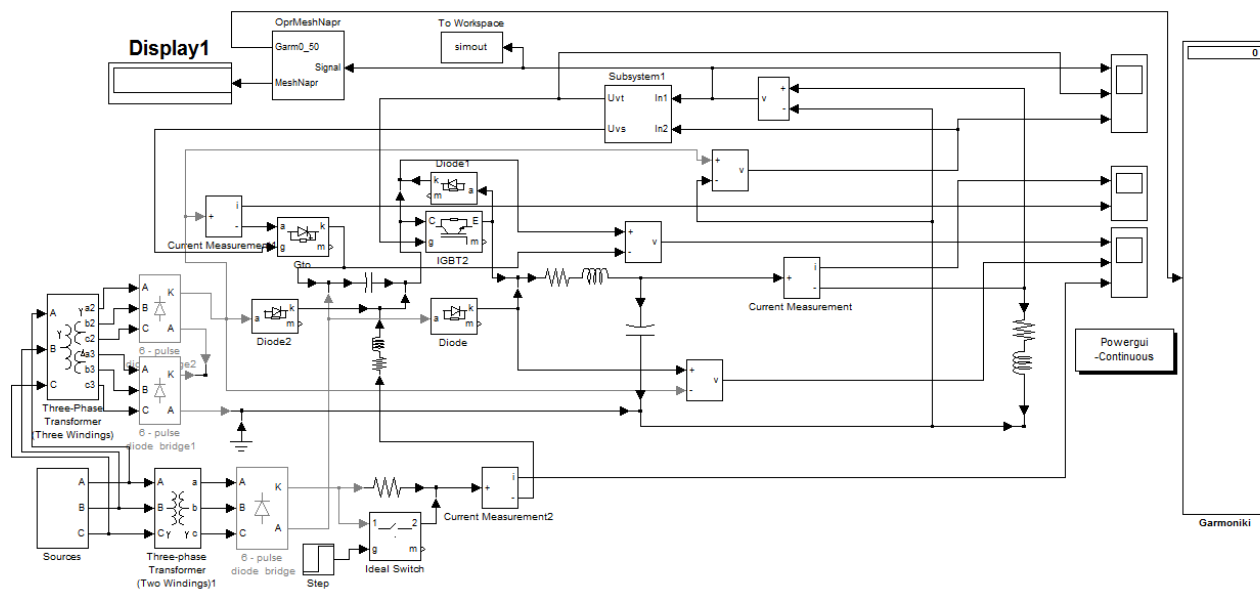


Рис. 5. Имитационная компьютерная модель активного фильтра-стабилизатора последовательного типа в среде MATLAB

На рис. 6 представлены графики, где кривая (а) соответствует напряжению на нагрузке без активного фильтра-стабилизатора, а кривая (б) – при замкнутой обратной связи и работе активного фильтра-стабилизатора. Из рис. 6 видно, что наличие несимметрии входного

напряжения выпрямителя приводит к появлению неканонических гармоник в выпрямленном напряжении. При работе схемы с разомкнутой обратной связью относительная амплитуда субгармоник частотами 100 Гц и 200 Гц равна соответственно 2,5 % и 2,4 %, коэффициент

пульсаций THD = 3,94 %, а эквивалентное мешающие напряжение $U_{эм} = 15,78$ В. При замкнутой обратной связи относительная амплитуда субгармоники частотами 100 Гц

равен 0,03 %, а эквивалентное мешающие напряжение $U_{эм} = 0,35$ В.

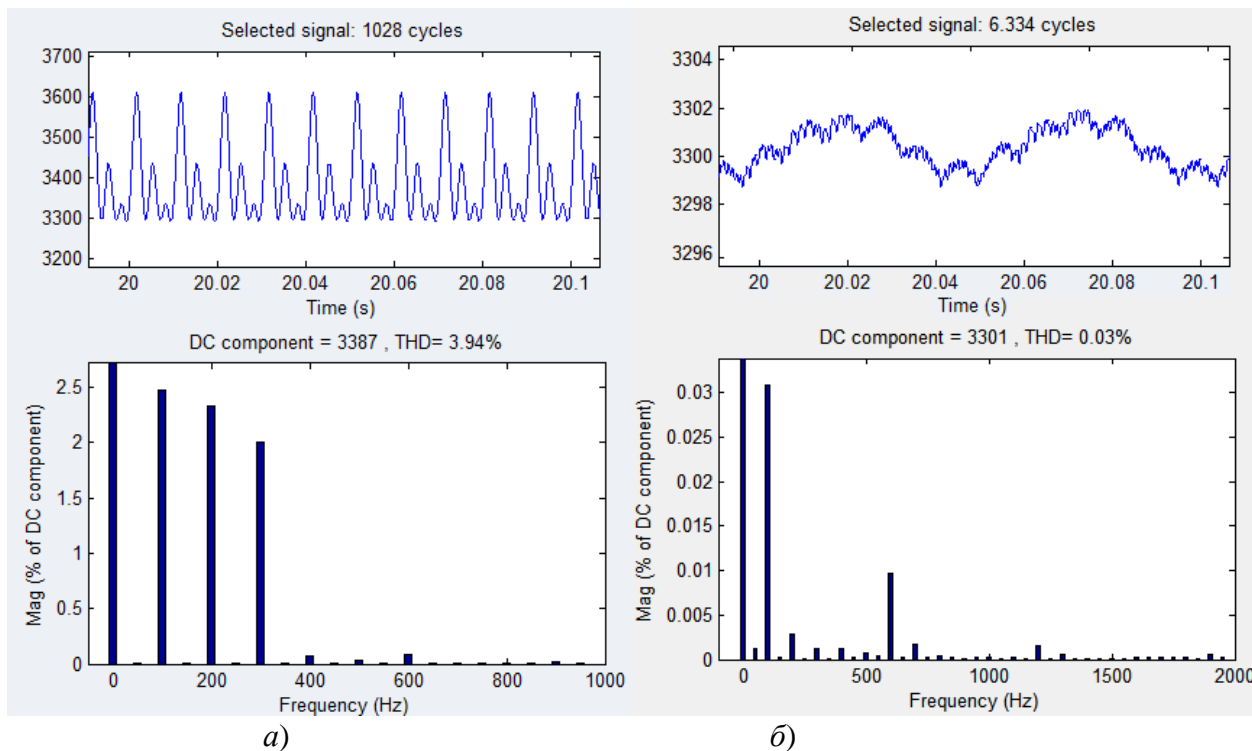


Рис. 6. Графики напряжения нагрузки без активного фильтра-стабилизатора (а) и с ним (б)

Выводы. Для повышения эффективности работы выпрямительной установки тяговой подстанции постоянного тока на участках с интенсивным и скоростным движением целесообразно применение активного фильтра-стабилизатора последовательного типа на базе емкостного накопителя энергии, что обеспечивает снижение пульсаций выходного напряжения в широком диапазоне частот, а

также позволяет поддерживать стабильный уровень выходного напряжения тяговой подстанции постоянного тока. Количество силовых ключей АФС, потери энергии и стоимость при этом будут ниже, чем у вольтодобавочных преобразователей на базе трехфазных выпрямителей напряжения с ШИМ, а качество выходного напряжения выпрямительной установки будет выше.

Список использованных источников

1. Ana Vladan Stankovic, Thomas A. Lipo, A Novel Control Method for Input Output Harmonic Elimination of the PWM Boost Type Rectifier Under Unbalanced Operating Conditions, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 16, NO.5, 2001, 603 – 611.
2. Design considerations for maintaining DC side voltage of hybrid active power filter with injection circuit/ A.Luo, Z.Shuai, J.Shen [et. al.] // Power Electronics, IEEE Transactions. – 2009. – vol. 24. – P. 75-84.

3. Самсонкин, В. М. Энергоэффективный преобразовательный агрегат с функциями фильтрации гармоник выходного напряжения тяговой подстанции системы электроснабжения постоянного тока напряжения 3 кВ [Текст] / В.М. Самсонкин, М.В. Панасенко, Ю.П. Гончаров, В. В. Божко. – Дніпропетровськ: Вісник ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, 2008. – Вип. 20. – С. 66-72.
4. Гончаров, Ю. П. Тяговий випрямляч з реверсивним вольтододатком на двохоперативних напівпровідникових приладах [Текст] / Ю.П. Гончаров, М.В. Панасенко, В.В. Божко. – К.: Технічна електродинаміка. Інститут електродинаміки НАН України, 2008. – Ч.2. – С. 16-21.
5. Правила улаштування системи тягового електропостачання залізниць України [Текст]: № ЦЕ-0009. – К.: ТОВ „Швидкий рух”, 2005. – 80 с.
6. Семененко, О. І. Підвищення ефективності системи тягового електропостачання постійного струму [Текст] / О.І. Семененко, Ю.О. Семененко // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 153. – С. 47-54.
7. Гончаров, Ю. П. Система електроснабження контактної мережі постійного струму з продольною лінією підвищеного напруги [Текст] / Ю.П. Гончаров, Н.В. Панасенко, В.Н. Козачок [и др.] // Вісник ДНУЗТ. – Дніпропетровськ, 2008. – С. 42-48.
8. Ling Su, Dong-yuan Zhao, Jian-ye Chen, Zan-ji Wang. Digital controller for hybrid filter in HVDC based on approximate inverse system. *Frontiers Of Electrical And Electronic Engineering In China*. – 2005. – Vol. 1. – № 4. – P. 367-370.
9. G.T. Heydt, Y. Liu, “Second harmonic components in power system voltages and currents”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 20, No. 1, January 2006, P. 521-523.
10. Барковский, Б. С. Двенадцатипульсные полупроводниковые выпрямители тяговых подстанций [Текст] / Б. С. Барковский, Г. С. Магай, В. П. Маценко [и др.]; под ред. М.Г. Шалимова. – М.: Транспорт, 1990. – 127 с.
11. Семененко, О. І. Випрямний агрегат тягової підстанції з вольтододавальною перетворювачем з широтно-імпульсною модуляцією на базі ємнісного накопичувача енергії [Текст] / О. І. Семененко, Ю. О. Семененко // Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: матеріали 78-ї між нар. наук.-тех. конф. 26 — 28 квітня 2016 р.: у зб. наук. праць Укр. держ. універ. заліз. тр-ту. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 160, дод. – С. 49-50.
12. Пристрій для компенсації пульсацій вихідної напруги перетворювача електричної енергії [Текст]: пат. № 107897, Україна, МПК H02M 1/14 / Щербак Я.В., Семененко Ю.О., Івакіна К.Я.; заявник і власник патенту на корисну модель Український державний університет залізничного транспорту. – № a201512718; заяв. 23.12.2015; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12. – С. 4.
13. Семененко, Ю. О. Випрямна установка тягової підстанції постійного струму з активним фільтром-стабілізатором [Текст] / Ю. О. Семененко // «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», 29-та міжн. наук.-практ. конф. 27–29 вересня 2016 р. – Чорноморськ, 2016. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2016. № 4 (119) Дод. – С.
14. Обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць технічне обслуговування та ремонт привила [Текст]: № ЦЕ-0045, затв. наказом Укрзалізниці від 28.07.2014 р. № 441-Ц/од. Інструкція. – К.: 2016. – 57 с.

Семененко Юрій Олександрович, асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-74. E-mail: slider2012@i.ua.

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

Стаття прийнята 12.12.2016 р.

УДК 656.225:629.21

РОЗРОБЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ РУХОМИМ СКЛАДОМ ОПЕРАТОРОМ ІНФРАСТРУКТУРИ В РИНКОВИХ УМОВАХ РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ

Асп. Д. В. Арсененко

РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ ОПЕРАТОРОМ ИНФРАСТРУКТУРЫ В РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

Асп. Д. В. Арсененко

DEVELOPING THE MANAGEMENT MODEL OF ROLLING STOCK INFRASTRUCTURE OPERATOR IN THE INDUSTRY MARKET CONDITIONS

Post graduate D.V. Arsenenko

Розроблено алгоритм і процедуру управління розподілення залізничного рухомого складу. Створено перелік необхідних умов, за яких має існувати динамічний розвиток транспортної галузі та відповідати сучасним ринковим вимогам. Запропоновано динамічну модель, що відтворює інформаційне поле для усіх учасників перевезення.

Ключові слова: логістична технологія, розподіл рухомого складу, залізничний транспорт, логічний контроль, оператор інфраструктури, структурно-логічна модель роботи оператора інфраструктури.

Разработан алгоритм и процедура управления распределением железнодорожного подвижного состава. Создан перечень необходимых условий, при которых должно существовать динамичное развитие транспортной отрасли и соответствовать современным рыночным требованиям. Предложена динамическая модель, воспроизводящая информационное поле для всех участников перевозки.

Ключевые слова: логистическая технология, распределение подвижного состава, железнодорожный транспорт, логический контроль, оператор инфраструктуры, структурно-логическая модель работы оператора инфраструктуры.

The algorithm and process control allocation of railway rolling stock. A list of the necessary conditions under which there must be a dynamic development of the transport sector and meet the current market requirements. A dynamic model that reproduces the information field for all participants in traffic. The railways have to create a system of distribution of rolling stock, which must meet the following criteria: reduction in empty mileage and waiting time under one cargo operation; create conditions for rapid and most profitable decision for further movement of mobile units. The development of such a system is intended to create a truly independent regulator of the transportation process. The relationship between the participants of the transportation process of initial conditions for reform should be composed on the basis of non-discriminatory access to infrastructure resources.

Keywords: logistics technology, the distribution of rolling stock, rail transport, logic control, operator infrastructure, structural - logical model of the infrastructure operator.

Вступ. Зважаючи на стрімку тенденцію інтегрувати залізничну галузь в умови ринку, яка пов'язана зі значним зменшенням більшості якісних показників роботи і дефіцитом бюджетних інвестицій, керівництво галузі стало на порозі вирішення низки питань для подолання цієї проблеми в найкоротший термін. Першочерговим завданням галузі є створення сприятливих умов для залучення інвесторів і створення передумов для розвитку інфраструктури.

Постановка задач у загальному вигляді, її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Основні положення нового закону «Про залізничний транспорт України» [1] розроблені саме для вирішення цього питання. Так, планується замінити термін «залізниця» на новий – «оператор інфраструктури», створити новий орган – Національну комісію з регулювання транспорту (НКРТ) – для коригування складової тарифу та залучення до перевезення приватних перевізників. На даний момент існує багато невирішених питань, як то інвестиційна складова, розрахунок залізничного тарифу (НКРТ) без залучення замовника тощо, але очевидним є вирішення питання створення рівнозначних умов для перевізників у реальних умовах оперативного планування перевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зважаючи на постановку задачі в контексті реформування в сучасних умовах, розглянуто питання транспортно-експедиторського обслуговування [2], технології роботи окремих суб'єктів залізничної галузі [3] і питання формування принципів організації роботи вагонів різних форм власності [4, 6]. Важливим є врахування економічної складової при формуванні транспортно-логістичних систем управління вагонами з урахуванням внутрішньої узагальненої економічної ефективності та відповідної якості послуг [8]. Географічне положення українських

залізниць у цілому зобов'язує розглядати будь-які інновації в управлінні з оглядом на подальше інтегрування новоствореної системи в міжнародну транспортну мережу [5, 7] із використанням сучасних інформаційних та інтелектуальних технологій.

Визначення мети та задачі дослідження. На залізницях слід створити систему розподілення рухомого складу на принципах логічного контролю, яка повинна відповідати таким критеріям:

- скорочення порожнього пробігу та часу очікування під однією вантажною операцією;
- створення коректного інформаційного поля для всіх учасників перевезення;
- створення умов для швидкого та максимально вигідного прийняття рішення щодо подальшого прямування рухомої одиниці.

Розроблення такої системи має за мету створення дійсно незалежного регулятора перевізного процесу без змін у кадровій складовій і вкладення вагомих інвестицій.

Відносини між учасниками перевізного процесу за вихідних умов реформування повинні складатися на принципах недискримінаційного доступу до ресурсів інфраструктури.

Відповідно до перспективного стану взаємовідносин між учасниками перевезень на вітчизняних залізницях кожен з них здатний вплинути на якість перевезення в цілому. Учасники перевізного процесу за ступенем відповідальності та впливу на забезпечення перевезення в потрібній якості розподіляються у взаємозв'язку, наведеному на рис. 1. Такий підхід може бути використано як основу для обґрунтування розподілу фінансового результату в умовах підвищення якості, у тому числі за рахунок забезпечення рухомим складом.

Оскільки за дотриманням основної кількості показників якості перевезень несе відповідальність власник інфраструктури (ПАТ «Укрзалізниця»), то першочергове

право на фінансовий результат має саме він. Але це означає, що й більшість собівартості перевізної діяльності повинна враховуватися в результатах роботи даного учасника. Таким чином, при застосуванні конкретної технології перевезень і забезпечення рухомим складом для

кожного учасника перевізного процесу частка фінансового результату (дохідна ставка) по вантажних перевезеннях повинна розраховуватися окремо залежно від виконаної перевізної роботи і видів діяльності.



Рис 1. Учасники перевізного процесу та їх вплив на забезпечення якості транспортного обслуговування

Основна частина дослідження.

Практичним завданням цієї системи є створення умов для подачі під навантаження вагона, який знаходиться під вивантаженням на конкретному полігоні.

Розглянемо роботу диспетчерського апарату управління перевізним процесом з точки зору роботи працівника цеху перевезення в умовах попиту на рухомий склад на всіх рівнях управління перевезенням.

З урахуванням існуючої моделі оперативного управління ієрархічна схема рівнів управління вагонним парком на залізниці та з розподілом обов'язків по колу зобов'язань буде мати вигляд як на рис. 2. У даному контексті ієрархічним рівнем перевезення вважається полігон оперативної роботи, підпорядкований працівнику, що пов'язаний із перевезеннями, у межах його компетенції.

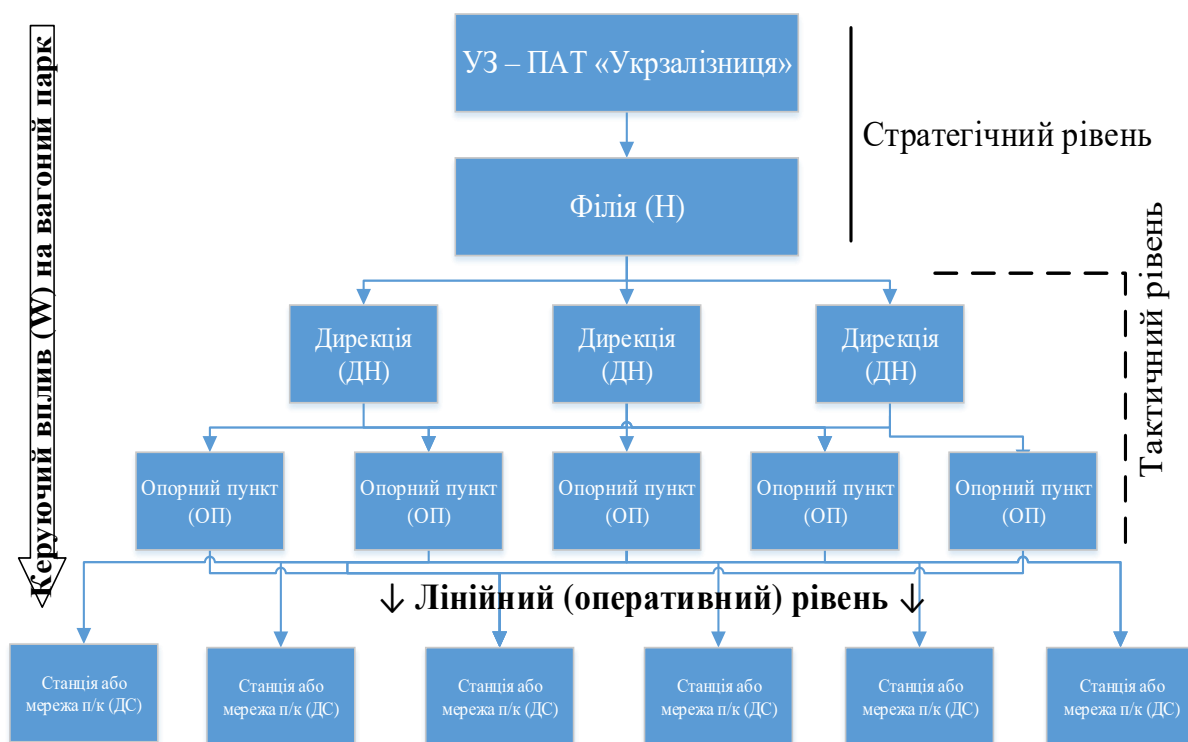


Рис. 2 . Ієрархічна схема рівнів управління вагонним парком на залізниці

Процес роботи системи починається з пам'ятки про закінчення вантажної операції, яку надає вантажоодержувач після вивантаження вагона або групи вагонів. За час, який залишається на підготовку вагона в комерційному відношенні (зняття реквізитів кріплення, очищення від залишків вантажу тощо), подачу маневрового локомотива на забирання,

працівник цеху перевезення повинен прийняти правильне рішення щодо подальшої «долі» вагона. Аналогічне завдання полягає і в розподілі порожнього рухомого складу на сортувальних і дільничних станціях, але у зворотному ієрархічному напрямку.

Діяльність працівника диспетчерського апарату можна моделювати як

систему масового обслуговування, яка покликана створити здорову ринкову конкуренцію щодо використання вантажного ресурсу. Таким чином пропонується підхід до моделювання оперативної діяльності диспетчерського апарату за розподілом вагонів на

принципах теорії масового обслуговування. Головним завданням моделі є отримання досить важливої інформації щодо оцінки імовірності переходу стану вагонів із порожнього в навантажений з урахуванням вихідних параметрів системи (рис. 3).

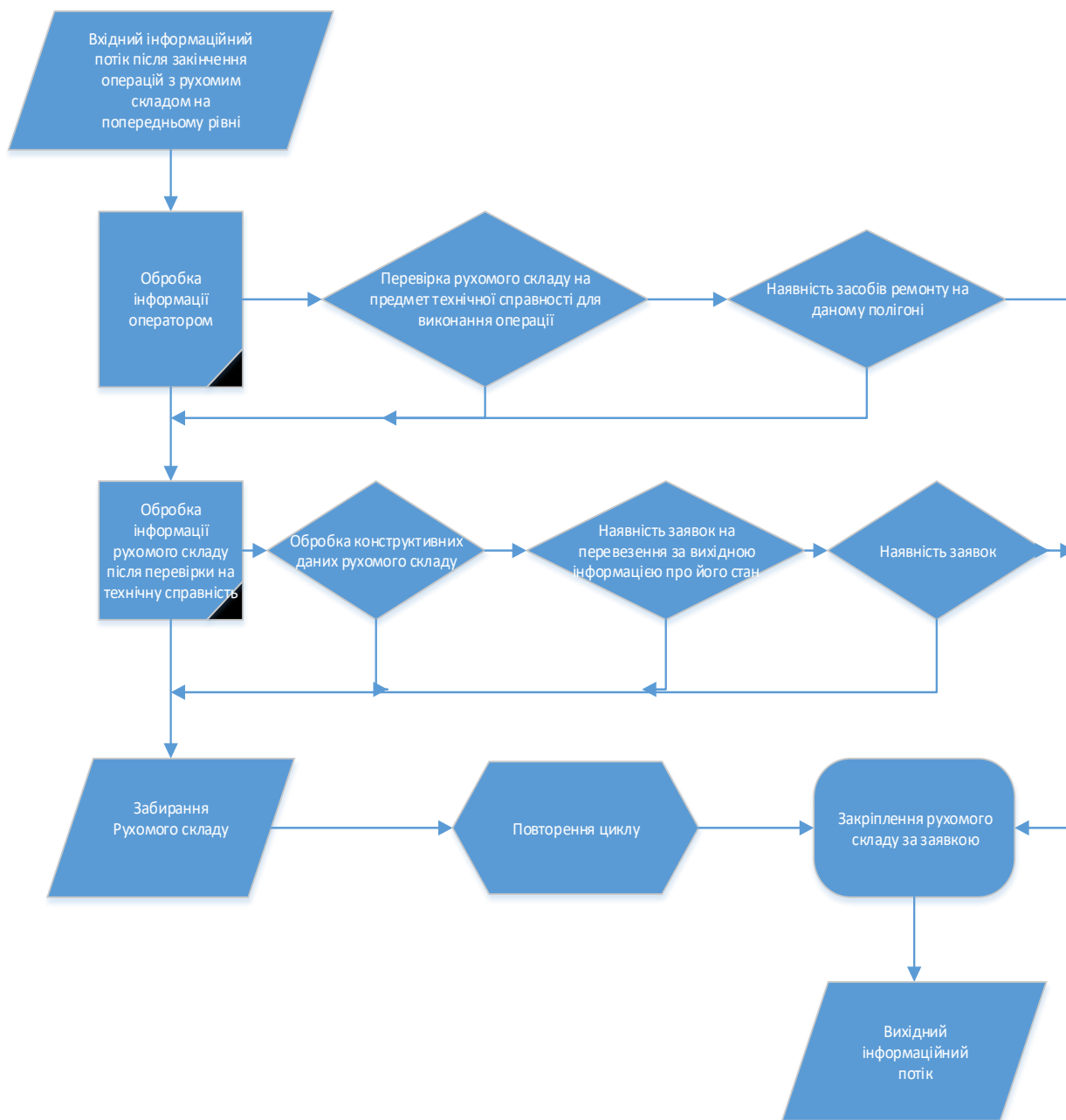


Рис. 3. Структурно-логічна модель роботи оператора інфраструктури

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dU_1^r(t)}{dt} &= -U_1^r(t)W_1 + \sum_{i=1}^n U_1^p(t)W_{i,1}, \\ \frac{dU_2^r(t)}{dt} &= -U_2^r(t)W_2 + \sum_{i=1}^n U_2^p(t)W_{i,2}, \\ &\dots, \\ \frac{dU_n^r(t)}{dt} &= -U_n^r(t)W_n + \sum_{i=1}^n U_i^p(t)W_{i,n}, \\ \frac{dU_1^p(t)}{dt} &= \sum_{i=1}^n U_i^r(t)W_i - U_1^p(t)\sum_{j=1}^n W_{1,j}, \\ \frac{dU_2^p(t)}{dt} &= \sum_{i=1}^n U_i^r(t)W_i - U_2^p(t)\sum_{j=1}^n W_{2,j}, \\ &\dots \\ \frac{dU_n^p(t)}{dt} &= \sum_{i=1}^n U_i^r(t)W_i - U_n^p(t)\sum_{j=1}^n W_{n,j}. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

У моделі (1) прийнято:

$U_i^r(t)$ – частина навантажених вагонів, зайнятих в i -му завантажувальному районі, кількість яких прийемо рівним n ;

$U_i^p(t)$ – частина порожніх вагонів, які можуть використовуватися в i -му завантажувальному районі, прийнято, що $\sum_n U_i^p(t) = 1$;

$W_{i,j}$ – імовірність того, що порожній вагон i -го вантажного району буде використаний під завантаження в завантажувальному районі j в інтервалі часу $(t; t+\Delta t)$;

W_i – імовірність вивантаження навантаженого вагона в завантажувальному районі i , прийнято, що $\sum_n W_i = 1$.

Система (1) лінійна, у матричному вигляді записується як $\dot{U}(t) = WU(t)$ і

представлена в нормальній формі Коші. Задача моделювання стійкості забезпечення навантажувальним ресурсом залізничного полігону зводиться до прогнозування спектра власних значень матриці стану W . Важливим завданням системи є факт того, щоб залізничний полігон не просто зберігав стійкість свого деякого стану в цілому, а мав би стійкість до функціонування при варіації параметрів, до яких треба віднести:

- рід вантажу та вимоги до його перевезення;
- технічні характеристики вагона: рід, вантажопідйомність, конструктивні особливості тощо;
- технологічні вимоги навантаження;
- економічну складову як основне завдання замовника та власника рухомого складу.

Матриця станів має вигляд

$$W = \begin{pmatrix} -W_1 & 0 & \dots & 0 & W_{1,1} & W_{2,1} & \dots & W_{n,1} \\ 0 & -W_2 & \dots & 0 & W_{1,2} & W_{2,2} & \dots & W_{n,2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & -W_n & W_{1,n} & W_{2,n} & \dots & W_{n,n} \\ W_1 & W_2 & \dots & W_n & -W_{1,1} - W_{1,n} & 0 & \dots & 0 \\ W_1 & W_2 & \dots & W_n & 0 & -W_{2,1} - \dots - W_{2,n} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_1 & W_2 & \dots & W_n & 0 & 0 & \dots & -W_{n,1} - \dots - W_{n,n} \end{pmatrix} \quad (2)$$

При розв’язанні даної задачі моделювання стійкої та керованої системи конкретного полігону набуває власних чисел λ_i від можливих імовірностей W_i і $W_{i,j}$ матриці (2). Характерною рисою цієї залежності є функція λ_i від W_i і $W_{i,j}$, яка може бути виражена через власні вектори R_i і S_i матриці W .

Вектор навантажувальних ресурсів $N(t)$ має вигляд

$$u_k(t) = \sum_{i=1}^n c_i e^{\lambda_i t} r_{k,i}, k \in [1; m], \quad (3)$$

де $r_{k,i}$ - компоненти з номером k власного вектора R_i ;

m – розмірність матриці (2);

$c_i = S_i^T U_0$ - визначається вектором початкових значень стану навантажувального ресурсу (навантажений, порожній) U_0 і власними векторами S_i транспонованої матриці стану (2).

Розглянемо умовний залізничний полігон Π , що складається з трьох дирекцій і на якому знаходиться робочий парк напіввагонів кількістю 1000 од. Припустимо, що всі напіввагони є взаємозамінними. Якщо для оператора рухомого складу використання вагонів на кожній з дирекцій є рівнозначним ($U_1^{\Pi}(t) = U_2^{\Pi}(t) = U_3^{\Pi}(t) = 1/3$), то вже до 10 години з початку здійснення управлінської дії з розподілу вагонів система прийде до відносно стаціонарного стану (рис. 4).

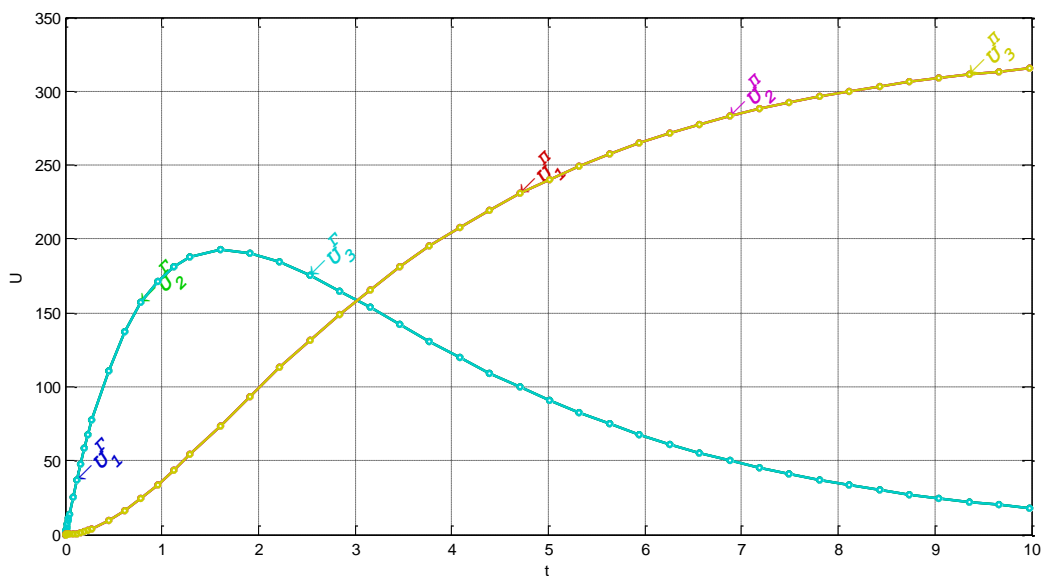


Рис. 4. Результати моделювання для умовного полігону Π та рівновагових трьох дирекцій ($U_1^{\Pi}(t) = U_2^{\Pi}(t) = U_3^{\Pi}(t) = 1/3$)

Якщо для оператора рухомого складу використання вагонів на кожній з дирекцій не є рівнозначним, перша умовна дирекція є найбільш пріоритетною, третя – найменш пріоритетною (тобто прийнято $U_1^{\Pi}(t) = 0.5, U_2^{\Pi}(t) = 0.3, U_3^{\Pi}(t) = 0.2$), то навіть через добу з початку здійснення управлінської дії з розподілу вагонів

(рис. 5) система не буде у стаціонарному стані (стан розподілу напіввагонів прийде до відносно стаціонарного стану лише до 30 год). Це свідчить про необхідність урахування рівномірності при перерозподілі рухомого складу по складових полігону в умовах недискримінаційного доступу до їх інфраструктури.

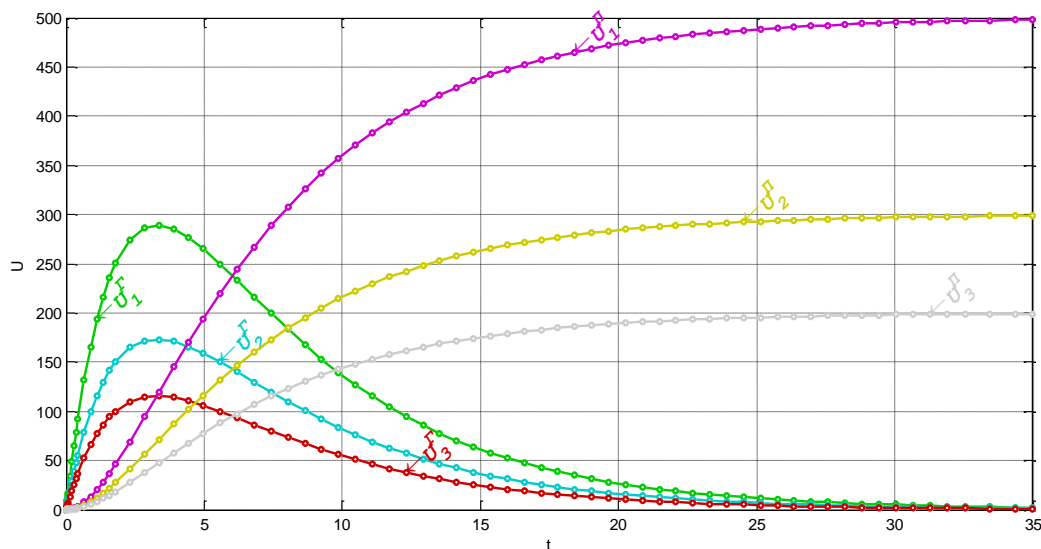


Рис. 5. Результати моделювання для умовного полігону П і трьох дирекцій, що мають різні вагові характеристики ($U_1^H(t) = 0.5$, $U_2^H(t) = 0.3$, $U_3^H(t) = 0.2$)

Таким чином, модель дозволяє зробити висновки про можливості управління в часі окремими параметрами, тобто буде характеризувати стійкість процесу забезпечення навантажувальним ресурсом залізничного полігону. Подальший розвиток моделі можливо здійснити шляхом урахування взаємозамінності рухомого складу та його стану.

Висновки. Запропонована логістична модель в умовах, які формуються на шляху реструктуризації залізничного транспорту, дозволяє розробити оптимальну технологію роботи пункту концентрації з раціональним використанням вагонного парку і роботи

маневрового локомотива з урахуванням усіх вимог транспортної мережі. Використання запропонованих моделей дозволяють зменшити для оператора інфраструктури експлуатаційні витрати при здійсненні управління (W) рухомим складом, зменшити обіг місцевого вагона та, як наслідок, термін доставки вантажу. Дана модель дозволяє прогнозувати місцезнаходження рухомого складу за родом і станом у кожен проміжок часу, що дозволить суттєво збільшити показник корисної роботи на залізничному полігоні. Подальше використання запропонованого підходу полягає в його застосуванні у складі інформаційно-керуючої системи.

Список використаних джерел

1. Про залізничний транспорт України [Електронний ресурс]: проект закону № 3650 від 14.12.2015 р. – Режим доступу: <http://mtu.gov.ua/projects/13/>.
2. Ломотько, Д. В. Розробка технології формування гнучкої системи транспортно-експлуатаційного обслуговування залізницями [Текст] / Д.В. Ломотько, О.М. Пилипейко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 57. – С. 52-57.
3. Продашук, С.М. Удосконалення технології роботи вантажної станції [Текст] / С.М. Продашук // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 112. – С. 34-37.

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

5. Воронов, В. И. Формирование интегральной логики: принципы и методы международной логистики. Актуальные проблемы управления [Текст] / В.И. Воронов // Материалы 15 Междунар. НПК. – М.: ГУУ, 2010. – Вып. 1. – С. 11-16.

6. Lomotko, D.V. Methodological Aspect of the Logistics Technologies Formation in Reforming Processes on the Railways [Text] // Transportation Research Procedia, Volume 14, 2016, P. 2762-2766. - <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.482>.

7. Ломотько, Д. В. Formation of fuzzy support system for decision-making on merchantability of rolling stock in its allocation [Текст] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – Т. 6. – № 3 (78). – P. 11-17.

8. Congli, Hao. Optimization on Combination of Transport Routes and Modes on Dynamic Programming for a Container Multimodal Transport System [Text] // Procedia Engineering, Volume 137, 2016, P. 382-390, ISSN 1877-7058. - <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.272>.

Арсененко Данило Володимирович, аспірант кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (050) 155-26-74. E-mail: arsenenkodanil@gmail.com.

Arsenenko, Daniil Vladimirovich, Postgraduate student of Department of transport systems and logistics of the Ukrainian state University of railway transport. Tel: (050) 155-26-74. E-mail: arsenenkodanil@gmail.com.

Стаття прийнята 11.12.2016 р.

УДК 624.138.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ И ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ СИЛИКАТИЗАЦИЕЙ

Ассист. А. М. Левенко

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАКРІПЛЕННЯ ПІЩАНИХ І ПИЛУВАТО-ГЛИНИСТИХ ГРУНТІВ СИЛІКАТИЗАЦІЄЮ

Асист. Г. М. Левенко

RESEARCH FIXABILITY CONTAMINATE ACID SANDY AND SILTY-CLAY SOILS SILICATION

Levenko Ganna

Проведены исследования песчаных и пылевато-глинистых грунтов, загрязненных перуксусной кислотой. Определены физические характеристики грунтов естественного состояния после попадания в них кислоты и после химического закрепления их силикатом натрия. Определен коэффициент Пуассона закисленных и закрепленных грунтов. Получен радиус закрепления грунтов в зависимости от плотности раствора силиката натрия.

Ключевые слова: силикатизация, коэффициент Пуассона, химическое набухание.

Проведено дослідження піщаних і пилувато-глинистих ґрунтів, забруднених пероцтевою кислотою. Визначено фізичні характеристики ґрунтів природного стану після потрапляння в них кислоти і після хімічного закріплення їх силікатом натрію. Визначено коефіцієнт Пуассона закислених і закріплених ґрунтів. Отримано радіус закріплення ґрунтів залежно від щільності розчину силікату натрію.

Ключові слова: силікатизація, коефіцієнт Пуассона, хімічне набухання.

The main task of chemical grouting is to strengthen the bonds between the soil particles by chemical reagents. There are many different ways to the chemical grouting. Some widely and commonly used in construction, is used in some rare and exceptional cases.

Modern requirements for different approaches to address technological problems require that, before the effect of the measures applied on the ecological environment. A widely used method to combat chemical methods is swelling injection grouting bases.

Currently, widespread contamination problem grounds soil is under the foundations of buildings and industrial facilities. Investigations of sandy and silty-clay soils contaminated with peracetic acid. The physical characteristics of the soils natural state, after being hit by them after the acid and chemical fastening them with sodium silicate. Detected zakislochenih Poisson's ratio and grouting. Prepared grouting radius depending on the density of the sodium silicate solution.

Keywords: silikatization, Poisson's ratio, chemical swelling.

Введение. Основная задача химического закрепления ґрунтов заключается в усилении связей между частицами ґрунта с помощью химических реагентов. Существует большое количество различных способов химического закрепления ґрунтов. Некоторые широко распространены и часто используются в строительстве, некоторые же применяются в редких, исключительных случаях.

В настоящее время широко распространена проблема загрязнения ґрунтов оснований именно под фундаментами промышленных зданий и сооружений. Очень часто, попадая в ґрунты основания, сточные воды различного рода производств приводят к такому явлению, как «химическое набухание» [6, 7]. Этот процесс имеет сложный физико-химический характер и может приводить к крайне негативным последствиям как для фундаментов, так и для системы «основание – фундамент – сооружение» в целом.

Анализ последних исследований и публикаций. В последнее время химическое закрепление стали применять для стабилизации поведения ґрунтов

оснований в случае их загрязнения промышленными стоками [1, 4, 8].

Современные требования к подходам по решению различных техногенных проблем требуют обязательного учета влияния применяемых мер на экологическое состояние окружающей среды [3]. Широко распространенными методами по борьбе с химическим набуханием являются методы инъекционного закрепления ґрунтов оснований [4].

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья. В процессе работы исследовались песчаные и пылевато-глинистые ґрунты, закисленные перуксусной кислотой, на закрепляемость растворами силиката натрия различной плотности.

Исходные характеристики исследуемых ґрунтов приведены в табл. 1.

Все четыре группы ґрунтов замачивались растворами перуксусной кислоты в концентрации 1 %, 2 %, 3 %. Результаты исследования механических характеристик ґрунтов после закисления приведены в табл. 1.

Механические характеристики исследуемых грунтов

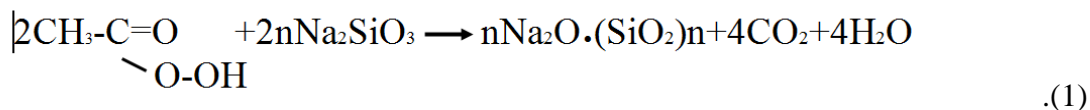
Грунт	Некоторые механические характеристики грунтов до закисления	Некоторые механические характеристики грунтов после закисления
Песок пылеватый, кварцевый	$\varphi \approx 36,3^\circ$ $E \approx 31,5 \text{ МПа}$ $C \approx 8,0 \text{ кПа}$ $R = 270 \text{ кПа}$	$\varphi \approx 33,0^\circ - 35,6^\circ$ $E \approx 21,5 - 22,03 \text{ МПа}$ $C \approx 2,0 - 6,0 \text{ кПа}$ $R = 186 \text{ кПа}$
Супесь буровато-жёлтая, пластичная	$\varphi \approx 32,1^\circ$ $E \approx 22,6 \text{ МПа}$ $C \approx 5,0 \text{ кПа}$ $R = 230 \text{ кПа}$	$\varphi \approx 27,8^\circ - 31,3^\circ$ $E \approx 19,9 - 21,9 \text{ МПа}$ $C \approx 3,0 - 4,3 \text{ кПа}$ $R = 123 \text{ кПа}$
Суглинок тяжелый, желто-коричневый, тугопластичный	$\varphi \approx 33,2^\circ$ $E \approx 26,7 \text{ МПа}$ $C \approx 9,4 \text{ кПа}$ $R = 256 \text{ кПа}$	$\varphi \approx 26,7^\circ - 29,3^\circ$ $E \approx 16,9 - 24,8 \text{ МПа}$ $C \approx 5,2 - 6,3 \text{ кПа}$ $R = 196 \text{ кПа}$
Глина полутвердая, серая	$\varphi \approx 26,4^\circ$ $E \approx 22,4 \text{ МПа}$ $C \approx 39 \text{ кПа}$ $R = 532 \text{ кПа}$	$\varphi \approx 22,0^\circ - 24,2^\circ$ $E \approx 18,9 - 21,9 \text{ МПа}$ $C \approx 32,0 - 35,3 \text{ кПа}$ $R = 216 \text{ кПа}$

Для лабораторного закрепления грунтовых образцов использовались растворы силиката натрия, приготовленные на основе силиката натрия по ГОСТ 130-78-81. Стекло жидкое натриевое, с силикатным модулем 2,7.

Рабочие растворы имели плотность $1,10 \text{ г/см}^3$, $1,15 \text{ г/см}^3$, $1,20 \text{ г/см}^3$, $1,25 \text{ г/см}^3$.

Диапазон плотностей рабочих растворов обусловлен более ранними исследованиями возможности образования гелей на основе перуксусной кислоты и силиката натрия [5].

Гель кремниевой кислоты образовывался в результате протекания следующей реакции:



(перуксусная кислота) (силикат натрия) (гель кремниевой кислоты)

Время гелеобразования во многом зависит от объемных соотношений Ω – перуксусная кислота/силикат натрия [5], плотности силиката натрия и концентрации кислоты.

Порядок и результаты исследований возможности образования силикатных гелей, времени их образования, а также рабочие объемные соотношения для Ω изложены в работе [5].

На основе полученных данных при закреплении групп грунтовых образцов использовались оптимальные соотношения Ω , позволяющие выполнить лабораторные испытания по закреплению закисленного грунта.

Для проведения исследований по закреплению грунтов использовался прибор для лабораторного химического закреплении ЛПЗ-2 (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Прибор для лабораторного химического закреплении ЛПЗ-2: а – общий вид прибора; б – закрепленные образцы грунта в кольцах

Грунты всех четырех групп закрепились по традиционной пропиточной безразрывной технологии с помощью прибора для лабораторного закреплении ЛПЗ-2.

Используемые параметры закреплении всех четырех групп грунтовых образцов указаны в табл. 2.

После закреплении выполнялись испытания закрепленных образцов грунта на прочность при сжатии при помощи ручного пресса (рис. 2).

Таблица 2

Параметры закреплении

Параметр	Численное значение
Плотность растворов силиката натрия, $г/см^3$	1,10; 1,15; 1,20; 1,25
Концентрация растворов перуксусной кислоты, %	1%, 2%, 3%
Интервал объемных соотношений компонентов Ω	4,5 – 16,0
Давление нагнетания растворов, $кгс/см^2$ (атм)	1,0 – 2,0
Высота образцов, см	6,0
Диаметр образцов, см	4,1



а)



б)



в)

Рис. 2. Испытания грунта на сжатие: а – образцы грунта перед испытанием; б – образец грунта в прессе в процессе испытания; в – образец грунта после проведения испытания

Механические испытания полученных закрепленных образцов и исследования выполнялись через 28 суток после проведения закрепления.

Исследования были направлены на определение прочности закрепленного

грунта и определение радиуса его закрепления для каждого интервала соотношений Ω [5].

Объемные отношения компонентов Ω менялись в интервалах:

Плотность силиката натрия $\rho_c, \text{г/см}^3$	Интервал объемных соотношений Ω
1,05	2,0-4,5
1,10	4,5-8,0
1,15	6,5-10,5
1,20	7,5-13,5
1,25	12,5-16,0

В результате испытаний образцов закреплённого грунта установлено, что с увеличением плотности силиката натрия и концентрации перуксусной кислоты увеличивается R - расчетное сопротивление грунта.

Как видно из табл. 3, механические характеристики грунтов после закрепления

значительно повышаются по сравнению с состоянием после закисления. Грунты приобретают прочность на сжатие, превышающую значение прочности грунтов в естественном состоянии (до закисления).

Таблица 3

Некоторые механические характеристики грунтов после закрепления

Грунт	Механические характеристики грунтов после закрепления			
	φ , град	E , МПа	C , кПа	R , кПа
Песок пылеватый, кварцевый	39,8	38,9	8,2	351- 456
Супесь пластичная	23,9	42	39,2	243- 321
Суглинок тяжелый, тугопластичный	24,3	38	38,9	220 - 370
Глина полутвердая, серая	26,3	37,9	39,2	470 - 560

От проникающей способности инъецируемого раствора зависит (при прочих равных условиях) радиус и однородность закреплённого грунтового массива. Характеристикой проникающей способности закрепляющего раствора является его плотность. Снижение плотности используемых растворов позволяет расширить диапазон охвата закрепляемых грунтов по их проницаемости и гранулометрическому составу.

По результатам исследования закрепляемость всех четырех групп образцов получены зависимости радиуса закрепления от плотности растворов силиката натрия (рис. 3). Графика отражает зависимость радиуса закрепления от плотности силиката натрия.

В процессе проведения испытаний было определено, что при закреплении двух групп образцов – глины и суглинка – раствором силиката натрия плотностью $\rho_c=1,25$ г/см³ закрепление не произошло.

Из графика видно, что с понижением плотности растворов силиката натрия радиус закрепления увеличивается. Инъецирование силиката натрия с плотностью 1,05 г/см³ не производилось по причине малой площади «буферности» [5].

В процессе исследований также был определен коэффициент Пуассона ν как для закисленных грунтов, так и для закреплённых, чего прежде не производилось. Полученные результаты приведены в табл. 4.

Выводы из разработки и перспективы, дальнейшее исследование в данном направлении. В результате исследований установлено, что расчетное сопротивление грунтов R увеличивается в 1,81-3,01 раза, удельное сцепление C увеличивается в 9,6 раза, модуль деформации E увеличивается в 2,48 раза, угол внутреннего трения увеличивается в 1,56 раза.

По результатам испытаний был определен коэффициент Пуассона ν как для закисленных перуксусной кислотой грун-

тов $\nu = 0,35 - 0,50$, так и для закрепленных силикатизацией грунтов $\nu = 0,27 - 0,36$, чего прежде не производилось.

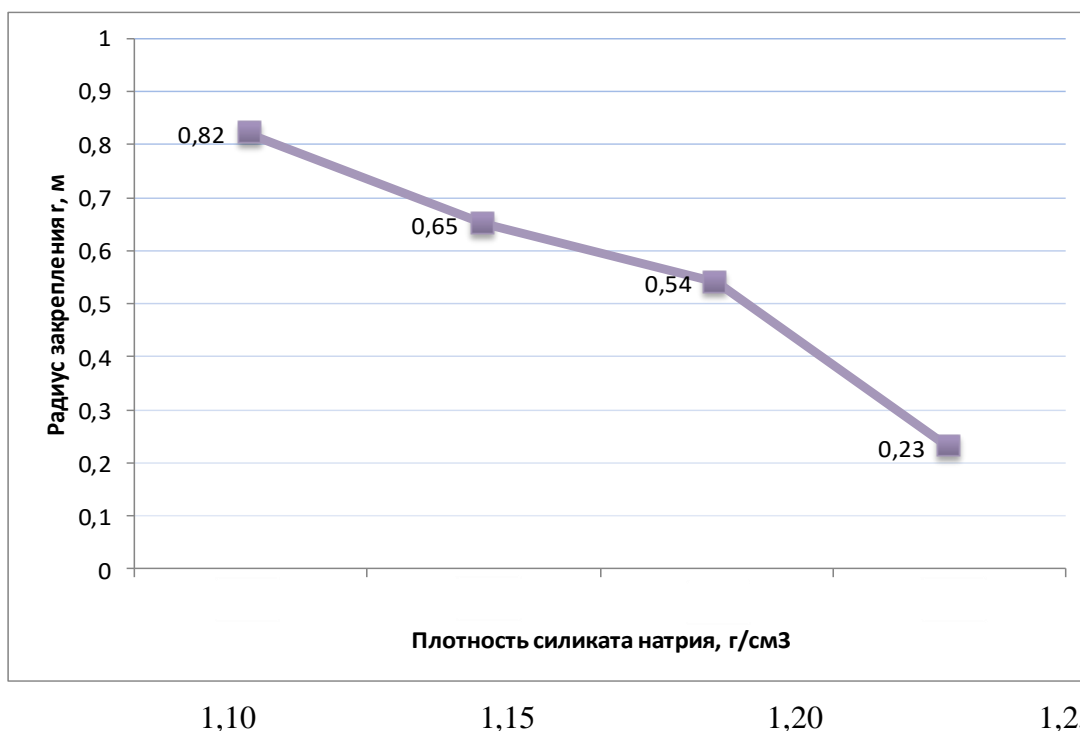


Рис. 3. Графика зависимости радиуса закрепления от плотности силиката натрия

Таблица 4

Коэффициент Пуассона четырех групп грунтов

Грунт	Коэффициент Пуассона		
	до закрепления в естественном состоянии	после закисления	после закрепления
Песок пылеватый, кварцевый	0,30	0,35	0,27
Супесь пластичная	0,34	0,39	0,30
Суглинок тяжелый, тугопластичный	0,36	0,41	0,30
Глина полутвердая, серая	0,42	0,50	0,36

Список использованных источников

1. Мишурова, Т. В. Закрепление песчаных оснований, загрязненных фосфорнокислыми протокатами, в условиях действующего производства [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.23.02 / Т. В. Мишурова. – Днепропетровск, 2001. – 171 с.
2. Сорочан, Е. А. Строительство сооружений на набухающих грунтах [Текст] / Е.А. Сорочан. – М.: Стройиздат, 1989. – 312 с.

3. Хансиварова, Н. М. Экологические проблемы городов в связи с химическим загрязнением лессовой геологической среды [Текст] / Н. М. Хансиварова, В. И. Коробкин, Р. М. Филь // Новое в экологии: сб. докладов Междунар. эколог. конгресса; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2000. – Т. 2. – С. 369-372.

4. Бронжаев, М. Ф. Химическое закрепление закисленного грунта на Славянском ПО "ХИМПРОМ" [Текст] / М. Ф. Бронжаев // Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка, 1996. – С. 95-98.

5. Левенко, А. М. Исследование силикатных гелей на основе перуксусной кислоты по всему диапазону их образования [Текст] / А. М. Левенко, М. Ф. Бронжаев // Зб. наук. праць. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава, 2013. – Вип. 3 (38). – Т. 1. – С. 68-75.

6. Соколович, В. Е. Химическое пучение глинистых и песчаных грунтов. Основания, фундаменты и механика грунтов [Электронный ресурс] / В. Е. Соколович. – Режим доступа: <http://stroikmb.ru/a104.php>.

7. Guneyu, Y. Dursun Sar, Murat Cetin, Mustafa Tuncan. Impact of cyclic wetting–drying on swelling behavior of lime-stabilized soil // Building and Environment. February 2007. - Vol. 42. - Issue 2. – P. 681–688.

8. Amer Ali Al-Rawasa, A.W. Hagoa ,Hilal Al-Sarmib. Effect of lime, cement and Sarooj (artificial pozzolan) on the swelling potential of an expansive soil from Oman Building and Environment. - May 2005. - Vol. 40. - Issue 5. – P. 681–687.

Левенко Ганна Михайлівна, асистент кафедри механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології Харківського національного університету міського господарства ім. 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 12.12.2016 р.

УДК 624.131.55

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ДЕФОРМАЦИЮ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ

Канд. техн. наук В. А. Александрович

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДЕФОРМАЦІЮ ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ

Канд. техн. наук. В. А. Александрович

THE INFLUENCE OF DYNAMIC LOAD PARAMETERS ON DEFORMATION OF FOUNDATION SOIL

Cand. of techn. sciences V. A. Aleksandrovych

Изложены результаты лотковых и полевых виброштамповых экспериментов. Анализируются особенности развития дополнительных осадок песчаных оснований фундаментов от воздействия динамических нагрузок. Установлены зависимости величины дополнительной осадки песчаных оснований фундаментов от параметров динамической нагрузки, которая подчиняется гармоническому закону, через соответствующие коэффициенты.

Ключевые слова: *виброползучесть, несвязный грунт, штамп, фундамент, осадка, статическая и динамическая нагрузка, гармонический закон.*

Викладено результати лоткових і польових віброштампових дослідів. Аналізуються особливості розвитку додаткових осідань піщаних основ фундаментів від дії динамічних навантажень. Встановлено залежності величин додаткового осідання піщаних основ фундаментів від параметрів динамічного навантаження, що підпорядковується гармонічному закону, через відповідні коефіцієнти.

Ключові слова: *віброповзучість, нез'язний грунт, штамп, фундамент, осідання, статичне та динамічне навантаження, гармонічний закон.*

The results of vibrostamp tests in the tray and in the field with soil have been considered. Progress with time of supplementary settlement of sandy foundation soils under dynamic loads is analyzed. Relationship of supplementary settlement of sandy foundation soils under harmonic dynamic loads depends on compliant coefficients have been estimated.

Keywords: *vibrocreep, non-cohesive soil, stamp, foundation, settlement, static and dynamic loading, harmonic law.*

Введение. Динамическая нагрузка, передаваемая от работающих машин через фундамент основанию, в ряде случаев способна вызвать длительную медленно затухающую осадку фундамента. Такое явление, именуемое виброползучестью, имеет место, в частности, если основание сложено песком средней крупности или мелким (водонасыщенным, средней и даже малой степени водонасыщения) различной плотности, или пластичной супесью, когда амплитуда вибрации превышает при действующем статическом давлении некоторую величину, называемую критической. Результаты измерения осадок и деформаций фундаментов на нескольких электростанциях, вызванных виброползучестью, свидетельствуют о том, что осадка фундаментов некоторых турбоагрегатов мощностью 300 МВт и более после включения агрегата в работу на номинальной мощности развивается вначале очень быстро, достигая за первый год 20-60 мм.

Такие, дополнительные к статическим, осадки виброползучести оснований, сложенных водонасыщенными мелкими и средней крупности песками, фундаментов машин с гармоническими динамическими нагрузками, частота

вынужденных колебаний которых до 50 Гц, изучены недостаточно. Известны описания поведения грунта в момент его разжижения, тогда как для инженерной практики самое существенное значение имеют закономерности перехода песка в разжиженное состояние, в первую очередь, критические параметры вибрации, при которых начинается виброползучесть, а также совершенствование методики прогнозирования осадок таких оснований фундаментов машин.

Анализ последних исследований и публикаций. Проявление виброползучести крайне опасно для фундаментов, воспринимающих динамическую нагрузку от оборудования и соседних фундаментов здания, находящихся в зоне действия вибрации, поскольку может привести к недопустимой осадке фундамента, расцентровке валопроводов и, в конечном счете, остановке всего технологического процесса (случай из практики Н. Л. Зоценко [1]). Также известны случаи: дополнительных осадок до 40 см фундаментов колонн, попавших в осадочные воронки фундаментов машин с динамическими нагрузками, что вызывало остановку работы мостовых кранов в цехах (примеры О. А. Савинова [2] и О. Р. Филиппова [3]);

аварийных погружений самоходных виброкатков Vibromax VM132, НАММ 3520 и ATLAS 1140, использовавшихся для послойного уплотнения водонасыщенных мелких и средней крупности песков при устройстве подушек, при работе в динамических режимах (Ю. Л. Винников [4]).

Определение целей и задачи исследования. Цель работы – установить зависимость увеличения деформативности грунтового основания в зависимости от параметров вынужденных колебаний.

Основная часть исследования. Согласно существующим на данный момент «Рекомендациям по проведению полевых испытаний виброустойчивости оснований фундаментов турбоагрегатов» [5] в качестве рабочего инструмента оценивания виброползучести грунта используют виброштамп небольших размеров, к которому прикладывают статическую и динамическую нагрузки. Согласно методике, после передачи на виброштамп эксплуатационного статического давления, выдержки до условной стабилизации и измерения осадки, к нему прикладывают динамическую нагрузку, при этом вертикальное динамическое давление σ_d (или приведенная амплитуда колебаний подошвы штампа a_{np}) увеличивают примерно равными степенями до требуемого значения. По данным измерения статической \bar{S} и дополнительной S к ней осадок определяют основной параметр процесса – интенсивность виброползучести α или коэффициент виброползучести D , используемый для численной оценки влияния вибрации на деформативные свойства основания. Определение D (или α) основано на зафиксированной экспериментально и подтверждаемой выводами теоретических исследований зависимости

$$S = (Dt)^n, \quad (1)$$

где t – время непрерывного действия стационарной динамической нагрузки;

$n \approx 0,5$ – показатель виброползучести.

На каждой ступени измеряют дополнительную осадку штампа $S_k(t)$ и длительность воздействия Δt_k , после чего рассчитывают коэффициент D_k , где k – номер ступени) по формуле

$$D_k = \frac{S_k^2 - S_{k-1}^2}{\Delta t_k}, \quad k=1, 2, 3 \dots m. \quad (2)$$

В результате для любого уровня динамического давления в интервале от 0 до σ_{dm} (или до a_{npm}) интерполяцией-экстраполяцией можно определить коэффициент виброползучести $D(\sigma_d)$ при заданном динамическом воздействии, а затем и текущую дополнительную осадку S . При неизменности статического давления увеличение осадки штампа от \bar{S} до $\bar{S} + S(t)$ эквивалентно снижению на момент времени t модуля деформации основания от значения E (полученного из статических испытаний) до значения

$$E_{общ}(t) = E \frac{\bar{S}}{\bar{S} + S(t)} = k_E E, \quad (3)$$

где k_E – коэффициент снижения статического модуля.

Следует заметить, что в силу установленного экспериментально факта независимости α (или D) от площади опытного штампа описанная методика получила развитие при проведении полевых испытаний в дудках и скважинах [6, 7], а также – в вибростабилометрах [8] и лотках [9, 10, 11].

Проанализировано значительное количество данных испытаний виброползучести оснований фундаментов турбоагрегатов по методике [5], приведенных в работах [6-11]. В качестве основного инструмента для этого использованы методы математической

статистики, в частности корреляционный и регрессионный анализы. Собрана информация о большинстве выполненных испытаний виброползучести грунтов, которая представлена в табл. 1 (частота колебаний 50 Гц) и табл. 2 (частота колебаний 25 Гц); опыты, имеющие индекс «штрих», проводились при амплитуде колебаний виброштампа $a \leq 5$ мкм, остальные – при $a \geq 10$ мкм.

Значения динамических давлений σ_d устанавливали с помощью известного выражения $\sigma_d = ac_z$, где величины коэффициента упругого равномерного сжатия грунта; значения коэффициентов виброползучести и снижения модуля деформации k_E включены в таблицы без предва-

рительной обработки, т. е. такими, как они приведены в соответствующих работах.

Из рассмотрения этих таблиц следует, что, с позиции математической статистики, все данные могут быть сведены к двум выборкам малого объема ($n=14, 15$) случайных величин, в которых грунтовые условия характеризуются различного вида водонасыщенными песками. Поскольку при подходе, изложенном в работе [5], основной характеристикой виброползучести является коэффициент D , корреляционный анализ производили с позиции оценки тесноты связи между величинами указанного коэффициента и статических и динамических контактных давлений; полученные результаты представлены в табл. 3.

Таблица 1

Опытные данные, частота колебаний 50 Гц

Номер опыта	Модуль деформации E, МПа	Среднее статическое давление по подошве штампа σ_d , МПа	Среднее динамическое давление по подошве штампа σ_d , кПа	Коэффициент виброползучести $D \cdot 10^{-3}$, мм ² /ч.	Коэффициент снижения модуля деформации k_E
1	28	0,2	1,06	2,5	0,7
2	19	0,2	0,72	10,1	0,6
3	30	0,21	1,80	0,74	1,0
4	90	0,21	6,45	7,8	0,55
5*	38	0,2	4,68	10,7	0,6
6*	38	0,25	5,32	6,0	0,6
7	22	0,2	0,73	16,3	0,76
8	29,5	0,2	1,34	0,9	0,69
9	29,5	0,25	1,06	4,5	0,69
10	29,5	0,2	1,99	17,0	0,69
5`	38	0,2	3,20	2,7	0,6
6`	38	0,25	2,76	22,5	0,6
8`	29,5	0,2	0,5	0	0,69
9`	29,5	0,25	0,36	0,05	0,69
10`	29,5	0,2	0,62	8,0	0,69

* испытания проводились в скважинах.

Таблица 2

Опытные данные, частота колебаний 25 Гц

Номер опыта	Модуль деформации E, МПа	Среднее статистическое давление по подошве штампа σ_d , МПа	Среднее динамическое давление по подошве штампа σ_d , кПа	Коэффициент виброползучести $D \cdot 10^{-3}$, мм ² /ч.	Коэффициент снижения модуля деформации K_E
1	40	0,25	1,51	2,2	0,76
2	25	0,25	0,94	15,4	0,65
3	15	0,3	0,57	21,7	0,7
4*	23	0,3	1,26	-	0,56
5*	23	0,3	2,64	-	0,84
6*	37	0,3	3,04	-	0,79
7*	30	0,3	4,10	-	0,92
8*	23	0,3	1,38	-	0,92
9*	32	0,32	1,75	-	0,94
10*	34	0,32	1,86	-	0,73
1^	40	0,25	0,76	0	1,0
2^	25	0,25	0,47	0,54	0,9
3^	15	0,3	0,28	8,6	0,85
3^	20	0,22	1,42	9,5	0,77

* испытания проводились в шурфах-дудках и скважинах;

^ испытания проводились в лотке.

Таблица 3

Результаты корреляционного анализа

Виды зависимостей	Коэффициент корреляции	Оценка тесноты связи
$D=f(\sigma)$	$\frac{0,05}{0,45}$	$\frac{\text{нет связи}}{\text{слабая связь}}$
$D=f(\sigma_d)$	$\frac{0,173}{-0,13}$	$\frac{\text{нет связи}}{\text{нет связи}}$
$K_E=f(\sigma)$	$\frac{-0,13}{0,01}$	$\frac{\text{нет связи}}{\text{нет связи}}$
$K_E=f(\sigma_d)$	$\frac{-0,47}{0,08}$	$\frac{\text{слабая связь}}{\text{нет связи}}$
$K_E=f(D)$	$\frac{-0,28}{-0,78}$	$\frac{\text{слабая связь}}{\text{сильная связь}}$

Примечание: $\frac{\text{числитель—при частоте колебаний } 50\text{ Гц}}{\text{знаменатель—при частоте колебаний } 25\text{ Гц}}$

Приведенные в таблице данные свидетельствуют об отсутствии тесной связи между давлениями по подошве фундамента и основными параметрами виброползучести, однако не рассмотренные зависимости в первую очередь представляют практический интерес, а зависимость вида $K_E = f(E)$. Выполнен в работе [6] корреляционный анализ указанной зависимости: для частот колебаний 25 и 50 Гц между K_E и E установлена слабая связь. Несмотря на это, получены уравнения регрессии, с помощью которых вычислены коэффициенты снижения модуля деформации по приведенным в таблицах значениям E . Получено: при частоте колебаний 25 Гц – $K_E = 0,81$; частоте колебаний 50 Гц – $K_E = 0,66$.

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Учитывая, что попавшие в выборки опытные данные охватывают 80-90 % всех выполненных исследований виброустойчивости грунтовых оснований фундаментов турбоагрегатов, предлагаются указанные значения K_e для предварительного определения величины $E_{общ}$ общего модуля деформации с последующим уточнением поведения грунтового основания и закона, по которому будет развиваться его осадка во времени при действии динамической нагрузки по методике, разработанной в работе [12].

Список использованных источников

1. Зоценко, М. Л. Посилення основ фундаментів електродвигунів нахиленим армуванням за допомогою пневмопробійників [Текст] / М. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников, П. М. Омельченко, М. Ф. Передерій // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. – К.: НДІБК, 2001. Вип. 55. – С. 53-54.
2. Савинов, О. А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет [Текст] / О. А. Савинов. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1979. – 200 с.
3. Филиппов, О. Р. Исследование осадок фундаментов на песчаных основаниях при установившихся колебаниях [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.23.02 / О. Р. Филиппов. – М.: НИИОСП им. Н. М. Герсевича, 1978. – 117 с.
4. Винников, Ю. Л. Вплив вібраційного режиму котків на ущільнення малозв'язних розкритих порід [Текст] / Ю. Л. Винников [та ін.] // Зб. наук. праць (Галузеве машинобуд., буд-во). – Полтава: ПНТУ, 2009. – Вип. 25. – С. 40-49.
5. Рекомендации по проведению полевых испытаний виброустойчивости оснований фундаментов турбоагрегатов [Текст] / В. А. Ильичев, В. И. Керчман, В. Г. Таранов, В. Я. Хаин. – М.: НИИОСП – ДИИТ, 1986. – 30 с.
6. Таранов, В. Г. Способ приближенной оценки деформативности оснований фундаментов турбоагрегатов [Текст] / В. Г. Таранов // Интегрированные технологии и энергосбережение: науч.-акт. пр. журн. – Харьков: НТУУ ХПИ, 1999. – №3. – С. 25-33.
7. Taranov, V.G. Some problems of the founding of the powerful turbo-generator sets [Text] / V.G. Taranov, N.S. Shvetz., V.B. Shvetz, // Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vols 1-5: Geotechnology in harmony with the global environment. – Osaka. – 2005. – P. 1567-1570.
8. Крыжановский, А. Л. Приближенный метод прогноза осадок виброползучести [Текст] / А. Л. Крыжановский, Р. О. Шеляпин, З. З. Чирков // Тезисы Всесоюзной конф. ДОФ-89. – Днепропетровск, 1989. – С. 57-62.

9. Александрович, В. А. Установка для изучения поведения грунтов при динамических воздействиях [Текст] / В. А. Александрович // Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во). – Полтава: ПНТУ, 2010. – Вип. 28. – С. 14-16.

10. Aleksandrovych, V. A. Concerning the Vibrocreep Issue [Text] / V. A. Aleksandrovych // Proc. of 22-nd European Young Geotechnical Engineers Conf. – Sweden, Gothenburg: Chalmers university of technology. – 2012. – P. 173-178.

11. Александрович, В. А. Виброустойчивость песчаных оснований в диапазоне частот вынужденных колебаний 5 – 50 Гц / [Текст] В. А. Александрович, В. Г. Таранов // Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во). – Полтава: ПНТУ, 2012. – Вип. 4 (34), Т. 1. – С. 24-29.

12. Александрович, В. А. Виброустойчивость песчаных оснований фундаментов машин с динамическими нагрузками, подчиняющимися гармоническому закону [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.23.02 / В. А. Александрович. – Полтава: ПНТУ, 2015. – 162 с.

Александрович Вадим Анатолійович, старший викладач кафедри механіки ґрунтів, фундаментів і інженерної геології Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова. Тел.: (057) 707-31-12. E-mail: v.a.aleksandrovich@mail.ua.

Aleksandrovych Vadym Anatoliiovych, senior teacher of department of Soil Mechanics Foundations and Geology O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (057)707-31-12. E-mail: v.a.aleksandrovich@mail.ua.

Стаття прийнята 12.12.2016 р.

УДК 681.3.07

ЗОВНІШНЬОЕКОНОМІЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ НА ЗАСАДАХ ГЛОБАЛЬНОЇ ЛОГІСТИКИ

Д-р техн. наук А. М. Котенко, канд. техн. наук В. І. Шевченко

ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НА ПРИНЦИПАХ ГЛОБАЛЬНОЙ ЛОГИСТИКИ

Д-р техн. наук А. Н. Котенко, канд. техн. наук В. И. Шевченко

FOREIGN ECONOMIC ON THE BASIS OF GLOBAL LOGISTICS

Dr. Sci. Sciences A. M. Kotenko, PhD. tehn. Sciences W. I. Schewshenko

Наведено результати зовнішньоекономічної діяльності провідних країн світу: США, Китаю, Німеччини, Франції та ін. Запропонована математична модель руху вантажних поїздів у вигляді графів станів та системи диференціальних рівнянь динаміки середніх, що побудована на засадах глобальної логістики. Модель містить графи станів руху і диференціальні рівняння перебування поїздів під операціями на залізницях країн: України, Грузії, Азербайджану, Казахстану та Китаю, митного і прикордонного контролю. Моделювання дає змогу скоротити час перебування поїздів на шляху перебування.

Ключові слова: зовнішньоекономічна діяльність, глобальна логістика, вантажний поїзд, транскаспійський напрям, «шовковий шлях», метод динаміки середніх.

Приводятся результаты внешнеэкономической деятельности ведущих государств мира: США, Китай, Германии, Франции и др. Предложена математическая модель движения грузовых поездов в виде графов состояний и системы дифференциальных уравнений динамики средних, которые построены на принципах глобальной логистики. Модель содержит графы состояний движения и дифференциальные уравнения нахождения поездов под операциями на железных дорогах государств: Украины, Грузии, Азербайджана, Казахстана и Китая. Моделирование позволяет сократить время нахождения грузовых поездов на пути следования.

Ключевые слова: внешнеэкономическая деятельность, глобальная логистика, грузовой поезд, транскаспийское направление, «шелковый путь», метод динамики средних.

We've analyzed the results of foreign trade activities of the leading countries of the world, i.e. US, China, Germany, France, etc. We've proposed a mathematical model of freight traffic in the form of state graphs and systems of differential equations of dynamics of average built on the basis of global logistics. The model includes a motion state graphs and differential equations for finding train operations on the railways: Ukraine, Georgia, Azerbaijan, Kazakhstan and China, customs and border control. Simulation allows freight trains to reduce the time spent in transit.

Keywords: foreign trade, global logistics, freight train, the Trans-Caspian direction, "Silk Road", a method for average dynamics.

Вступ. Глобальна логістика – це стратегія і тактика створення сталих макрологістичних систем, які пов'язують бізнес-структури різних регіонів і країн світу на підставі поділу праці, партнерства та кооперування у формі угод, договорів, які формуються на міждержавному рівні. Глобальна логістика відображає таку тенденцію у світовій економіці, яка характеризується рухом підприємницької діяльності від її спеціалізації в окремих країнах і регіонах до мультиорганізованого світового ринкового господарства.

Досвід застосування засад логістики в практичній діяльності свідчить, що не завжди загальна сума витрат при русі матеріальних потоків знижується, коли зменшуються витрати, пов'язані з функціонуванням окремих ланок. Більш того, прагнення до зниження витрат з якої однієї ланки без урахування її взаємозв'язку з іншими ланками може привести до протилежного результату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наш час ефективний розвиток економіки не можливий без залучення України до світового економічного простору, активізації

зовнішньоекономічної діяльності, оптимального використання переваг міжнародного поділу праці на основі застосування принципів глобальної логістики. На зовнішній ринок Україна виходить спираючись тільки на фактор природних ресурсів. В експорті переважну частку складають руди, метали та продукція сільського господарства (зернові хлібні вантажі). Імпорт України складає 44,81, а експорт – 39,12 млрд дол. Зовнішньоторговельне сальдо країни негативне та складає 5,69 млрд дол.

Слід зазначити, що основою економічної могутності України є новітні галузі промисловості: авіакосмічна техніка, літакобудування, електроніка, енергетика, інформатика, нафтохімія, високотехнологічна зброя, а також продукція гірничо-металургійного комплексу, які необхідно розвивати на рівні держзамовлень. Про це свідчить успіх передових країн світу, що застосовують новітні технології у виробництві та підвищенні конкурентоспроможності своєї продукції [1].

Країни, що застосовують передові технології за валовим внутрішнім продуктом (ВВП) посідають перші місця у

світовій економіці. Так річний ВВП складає у США 13 220 (2006 р.), Японії – 4 911, Німеччині – 2 858, Китаї – 2 512, Канаді – 1089 млрд дол. Значно відрізняється за цим показником від них Україна – 81,53 млрд дол.

США, Японія, Китай посідають також перші місця і у винахідницькій діяльності. Так, у США і Китаї подається 530 та 520, Японії – 360 тис. заявок на патенти (корисні моделі та винаходи), що дає їм змогу запроваджувати новітні технології у виробництві товарів і продукції. Для порівняння в Україні при її значному науковому потенціалі подається всього 5 тис. заявок на рік. Таким результатом роботи винахідницької діяльності сприяє також недосконалість існуючої системи стимулювання подачі заявок.

Основними чинниками для підвищення економічного потенціалу країн є: зовнішня торгівля, іноземні інвестиції, кредити, впровадження новітніх технологій та підготовка висококваліфікованих національних кадрів.

Лідером у міжнародній торгівлі є Китай: за імпортом – 777,9, експортом – 974,0, сальдо – 196,1 млрд дол. Позитивне сальдо протягом тривалого часу сприяє накопиченню золотовалютних резервів та покращенню платіжного балансу Китаю.

У США зовнішньоторговельне сальдо негативне. Пояснюється це тим, що в США існує великий внутрішній ринок, що поглинає переважну кількість товарів і послуг, вироблених у країні, та високий рівень життя, що стимулює імпорт.

Основними партнерами Китаю є за експортом: США, Сянган, Японія, Німеччина, Республіка Корея, за імпортом: Сянган, Японія, Республіка Корея, США, Німеччина, Росія [2].

Товарна структура зовнішньої торгівлі Китаю за імпортом: машини та устаткування – 39,3, напівфабрикати – 20,2, продукти харчування – 1,8, продукція хімічної промисловості – 14,6, мінеральне

паливо – 8,7, сировина – 9,2, інші товари – 6,2 %.

Китай посідає друге місце у світовій економіці, після США, за щорічним залученням іноземних інвестицій. За 22 роки реформ у Китай надійшло більше як 500 млрд дол. інвестицій іноземного капіталу. Цьому сприяє стабільна політична ситуація.

За величиною зовнішнього боргу (2006 р) країни світу посідають такі місця: США – 10 040, Велика Британія – 8260, Німеччина – 3904, Нідерланди – 1899, Іспанія – 1591, Японія – 1547, Ірландія – 1392, Швейцарія – 1077, Бельгія – 1053, Канада – 684,7, Швеція – 598,2, Австрія – 593,9, Австралія – 585,1, Франція – 529,1, Італія – 445,6, Данія – 405, Норвегія – 350,3, Бельгія – 333,5, Гонконг – 329,8, Китай – 05,6, Греція – 301,9, Росія – 287,4, Сінгапур – 246,4, Польща – 147,3, Україна – 41,57 млрд дол.

За ВВП на душу населення: Люксембург – 68,80, Об'єднані Арабські Емірати – 49,70, Ірландія – 3,6, США – 43,5, Ісландія – 38,1, Данія – 37, Канада – 35,2, Австрія – 34,1, Швейцарія – 33,6, Японія – 33,1, Австралія – 2,9, Фінляндія – 32,8, Бельгія – 31,8, Нідерланди – 31,7, Швеція – 31,6, Німеччина – 31,4, Сінгапур – 30,9, Франція – 30,1, Катар – 29,4, Росія – 12,1, Україна – 7,6 тис. дол.

Великі надходження у нафтодобувних країнах Перської затоки пояснюються експортом нафти та невеликою густиною населення (Об'єднані Арабські Емірати, Саудівська Аравія, Катар, Бруней).

Основними рушійними силами глобалізації є [3]: тривале зростання світової економіки; експансія найновіших технологій у міжнародних транспортних коридорах (МТК); розвиток та інтеграція макрорегіональних господарських структур, нові можливості для формування глобальних логістичних ланцюгів; реалізація процедур дерегулювання. Глобальна логістика підкоряється тим же законам, що і внутрішньонаціональна, але

світовий ринок диктує особливості глобальної логістики.

Основні елементи глобальної логістики в сучасних умовах розвитку міжнародної економіки визначаються як: позиціонування, інтеграція, гнучкість, вимірюваність, інтермодальність. Позиціонування являє собою надбудову глобальної логістичної стратегії фірми, що встановлює напрями та основний зміст процесів у глобальних логістичних ланцюгах для досягнення конкурентних переваг. Інтеграція передбачає високий ступінь партнерських зв'язків, обмін даних між ними у стандартизованих формах у режимі реального масштабу часу за рахунок використання сучасних інформаційних технологій. Гнучкість – здатність фірми до швидкого реагування на специфічні запити споживачів шляхом адекватного впровадження змін як у виробництві, так і в дистрибуції відповідно до їхніх вимог. Вимірюваність – спроможність фірми до моніторингу логістичного менеджменту з метою провадження подальшого поліпшення своєї діяльності на світовому ринку. Інтермодальність технологій – це забезпечення перевезення «від дверей до дверей», що підготовлюються і виконуються під єдиним керівництвом одного центру. Її організатор на всіх етапах розроблення і здійснення перевізного процесу цілеспрямовано погоджує дії всіх сторін, що беруть участь у ньому: вантажовласників, перевізників і перевізних комплексів — в інтересах прискорення перевезення товарів і зниження сукупних витрат на їх перевезення.

Наведено питання управління ключами виробництва і проблеми матеріально-технічного планування і доступні для вирішення їх основних методів на перший погляд. Розглядаються питання стратегічного управління виробництвом, проектування інфраструктури системи виробництва, оперативного планування й управління

виробництвом, а також логістичних процесів, ланцюжками поставок [4].

Сучасна логістика поєднує в собі інформаційні технології з керуванням на транспорті. Ультрасучасний Taschenlexikon забезпечує найбільш важливі терміни і скорочення. Наведено нові концепції й ілюстрації, директиви і стандарти [5].

У статті [6] наведено основи дослідження операцій та принципи побудови математичних моделей при випадкових процесах.

У статті [7] розроблена система підтримки прийняття рішень з застосуванням теорії нечітких множин для оперативного визначення ефективності інтермодальних перевезень.

У статті [8] наведено математичне моделювання руху мобільного залізничного вагона при доставленні пошти і вантажо-багажу в міжнародному сполученні.

Виклад основного матеріалу.

Важливим елементом процесу глобалізації зовнішньоекономічної діяльності є організація міжнародних транспортних коридорів.

Поняття «міжнародний транспортний коридор» трактується Робочою групою Європейської комісії з проблем розвитку транспортних коридорів як наявність автомобільного, залізничного, водного та змішаних видів транспорту, які здійснюють свою діяльність у безпосередній близькості один від одного або віддалених на багато кілометрів, але орієнтованих в одному загальному напрямку.

Як приклад сучасної технології в зовнішньоекономічній діяльності із застосуванням засад глобальної логістики наведено транспортний коридор Україна – Китай.

15 січня 2016 року в Іллічівську відбулося урочисте відправлення першого демонстраційного рейсу контейнерного поїзда за маршрутом Україна – Грузія – Азербайджан – Казахстан – Китай. Цей маршрут є новим напрямком «Шовкового шляху» і альтернативним шляхом доставки

вантажів із Заходу на Схід в обхід території Російської Федерації. Транспортний коридор презентували в Іллічівському порту під Одесою. Маршрут прямування Україна – Китай через територію Грузії, Азербайджану та Казахстану в обхід Росії. Маршрут пролягає Східною Європою, через Південно-Західну Азію, Центральну Азію на Далекий Схід. Пором, який у змозі транспортувати до 100 залізничних вагонів із контейнерами, спершу йтиме Чорним морем до Батумі, потім до берегів Каспійського моря. А перетнувши його, продовжить свій маршрут по Середній Азії. Організація такого шляху – це вимушена відповідь України Росії, яка з Нового року обмежила, а фактично заборонила транзит українських товарів своєю територією. 5,5 тис. км до Китаю новий залізничний караван має здолати за 11 днів.

Розвиток контейнерних перевезень у напрямі Китай – Казахстан – Азербайджан – Грузія – Україна – Європа засть змогу залучити додаткові обсяги транзиту через територію України. Крім того, зростання транзитного вантажопотоку приведе до збільшення фінансових надходжень в українську залізницю, порти, поромні переправи, а це означає поповнення бюджету України.

Основою застосування глобальної логістики в зовнішньоекономічній діяльності є міжнародні транспортні коридори, які передбачають швидке і безпечне просування вантажів. Це досягається в тому числі шляхом створення пільгових умов вантажоперевезень на маршрутах конкретного МТК, коли у його кордонах:

– діють спрощені правила митного, санітарного, прикордонного, оформлення переміщення вантажів;

– застосовуються пільгові (знижені на 25-50 %) тарифи на всі види транспортних послуг і зборів, у тому числі при митному, прикордонному, санітарному оформленні при перевезеннях, по термінальних, портових зборах тощо;

– існує єдиний міжнародний орган керування, що об'єднує і синхронізує роботу окремих ділянок і служб;

– діє міжнародна правова база, забезпечені надійний захист та безпека вантажів;

– застосовується єдина інтермодальна технологія перевезень вантажів.

Основним для створення і функціонування МТК в глобальній логістиці є принцип рівної зацікавленості, коли отриманий прибуток як підсумковий результат діяльності розподіляється пропорційно частковому внеску кожної сторони. Самі ж МТК можуть створюватися за двома напрямками: за рахунок нового будівництва та шляхом удосконалення і реконструкції вже існуючих транспортних магістралей.

Дослідні перевезення великотоннажних контейнерів контейнерним поїздом «шовковим шляхом» Україна – Китай у січні 2016 року показали можливість таких перевезень в обхід традиційного російського трансконтинентального напрямку. Разом з тим термін доставки контейнерів склав 15,5 доб, а вартість доставки одного контейнера – 5,5 тис. дол., що значно перевищує ці ж показники російського трансконтинентального напрямку перевезень.

Математичне моделювання руху контейнерних поїздів. Ураховуючи велику кількість некерованих факторів, які негативно впливають на рух поїздів а саме: низька надійність транспортних систем залізниць держав – учасниць перевезень, людський фактор, кліматичні умови при прямуванні поромними переправами та інше, приймаємо всі процеси цілком випадковими. Це дає можливість у системі масового обслуговування скласти диференціальні рівняння Колмогорова. Замість диференціальних рівнянь для ймовірностей станів у випадку, коли станів системи велика кількість, наприклад більше десяти, доцільно написати рівняння безпосередньо для середніх кількостей

станів. У цих рівняннях можливо розв'язати поставлену задачу визначенням імовірності станів тільки одного окремого елемента (одного поїзда).

Для оптимізації руху вантажних поїздів побудовано граф і складено системи диференціальних рівнянь імовірності станів за методом динаміки середніх, що наведений на рисунку.

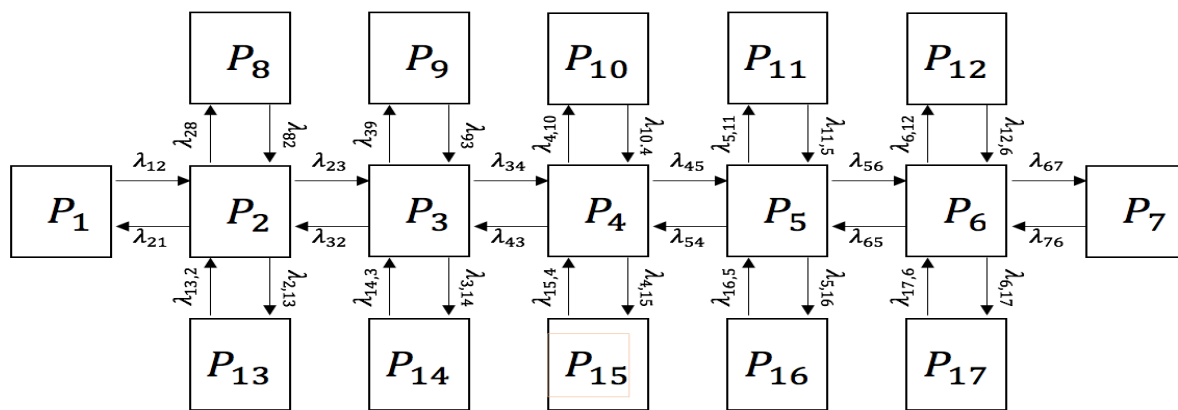


Рис. Розмічений граф станів руху вантажного поїзда міжнародним транспортним коридором Україна – Китай

Відповідно до графа станів на рисунку:

P_1 – ймовірність перебування поїзда під вантажними операціями на залізниці України;

P_2 – ймовірність перебування вантажного поїзда під операціями руху на залізниці України;

P_3 – ймовірність перебування вантажного поїзда під операціями руху на залізниці в Грузії;

P_4 – ймовірність перебування вантажного поїзда під операціями руху на залізниці в Азербайджані;

P_5 – ймовірність перебування вантажного поїзда на залізниці Казахстану,

P_6 – ймовірність перебування вантажного поїзда на залізниці Китаю;

P_7 – ймовірність перебування поїзда під вантажними операціями на залізниці Китаю;

P_8 – ймовірність перебування поїзда під митними операціями на залізниці України;

P_9 – ймовірність перебування вантажного поїзда під митними операціями на залізниці Грузії;

P_{10} – ймовірність перебування вантажного поїзда під митними операціями на залізниці Азербайджану;

P_{11} – ймовірність перебування вантажного поїзда під митними операціями на залізниці Казахстану;

P_{12} – ймовірність перебування вантажного поїзда під митними операціями на залізниці Китаю;

P_{13} – ймовірність перебування вантажного поїзда під технічним і комерційним оглядом на залізниці України;

P_{14} – ймовірність перебування вантажного поїзда під технічним і комерційним оглядом на залізниці Грузії;

P_{15} – ймовірність перебування вантажного поїзда під технічним і комерційним оглядом на залізниці Азербайджану;

P_{16} – ймовірність перебування вантажного поїзда під технічним і комерційним оглядом на залізниці Казахстану;

P_{17} – ймовірність перебування вантажного поїзда під технічним і комерційним оглядом на залізниці Китаю.

Система диференціальних рівнянь для даного МТК Україна – Китай буде мати вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1}{dt} = -\lambda_{12}P_1 + \lambda_{21}P_2 \\ \frac{dP_2}{dt} = -P_2(\lambda_{21} + \lambda_{28} + \lambda_{2,13} + \lambda_{23}) + \lambda_{12}P_1 + \lambda_{82}P_8 + \lambda_{13,2}P_{13} + \lambda_{32}P_3 \\ \frac{dP_3}{dt} = -P_3(\lambda_{32} + \lambda_{39} + \lambda_{34} + \lambda_{3,14}) + \lambda_{23}P_2 + \lambda_{93}P_9 + \lambda_{43}P_4 + \lambda_{14,3}P_{14} \\ \frac{dP_4}{dt} = -P_4(\lambda_{43} + \lambda_{4,10} + \lambda_{45} + \lambda_{4,15}) + \lambda_{34}P_3 + \lambda_{10,4}P_{10} + \lambda_{54}P_5 + \lambda_{15,4}P_{15} \\ \frac{dP_5}{dt} = -P_5(\lambda_{54} + \lambda_{5,11} + \lambda_{56} + \lambda_{5,16}) + \lambda_{45}P_4 + \lambda_{11,5}P_{11} + \lambda_{65}P_6 + \lambda_{16,5}P_{16} \\ \frac{dP_6}{dt} = -P_6(\lambda_{65} + \lambda_{6,12} + \lambda_{67} + \lambda_{6,17}) + \lambda_{56}P_5 + \lambda_{12,6}P_{12} + \lambda_{76}P_7 + \lambda_{17,6}P_{17} \\ \frac{dP_7}{dt} = -\lambda_{76}P_7 + \lambda_{67}P_6 \\ \frac{dP_8}{dt} = -\lambda_{82}P_8 + \lambda_{28}P_2 \\ \frac{dP_9}{dt} = -\lambda_{93}P_9 + \lambda_{39}P_3 \\ \frac{dP_{10}}{dt} = -\lambda_{10,4}P_{10} + \lambda_{4,10}P_4 \\ \frac{dP_{11}}{dt} = -\lambda_{11,5}P_{11} + \lambda_{5,11}P_5 \\ \frac{dP_{12}}{dt} = -\lambda_{12,6}P_{12} + \lambda_{6,12}P_6 \\ \frac{dP_{13}}{dt} = -\lambda_{13,2}P_{13} + \lambda_{2,13}P_2 \\ \frac{dP_{14}}{dt} = -\lambda_{14,3}P_{14} + \lambda_{3,14}P_3 \\ \frac{dP_{15}}{dt} = -\lambda_{15,4}P_{15} + \lambda_{4,15}P_4 \\ \frac{dP_{16}}{dt} = -\lambda_{16,5}P_{16} + \lambda_{5,16}P_5 \\ \frac{dP_{17}}{dt} = -\lambda_{17,6}P_{17} + \lambda_{6,17}P_6 \end{array} \right. \quad (1)$$

Система алгебраїчних рівнянь для фінальних ймовірностей станів (2):

$$\left\{ \begin{array}{l}
 -\lambda_{12}P_1 + \lambda_{21}P_2 = 0 \\
 -P_2(\lambda_{21} + \lambda_{28} + \lambda_{2,13} + \lambda_{23}) + \lambda_{12}P_1 + \lambda_{82}P_8 + \lambda_{13,2}P_{13} + \lambda_{32}P_3 = 0 \\
 -P_3(\lambda_{32} + \lambda_{39} + \lambda_{34} + \lambda_{3,14}) + \lambda_{23}P_2 + \lambda_{93}P_9 + \lambda_{43}P_4 + \lambda_{14,3}P_{14} = 0 \\
 -P_4(\lambda_{43} + \lambda_{4,10} + \lambda_{45} + \lambda_{4,15}) + \lambda_{34}P_3 + \lambda_{10,4}P_{10} + \lambda_{54}P_5 + \lambda_{15,4}P_{15} = 0 \\
 -P_5(\lambda_{54} + \lambda_{5,11} + \lambda_{56} + \lambda_{5,16}) + \lambda_{45}P_4 + \lambda_{11,5}P_{11} + \lambda_{65}P_6 + \lambda_{16,5}P_{16} = 0 \\
 -P_6(\lambda_{65} + \lambda_{6,12} + \lambda_{67} + \lambda_{6,17}) + \lambda_{56}P_5 + \lambda_{12,6}P_{12} + \lambda_{76}P_7 + \lambda_{17,6}P_{17} = 0 \\
 -\lambda_{76}P_7 + \lambda_{67}P_6 = 0 \\
 -\lambda_{82}P_8 + \lambda_{28}P_2 = 0 \\
 -\lambda_{93}P_9 + \lambda_{39}P_3 = 0 \\
 -\lambda_{10,4}P_{10} + \lambda_{4,10}P_4 = 0 \\
 -\lambda_{11,5}P_{11} + \lambda_{5,11}P_5 = 0 \\
 -\lambda_{12,6}P_{12} + \lambda_{6,12}P_6 = 0 \\
 -\lambda_{13,2}P_{13} + \lambda_{2,13}P_2 = 0 \\
 -\lambda_{14,3}P_{14} + \lambda_{3,14}P_3 = 0 \\
 -\lambda_{15,4}P_{15} + \lambda_{4,15}P_4 = 0 \\
 -\lambda_{16,5}P_{16} + \lambda_{5,16}P_5 = 0 \\
 -\lambda_{17,6}P_{17} + \lambda_{6,17}P_6 = 0
 \end{array} \right. \quad (2)$$

Підставивши в систему (1) диференціальних рівнянь ймовірності станів замість P середні кількості станів m ,

отримаємо систему диференціальних рівнянь динаміки середніх:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \frac{dm_1}{dt} = -\lambda_{12}m_1 + \lambda_{21}m_2 \\
 \frac{dm_2}{dt} = -m_2(\lambda_{21} + \lambda_{28} + \lambda_{2,13} + \lambda_{23}) + \lambda_{12}m_1 + \lambda_{82}m_8 + \lambda_{13,2}m_{13} + \lambda_{32}m_3 \\
 \frac{dm_3}{dt} = -m_3(\lambda_{32} + \lambda_{39} + \lambda_{34} + \lambda_{3,14}) + \lambda_{23}m_2 + \lambda_{93}m_9 + \lambda_{43}m_4 + \lambda_{14,3}m_{14} \\
 \frac{dm_4}{dt} = -m_4(\lambda_{43} + \lambda_{4,10} + \lambda_{45} + \lambda_{4,15}) + \lambda_{34}m_3 + \lambda_{10,4}m_{10} + \lambda_{54}m_5 + \lambda_{15,4}m_{15} \\
 \frac{dm_5}{dt} = -m_5(\lambda_{54} + \lambda_{5,11} + \lambda_{56} + \lambda_{5,16}) + \lambda_{45}m_4 + \lambda_{11,5}m_{11} + \lambda_{65}m_6 + \lambda_{16,5}m_{16} \\
 \frac{dm_6}{dt} = -m_6(\lambda_{65} + \lambda_{6,12} + \lambda_{67} + \lambda_{6,17}) + \lambda_{56}m_5 + \lambda_{12,6}m_{12} + \lambda_{76}m_7 + \lambda_{17,6}m_{17} \\
 \frac{dm_7}{dt} = -\lambda_{76}m_7 + \lambda_{67}m_6 \\
 \frac{dm_8}{dt} = -\lambda_{82}m_8 + \lambda_{28}m_2 \\
 \frac{dm_9}{dt} = -\lambda_{93}m_9 + \lambda_{39}m_3 \\
 \frac{dm_{10}}{dt} = -\lambda_{10,4}m_{10} + \lambda_{4,10}m_4 \\
 \frac{dm_{11}}{dt} = -\lambda_{11,5}m_{11} + \lambda_{5,11}m_5 \\
 \frac{dm_{12}}{dt} = -\lambda_{12,6}m_{12} + \lambda_{6,12}m_6 \\
 \frac{dm_{13}}{dt} = -\lambda_{13,2}m_{13} + \lambda_{2,13}m_2 \\
 \frac{dm_{14}}{dt} = -\lambda_{14,3}m_{14} + \lambda_{3,14}m_3 \\
 \frac{dm_{15}}{dt} = -\lambda_{15,4}m_{15} + \lambda_{4,15}m_4 \\
 \frac{dm_{16}}{dt} = -\lambda_{16,5}m_{16} + \lambda_{5,16}m_5 \\
 \frac{dm_{17}}{dt} = -\lambda_{17,6}m_{17} + \lambda_{6,17}m_6
 \end{array} \right. \quad (3)$$

Нормувальна умова:

$$\begin{aligned}
 & m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 + m_8 + \\
 & + m_9 + m_{10} + m_{11} + m_{12} + m_{13} + m_{14} + m_{15} + m_{16} + m_{17} = N. \quad (4)
 \end{aligned}$$

Початкові умови

$$\begin{aligned}
 & t = 0, m_1 = N, m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = m_6 = m_7 = m_8 = \\
 & = m_9 = m_{10} = m_{11} = m_{12} = m_{13} = m_{14} = m_{15} = m_{16} = m_{17} = 0.
 \end{aligned}$$

де N – кількість вантажних поїздів, що перебувають одночасно в МТК Україна – Китай.

Аналогічні математичні моделі побудовано для дослідження технологічних процесів транспортних напрямків: Україна – США, Україна – Німеччина, Україна – Кіпр, Україна – Австрія, Україна – Велика Британія, Україна – Канада, Україна – Австралія, Україна – Індонезія, Україна – країни Балтії, Україна – Польща, Україна – Нідерланди та ін.

Поява нових технологій перевезення вантажів у міжнародних сполученнях сприяє розвитку глобальної логістики за участю залізниць України. Потенціал глобальної логістики має бути спрямований на виконання стратегічних цілей суб'єктів господарювання. Ці цілі конкретизуються в завданнях глобальної логістики: оптимізація функціонального циклу глобальної логістики (скорочення його тривалості за рахунок прискорення міжнародних перевезень, зменшення кількості посередницьких структур); розвиток логістичної інфраструктури в зовнішньоекономічному просторі; розвиток інформаційного забезпечення глобальних логістичних процесів, спрощення митних процедур та ін.

Перспективні технології перевезень вантажів напрямку Україна – Китай. Поява нових технологій сприяє розвитку глобальної логістики за участю України. Потенціал глобальної логістики має бути спрямований на виконання стратегічних цілей суб'єктів господарювання. Ці цілі конкретизуються в завданнях глобальної логістики: оптимізація функціонального циклу глобальної логістики (скорочення

його тривалості за рахунок прискорення міжнародних перевезень, зменшення кількості посередницьких структур); розвиток логістичної інфраструктури в зовнішньоекономічному просторі; розвиток інформаційного забезпечення глобальних логістичних процесів та запровадження космічних систем GPS. Цей напрямок руху можна використати для розвитку торгових відношень також з Грузією, Азербайджаном та Казахстаном.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Покращення економічного стану України, посилення ефективності власної економіки, збільшення перевезень вантажів залежить від розвитку міжнародних торгових відносин за рахунок оптимального використання переваг міжнародного розподілу праці та збільшення експорту товарів власного виробництва за рахунок підвищення їх конкурентоспроможності. Перспективними напрямками в міжнародній торгівлі для України є авіабудування, аерокосмічна техніка, транспортне машинобудування, вироблення сучасної військової техніки, більш повне використання науково-технічного потенціалу. Один з головних напрямків підвищення експортних надходжень в економіку країни – збільшення транзитних перевезень транспортними магістралями України з використанням засад глобальної логістики.

Математичне моделювання руху вантажних поїздів дає змогу виявити вузькі місця в технології й технічному оснащенні пристроїв та запровадити заходи з прискорення їх прямування в МТК.

Список використаних джерел

1. Економіка зарубіжних країн [Текст]: навч. посібник / за ред. Ю.Г. Козака, В.В. Ковалевського, В.М. Осипова. – 3-тє вид., перероб. та доп.. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 544 с.
2. ADB Publication-Key Indicators of Developing Asia and Pacific Gountries People's Republic of Cina [Text]. – 2001. – P. 127,129.

3. Günther H.-O., Tempelmeier H. Produktion und Logistik [Text]. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 2003. – 359 S.
4. Heidenblut V., Hompel M. Taschenlexikon Logistik [Text]. - Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 2006. – 271 S.
5. Johan L. Kent, Daniel J. Flint, “Perspektives on the Evolution of Logistics Thought” [Text]. .Jornal of Busines Logistics, February 1997. – P. 15-29.
6. Вентцель, Е. С. Исследование операми [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 552 с.
7. Шилаєв, П. С. Розроблення системи підтримки прийняття рішень із застосуванням теорії нечітких множин для оперативного визначення ефективності інтермодальних перевезень [Текст] / П. С. Шилаєв // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 124. – С. 147-154.
8. Котенко, А. М. Математичне моделювання руху мобільного залізничного вагона при доставленні пошти і вантажобагажу в міжнародному сполученні [Текст] / А. М. Котенко, П. С. Шилаєв, О. О. Пархоменко // Science Rise. – 2015. – № 3/2(8). – С.7-11.

Котенко Анатолій Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057- 730-10-85.

Шевченко Віталій Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-10-85.

Kotenko, Anatoliy Mykolajovych, tehnicnih Doctor of Sciences, Professor, Department of upravlinnya vantazhnoyu i komertsiynoyu robots Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 057- 730-10-85.

Schewshenko, Witalij Iwanowich, PhD. tehn. Sciences, Dozent, Department of upravlinnya vantazhnoyu i komertsiynoyu robots Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 057- 730-10-85.

Стаття прийнята 12.12.2016 р.

УДК 629.4

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ВАРІАНТА ОНОВЛЕННЯ ЛОКОМОТИВІВ З УРАХУВАННЯМ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

О. В. Рудковський, д-р техн. наук Ю. Є. Калабухін

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВАРИАНТА ОБНОВЛЕНИЯ ЛОКОМОТИВОВ С УЧЕТОМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

О. В. Рудковский, д-р техн. наук Ю. Е. Калабухин

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OPTIONS FOR UPDATING LOKOMOTIVES WITH LIFE-CYCLE

О. V. Rudkovsky, Dr. Sc. Sciences Y. E. Kalabuhin

Проаналізовано проблеми, що виникають у зв'язку із реалізацією програми оновлення тягового рухомого складу локомотивного господарства залізниць України. Розглянуто теоретичні підходи до техніко-економічного обґрунтування вибору варіанта оновлення локомотивів за рахунок придбання нових зразків або модернізації існуючих з урахуванням життєвого циклу. Визначено, що запропонований теоретичний підхід може бути

покладений в основу техніко-економічного обґрунтування інвестиційних рішень розвитку локомотивного господарства залізниць України.

Ключові слова: тяговий рухомий склад, оновлення, модернізація, техніко-економічний аналіз, життєвий цикл, вартість життєвого циклу.

Приведен анализ проблем, которые возникают в связи с реализацией программы обновления тягового подвижного состава локомотивного хозяйства железных дорог Украины. Рассмотрен теоретический подход к технико-экономическому обоснованию выбора варианта обновления локомотивов за счет приобретения новых образцов или модернизации существующих с учетом жизненного цикла. Определено, что предлагаемый теоретический подход может быть положен в основу технико-экономического обоснования инвестиционных решений развития локомотивного хозяйства железных дорог Украины.

Ключевые слова: тяговой подвижной состав, обновление, модернизация, технико-экономический анализ, жизненный цикл, стоимость жизненного цикла.

An analysis of the problems that arise in connection with the implementation of the program of renovation of traction rolling stock locomotive economy of railways of Ukraine. The theoretical approach to feasibility select the option upgrade locomotives due to the acquisition of new samples, or upgrading existing, taking into account the life cycle. It determined that the proposed-my theoretical approach could be the basis for a feasibility study on the investment decisions of a locomotive economy of railways of Ukraine.

Keywords: traction rolling stock, upgrading, modernization, technical and economic analysis, life cycle, life cycle cost.

Вступ та актуальність теми. Забезпечення перевезень залізницями України в необхідному обсязі на теперішній час залишається під питанням у зв'язку із несприятливим становищем тягового рухомого складу. Так, середній вік тепловозів перевищує нормативні терміни, а їх планове оновлення майже не проводилось за останні 20 років. Це викликає погіршення загального технічного стану, зниження експлуатаційної надійності та значне зростання експлуатаційних витрат.

Проблема оновлення парку локомотивів може бути вирішена як за рахунок придбання та постачання нового, так і модернізації існуючого тягового рухомого складу з подовженням терміну служби. В умовах недофінансування галузі вибір варіанта оновлення потребує проведення техніко-економічного аналізу з обов'язковим урахуванням життєвого циклу конкретної серії локомотива.

Огляд досліджень. Питанням використання аналізу LCC (Life Cycle Cost) як інструменту в процесі прийняття рішення при реалізації рішень стосовно оновлення тягового рухомого складу приділяється в останні 10 років важлива увага.

В роботах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] подано як загальні теоретичні положення вартості життєвого циклу, так і відносно до життєвого циклу тягового рухомого складу, обумовлена необхідність використання LCC-аналізу для вирішення проблеми оновлення локомотивів. В роботах [9, 10] надано підхід та принципи методології оцінки вартості життєвого циклу та її складових для тягового рухомого складу. В статті [11] зіставлені результати LCC-аналізу серійного тепловоза BR232 та сучасного серії ER20, що експлуатуються компанією EVB (Германія).

Мета роботи. Метою статті є виклад теоретичних положень техніко-

економічного аналізу при виборі варіантів оновлення тягового рухомого складу за рахунок придбання нової техніки чи модернізації існуючої з подовженням терміну її служби з урахуванням життєвого циклу.

Основна частина. Нормативний термін служби нової тягової одиниці складає T_n років, модернізованої – T_m років. Очевидно, що $T_n > T_m$. За цих умов порівняння альтернативних варіантів оновлення слід проводити за період T_m . Для обох варіантів, як припущення, приймаємо однакові обсяги експлуатаційної роботи як

за окремими роками, так і за весь період, тобто $\sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_m} OEP_t^H = \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_m} OEP_t^M$, де

OEP_t^M , OEP_t^H – поточне значення обсягу експлуатаційної роботи відповідно, модернізованої та нової тягової одиниці на момент року t в одиницях експлуатаційної роботи (о.е.р.).

Протягом періоду, що розглядається, можливі такі варіанти співвідношення вартості життєвих циклів нової тягової одиниці LCC_n та модернізованої LCC_m :

- 1) $\sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_m} LCC_t^H \geq \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_m} LCC_t^M$ при $t_p \leq t \leq t_p + T_m$;
- 2) $\sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_m} LCC_t^H \leq \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_m} LCC_t^M$ при $t_p \leq t \leq t_p + T_m$;
- 3) $\left\{ \begin{array}{l} \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_d} LCC_t^H \geq \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_d} LCC_t^M \text{ при } t_p \leq t \leq t_p + T_d; \\ \sum_{t=t_d}^{t=T_m} LCC_t^H \leq \sum_{t=t_d}^{t=T_m} LCC_t^M \text{ при } t_d \leq t \leq T_m; \end{array} \right.$
- 4) $\left\{ \begin{array}{l} \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_d} LCC_t^H \leq \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_d} LCC_t^M \text{ при } t_p \leq t \leq t_p + T_d; \\ \sum_{t=t_d}^{t=T_m} LCC_t^H \geq \sum_{t=t_d}^{t=T_m} LCC_t^M \text{ при } t_d \leq t \leq T_m, \end{array} \right.$

де LCC_t^M , LCC_t^H – поточне значення вартості життєвого циклу відповідно модернізованої та нової тягової одиниці на момент року t , грн.;

t_p – розрахунковий рік життєвого циклу;

T_d – період пріоритетного використання одного з альтернативних варіантів оновлення тягового рухомого складу, рр.

Очевидно, за результатами першого варіанта співвідношення вартості життєвих циклів переважною є модернізація існуючих зразків техніки перед придбанням нових зразків, за результатами другого варіанта – придбання нових зразків перед модернізацією існуючих зразків техніки.

Третій та четвертий варіанти співвідношення вартості життєвих циклів

потребують додаткового техніко-економічного аналізу. Для цих варіантів характерною є точка перетину вартості життєвих циклів за варіантами оновлення в декотрий рік t_d . Очевидно, що у випадку, коли період T_d перевищує період T_m , можна стверджувати про доцільність придбання

нового зразка тягового рухомого складу в порівнянні з модернізацією існуючої тягової одиниці.

На рисунку наведено третій варіант співвідношення вартості життєвих циклів модернізованої та нової тягової одиниці.

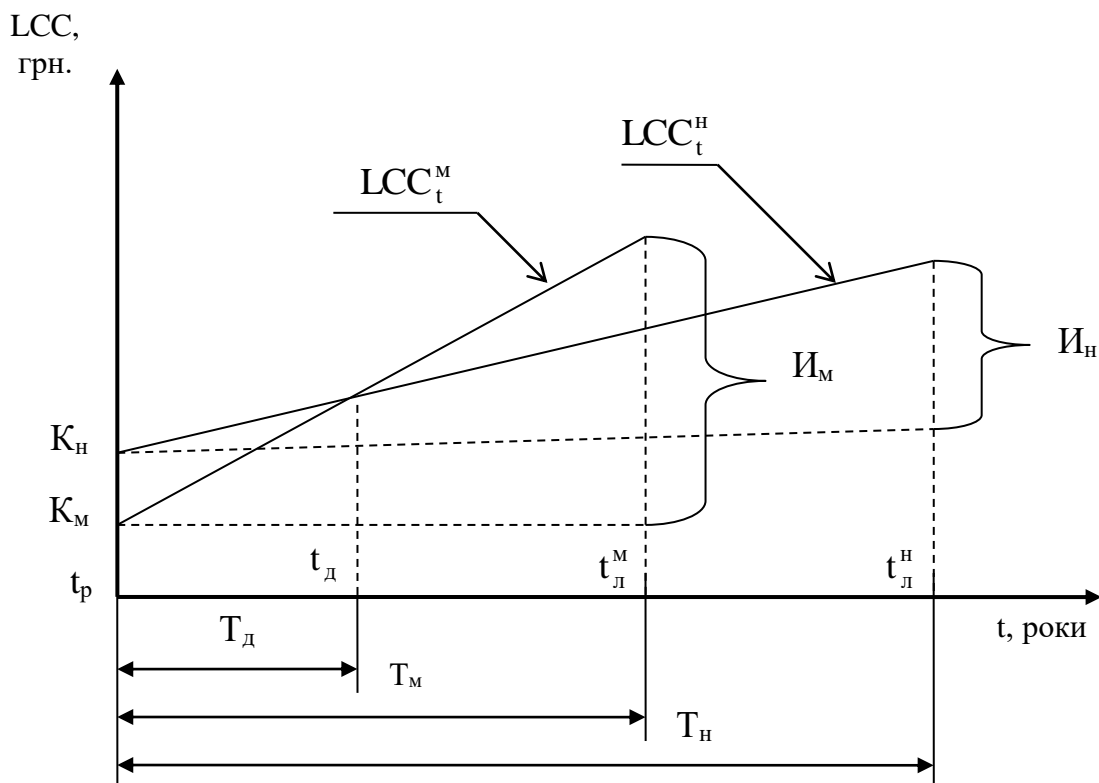


Рис. Зміна вартості життєвого циклу тягової одиниці протягом етапу використання

Вартість життєвого циклу тягової одиниці за весь період використання визначається за формулами:

- модернізованої

$$LCC_M = K_M + I_M - L_M; \quad (1)$$

- нової

$$LCC_H = K_H + I_H - L_H, \quad (2)$$

де K_M , K_H – одноразові витрати відповідно на модернізацію існуючої та придбання нової тягової одиниці, грн;

I_M , I_H – після продажні витрати за весь період життєвого циклу відповідно, модернізованої та нової тягової одиниці, грн;

L_M , L_H – ліквідаційне сальдо відповідно модернізованої та нової тягової одиниці, грн.

Приймаємо, що модернізація існуючої або придбання нової тягової одиниці здійснюється на момент розрахункового року t_p . Це дозволяє врахувати одноразові витрати на модернізацію існуючої та придбання нової тягової одиниці з коефіцієнтом дисконтування $\alpha_t=1,0$.

Післяпродажні витрати за весь період життєвого циклу тягової одиниці визначаються за формулами:

- модернізованої

$$I_M = \sum_{t=t_p}^{t=T_M} (I_t^M + C_t^{KPM}) \cdot \alpha_t; \quad (3)$$

- нової

$$I_H = \sum_{t=t_p}^{t=T_H} (I_t^H + C_t^{KPH}) \cdot \alpha_t, \quad (4)$$

де C_t^{KPM}, C_t^{KPH} – ціна капітального ремонту тягової одиниці відповідно модернізованої та нової, грн.

Коефіцієнт дисконтування визначається α_t за формулою

$$\alpha_t = (1 + E_H)^{t_p - t}, \quad (5)$$

де E_H – норма дисконту.

Річна складова післяпродажних витрат в рік t життєвого циклу тягової одиниці визначається за формулами:

- модернізованої

$$I_t^M = I_t^{M.pr.v} + I_t^{M.zv} + I_t^{M.a}; \quad (6)$$

- нової

$$I_t^H = I_t^{H.pr.v} + I_t^{H.zv} + I_t^{H.a}, \quad (7)$$

де $I_t^{M.pr.v}, I_t^{H.pr.v}$ – прямі виробничі витрати на експлуатацію та утримання відповідно модернізованої та нової тягової одиниці в технічно справному стані в рік t життєвого циклу, грн;

$I_t^{M.zv}, I_t^{H.zv}$ – загально виробничі витрати, що припадають відповідно на модернізовану та нову тягову одиницю, грн;

$I_t^{M.a}, I_t^{H.a}$ – адміністративні витрати, що припадають відповідно на модернізовану та нову тягову одиницю, грн.

За умови складності визначення впливу використання модернізованої або нової тягової одиниці на значення загально виробничих та адміністративних витрат приймаємо $I_t^{M.zv} = I_t^{H.zv} = I_t^{zv}$, та $I_t^{M.a} = I_t^{H.a} = I_t^a$, де I_t^{zv}, I_t^a – відповідно загально виробничі та адміністративні витрати на одиницю існуючої серії тягового рухомого складу.

Ліквідація тягової одиниці здійснюється в останньому році періоду життєвого циклу, тобто модернізованої тягової одиниці в рік $t_L^M = t_p + T_M$, а нової в рік $t_L^H = t_p + T_H$ рисунок. Ліквідаційне сальдо тягової одиниці за цих умов враховується з відповідними коефіцієнтами дисконтування, а саме:

- для модернізованої тягової одиниці

$$\alpha_{t_L^M} = (1 + E_H)^{t_p - t_L^M} = \frac{1}{(1 + E_H)^{T_M}}; \quad (8)$$

- для нової тягової одиниці

$$\alpha_{t_L^H} = (1 + E_H)^{t_p - t_L^H} = \frac{1}{(1 + E_H)^{T_H}}. \quad (9)$$

Виходячи з того, що при аналізі вартість життєвого циклу альтернативних варіантів оновлення розглядається за період життєвого циклу модернізованої тягової одиниці T_M , для якого виконується умова $T_M \ll T_H$, ліквідаційне сальдо нової тягової одиниці у формулі (2) не враховується.

З урахуванням вищевказаного вартість життєвого циклу тягової одиниці за період T_M визначається за формулами:

- модернізованої

$$LCC_M = K_M + \sum_{t_p}^{t_p+T_M} (I_t^{M.пр.в} + I_t^{зв} + I_t^a + C_t^{KPM}) \cdot \alpha_t - \frac{J_M}{(1 + E_H)^{T_M}}; \quad (10)$$

- нової

$$LCC_H = K_H + \sum_{t_p}^{t_p+T_M} (I_t^{H.пр.в} + I_t^{зв} + I_t^a + C_t^{KPH}) \cdot \alpha_t. \quad (11)$$

Рік t_d (рисунок) визначає початок пріоритету техніко-економічних показників одного альтернативного варіанта оновлення тягової одиниці над іншим.

Очевидно, в рік t_d виконуються умови $LCC_{t_d}^M = LCC_{t_d}^H$ та $T_d \leq T_M \leq T_H$. Тобто в рік t_d ліквідація нового зразка тягового рухомого складу не передбачається, а модернізованого можлива, якщо $T_d = T_M$.

З урахуванням цього можна записати вираз для визначення періоду T_d пріоритетного використання одного альтернативного варіанта оновлення тягової одиниці над іншим $LCC_{t_d}^M = LCC_{t_d}^H$ або $LCC_{t_d}^M - LCC_{t_d}^H = 0$.

За період $t_p + T_d \leq t_p + T_M$ вартість життєвого циклу тягової одиниці визначається за формулами:

- модернізованої

$$LCC_{t_d}^M = K_M + \sum_{t_p}^{t_p+T_d} (I_t^{M.пр.в} + I_t^{зв} + I_t^a + C_t^{KPM}) \cdot \alpha_t - \frac{J_M}{(1 - E_H)^{T_M}}; \quad (12)$$

- нової

$$LCC_{t_d}^H = K_H + \sum_{t_p}^{t_p+T_d} (I_t^{H.пр.в} + I_t^{зв} + I_t^a + C_t^{KPH}) \cdot \alpha_t. \quad (13)$$

Очевидно, якщо за цей період $LCC_{t_d}^M \leq LCC_{t_d}^H$, то пріоритетним є використання модернізованої тягової одиниці перед новим зразком та навпаки – у разі $LCC_{t_d}^M \geq LCC_{t_d}^H$. Так як загальновиробничі

та адміністративні витрати на одиницю існуючої серії тягового рухомого складу для альтернативних варіантів однакові, то при проведенні техніко-економічного аналізу ними можна нехтувати. Тоді формули (12) та (13) набувають вигляду:

$$LCC_{t_d}^M = K_M + \sum_{t_p}^{t_p+T_d} (I_t^{M.пр.в} + C_t^{KPM}) \cdot \alpha_t - \frac{J_M}{(1 - E_H)^{T_M}}; \quad (14)$$

$$LCC_{t_d}^H = K_H + \sum_{t=t_p}^{t=t_p+T_d} (I_t^{H.пр.в} + Ц_t^{KPH}) \cdot \alpha_t. \quad (15)$$

Слід відзначити, що висновок про пріоритетність одного з альтернативних варіантів оновлення тягової одиниці буде дійсний лише до моменту отриманого значення t_d . Тому наступним кроком у вирішенні питання пріоритетності того чи іншого альтернативного варіанта

оновлення тягової одиниці є проведення аналогічного техніко-економічного аналізу за період від моменту часу t_d до моменту $t_d^M = t_p + T_M$. За цей період формули (4) та (5) набувають вигляду:

$$LCC_{t_M}^M = LCC_{t_B}^M + \sum_{t=t_d}^{t=T_M} (I_t^{M.пр.в} + Ц_t^{KPM}) \cdot \alpha_t - \frac{J_M}{(1 - E_H)^{T_M}}; \quad (16)$$

$$LCC_{t_M}^H = LCC_{t_d}^H + \sum_{t=t_d}^{t=T_M} (I_t^{H.пр.в} + Ц_t^{KPH}) \cdot \alpha_t. \quad (17)$$

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, запропонований теоретичний підхід є подальшим розвитком положень техніко-економічного аналізу на основі вартості життєвого циклу і може бути покладений в основу техніко-

економічного обґрунтування інвестиційних рішень розвитку локомотивного господарства залізниць України. Перспективою подальших робіт у цьому напрямку дослідження є адаптація наведених показників до особливостей та обсягів експлуатаційної роботи тягового рухомого складу.

Список використаних джерел

1. Павлов, Л. Н. Концепция стоимости жизненного цикла как инструмент взаимодействия поставщиков и потребителей в условиях рыночной экономики в Европе [Текст] / Л. Н. Павлов // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 9. – С. 75-77.
2. Павлов, Л. Н. Оценка стоимости жизненного цикла железнодорожной техники [Текст] / Л. Н. Павлов, Ю. И. Соколов, Н. Е. Вавилов // Экономика железных дорог. – 2006. – № 11. – С. 15-19.
3. Иванова, Н. Г. Применение методики расчета стоимости жизненного цикла при оценке эффективности инноваций на железнодорожном транспорте [Текст] / Н. Г. Иванова // Локомотив-информ. – 2007. – № 8. – С. 12-15.
4. Иванова, Н. Г. Применение показателя стоимости жизненного цикла при оценке эффективности новых локомотивов [Текст] / Н. Г. Иванова // Бюллетень транспортной информации. – 2007. – № 1. – С. 21-25.
5. Калабухін, Ю. Є. Теоретичні положення визначення вартості життєвого циклу тягового рухомого складу [Текст] / Ю. Є. Калабухін // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна, 2008. – Вип. 24. – С. 221–225.

6. Калабухін, Ю. Є. Теоретичні положення оновлення тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу [Текст] / Ю. Є. Калабухін, Е. Д. Тартаковський // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С. 106-120.

7. Estimating the marginal costs of bridge damage due to overweight vehicles using a modified equivalent-vehicle methodology and in-service data on life-cycle costs and usage / Bismark R.D.K. Agbelie, Samuel Labi, Kumares C. Sinha // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – Vol. 95. – P. 275–288.

8. Combined Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing in the Eco-Care-Matrix: A case study on the performance of a modernized manufacturing system for glass containers / Johannes Auer, Niki Bey, Johannes-Marius Schäfer // Journal of Cleaner Production. – Vol. 141 – P. 99–109.

9. Методы оценки жизненного цикла подвижного состава железных дорог [Текст]: монография / Э. Д. Тартаковский, С. Г. Грищенко, Ю. Е. Калабухин, А. П. Фалендыш. – Л.: Ноулидж, 2011. – 174 с.

10. Тартаковский, Э. Д. Оценка жизненного цикла [Текст] / Э. Д. Тартаковский, А. П. Фалендыш, Ю. Е. Калабухин, С. Г. Грищенко // Локомотив-информ. – 2013. – № 2(80). – С. 56-60.

11. Сравнение затрат жизненного цикла на примере тепловозов серий BR232 и ER20 [Текст] // Железные дороги мира. – 2008. – № 11. – С. 67-71.

Калабухін Юрій Євгенович, д-р техн. наук, професор, декан економічного факультету Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-12.

Рудковський Олег Вадимович, викладач Одеського коледжу транспортних технологій.

Kalabuhin George E., dr. sc., professor, dean of the faculty of economics of Ukrainian state University of Railway Transport. Tel. (057) 730-10-12.

Rudkovskaya Oleg V., Odessa College lecturer transport.

Стаття прийнята 12.12.2010бр.

УДК 629.4.027

ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОФІЛЮ КОЛІСНИХ ПАР ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ

Канд. техн. наук П. О. Харламов, А. А. Деміденко

ОБОСНОВАНИЕ ПРОФИЛЯ КОЛЕСНЫХ ПАР ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ

Канд. техн. наук П. А. Харламов, А. А. Демиденко

THE STUDY OF THE PROFILE OF WHEELSETS FOR HIGH SPEED TRAINS

Cand. of techn. sciences P. Kharlamov, A. Demidenko

Зі збільшенням швидкостей руху, зі зростанням обсягів і номенклатури вантажів, що перевозяться, а також з розвитком пасажирських перевезень наблизила необхідність у проведенні експериментальних і теоретичних досліджень процесів, що відбуваються при взаємодії рухомого складу й колії, з метою забезпечення безпеки руху, задовільних динамічних якостей екіпажів і схоронності вантажів, що перевозяться.

Ключові слова: високошвидкісний рухомий склад, колісні пари, рейки, профіль кочення.

С увеличением скоростей движения, с ростом объемов и номенклатуры перевозимых грузов, а также с развитием пассажирских перевозок назрела необходимость в проведении экспериментальных и теоретических исследований процессов, происходящих при взаимодействии подвижного состава и пути, с целью обеспечения безопасности движения, удовлетворительных динамических качеств экипажей и сохранности перевозимых грузов.

Ключевые слова: высокоскоростной подвижной состав, колесные пары, рельсы, профиль катания.

With increasing speeds, with increasing volume and range of goods transported, as well as with the development of passenger traffic there is a need to conduct experimental and theoretical studies of the processes occurring in the interaction of rolling stock and track, in order to ensure traffic safety, satisfactory dynamic qualities of crew and safe delivery goods. These studies on various aspects of the rolling stock and the way of interaction over time, began to be formed as a separate branch of science. Most of them were devoted to the choice of the profile of the wheels of wheelsets rolling stock. Attempts to unify the profile to normalize some of its elements, primarily affecting the traffic safety have been many times. In order to reduce lateral wear of rails and wheel flanges undercut it was made complex investigations, mainly experimental, for the study of the wear of the wheels and tires of finding a rational profile wheels. It should be noted that the development of profiles of wheels used analytical methods of research, field experiments and performance monitoring, which did not allow sufficient detail to investigate the effect on the profile of the dynamic qualities of the crew and the wear characteristics of wheelsets and rails. At the present stage of development of theoretical methods for the study of dynamics of railway vehicles and their interaction with the way and means of computing and measurement technology capabilities to find the optimum combination of wheel and rail profiles have grown immeasurably.

Keywords: high-speed rolling stock, wheel sets, rails, riding profile.

Вступ. Після введення в експлуатацію високошвидкісних поїздів “Сапсан” було виявлено, що в контактуючих зонах поверхонь кочення коліс колісних пар з рейками є численні вибоїни. Наступні металографічні дослідження механічних властивостей металу дефектних колісних пар у зонах виникнення вибоїн показали, що дефекти на поверхнях кочення контактно-втомлювального походження, утворення яких відбувається внаслідок інтенсивної пластичної деформації поверхневого шару й розвитку в ньому численних мікротріщин. Відсутність у поверхневому шарі гартівних структур типу мартенситу й спрямованої поздовжньої деформації показало, що утворення мікротріщин не викликано проковзуванням коліс колісних пар по рейках при русі в режимах тяги й

гальмуванні. Був зроблений висновок, що інтенсивна пластична деформація поверхневого шару, розвиток у ньому мікротріщин і, як наслідок, численних вибоїн викликано вузькою зоною контактування поверхонь кочення коліс, що є результатом взаємодії профілів колії й рейок.

Поліпшення характеру руху екіпажу можливо або за рахунок коректування параметрів екіпажу, або за допомогою розроблення нового профілю колеса. В експлуатованому рухомому складі зміна його жорсткісних параметрів вимагає значних витрат засобів і часу, на відміну від переточування коліс колісних пар на новий профіль, оскільки обточування коліс є звичайною технологічною операцією при експлуатації всіх видів рухомого складу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останній час роботи багатьох авторів присвячені питанням зносу рейок і коліс колісних пар, а також розробленню профілю коліс. Основна спрямованість вітчизняних досліджень – зниження зношування коліс вантажних вагонів і локомотивів. Розробленню профілів коліс для швидкісного й високошвидкісного рухомого складу приділялася недостатня увага у зв'язку з відсутністю високошвидкісного руху на Українських залізницях до недавнього часу.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою дослідження є аналіз профілю поверхні кочення коліс для високошвидкісних поїздів ПАТ «Укрзалізниця», що буде забезпечувати пробіг між обточуваннями коліс не менше 200-250 тис. км, що відповідає середньому пробігу поїздів такого типу за кордоном, без утворення вибоїн бракувального розміру при збереженні динамічних властивостей вагонів у межах, що встановлені нормативними вимогами.

Основна частина дослідження. У теоретичних дослідженнях динаміки екіпажу як основні критерії оцінки використовувалися нормовані показники оцінки динамічних якостей екіпажу [1], відповідність яким є обов'язковою для тягового рухомого складу, призначеного для експлуатації на вітчизняних залізницях. До нормованих показників належать:

1. Коефіцієнт запасу стійкості проти сходу колеса з рейок, що являє собою відношення теоретичного значення напрямного зусилля (Y_n) до вертикальної сили в зоні контакту на колесі, що набігає (P_n), до його дослідного значення:

$$\lambda = (Y_n / P_n)_m / (Y_n / P_n)_{on}, \quad (1)$$

де теоретичне значення $(Y_n / P_n)_m = 1 / (\text{ctg} \gamma + \mu)$ отримано з умови статичної рівноваги колісної пари в рейковій колії в момент, коли зона контакту на

одному з коліс колісної пари перебуває на конічній частині гребеня, і ковзання або псевдосковзання мають місце тільки в поперечному напрямку усередину колії;

μ і γ – відповідно коефіцієнт тертя й кут нахилу гребеня до горизонту.

2. Показник плавності ходу, обумовлений методикою, наведеною в ОСТ 24.050.16-86 «Вагони пасажирські. Методика визначення плавності ходу».

3. Рамні сили – поперечні горизонтальні сили, що діють на колісну пару з боку обресорених мас екіпажу.

4. Коефіцієнти вертикальної динаміки в першому й другому щаблях ресорного підвішування; визначаються як відношення отриманого в розрахунках або експерименті динамічного прогину в даному щаблі підвішування до його статичного значення.

Крім нормованих критеріїв оцінки, у теоретичних дослідженнях використовувалися показники, що дозволяють при аналізі результатів виконувати більш глибоку порівняльну оцінку впливу досліджуваних профілів коліс колісних пар на динаміку екіпажу. Зокрема додатково реєструвалися поперечні горизонтальні сили, що характеризують зсув рейко-шпальних решіток, сили, що відновлюють, направляють, і кути набігання з урахуванням кривизни колії, обумовленої нерівностями колії в плані, вертикальні й поперечні горизонтальні прискорення кузова в зоні шворневого вузла й у середині кузова, кути повороту візків відносно кузова в горизонтальній площині й кути повороту кузова й візків відносно власних вертикальних осей координат.

При виконанні даної роботи маємо за мету обґрунтувати профіль колеса, який забезпечує динаміку екіпажу, що задовольняє вимоги норм безпеки [1], що й виключає можливість виникнення дефектів через втому на поверхні кочення коліс, а також не потребує обточування колісних пар на пробігу не менше 250 тис. км. Отже необхідно обрати критерії оцінки, що

дозволяють розрахунковими методами спрогнозувати інтенсивність зношування й зміну форми профілю колеса й потім із двома або трьома зношеними профілями коліс виконати розрахунки з оцінки динаміки екіпажу на відповідність нормативним вимогам.

У технічній літературі в якості теоретичного критерію, що дозволяє дати якісну оцінку зношування колеса, пропонується фактор зношування. За фактор зношування прийнята робота, затрачена на подолання сил тертя в зоні контакту при русі екіпажу. Зношування коліс колісних пар і рейок пов'язаний головним чином зі зношуванням гребеня колеса й бічної поверхні головки рейок, що лімітують подальшу експлуатацію колісних пар і рейок. У зв'язку з цим більша частина робіт, присвячених цьому питанню, пропонує для якісної оцінки фактор зношування, прив'язаний до цих зон. Так, у роботах [2, 3, 4] у якості фактора зношування пропонуються вирази

$$\Phi = Y_n \mu x / R, \quad (2)$$

$$\Phi = Y_n \mu x / R \sin \gamma \cos \gamma, \quad (3)$$

$$\Phi = Y_n \mu \Delta s / 2\pi(r_k + \Delta r) \sin \gamma, \quad (4)$$

де Y_n – напрямне зусилля;

γ – кут нахилу гребеня до горизонту;

R – радіус кривої;

μ – коефіцієнт тертя;

x – відстань від центра повороту візка до колісної пари;

Δs – ковзання колеса відносно рейки в горизонтальній площині;

Δr – збільшення радіуса в області контакту.

З наведених вище факторів зношування більш логічні перший і другий, у яких сила тертя визначається виходячи з нормального тиску ($Y_n / \sin \gamma$) у зоні контакту. Також мають відмінності

відносні ковзання. Названі вище фактори зношування були призначені для якісної оцінки зношування стосовно розробленої на той період теорії (методики) вписування залізничних екіпажів у криві. У деяких роботах наводяться фактори зношування, не обмежені певною зоною профілю. У таких роботах у якості фактора зношування пропонується вираз

$$\Phi = N \mu \varpi, \quad (5)$$

де N, μ, ϖ – відповідно нормальний тиск, коефіцієнт тертя й відносне ковзання в зоні контакту.

У роботах [1] і [6] фактори зношування мають вигляд

$$\Phi = \sigma \Delta s \mu / \mu_0, \quad (6)$$

$$\Phi = \sigma l s k_1 k_2 \dots k_n, \quad (7)$$

де σ – питомий тиск в області контакту;

μ_0 – середнє значення коефіцієнта тертя в експлуатації;

l – ковзання колеса по рейці;

$k_1 k_2 \dots k_n$ – безрозмірні коефіцієнти, що враховують зносостійкість матеріалу рейок і коліс, змащення й т. п. (визначаються експериментально).

Однак ці фактори зношування використовуються в чисто постановочному плані й не можуть бути використані без доопрацювання.

Фактор зношування, що дозволяє одержати найбільш повну й об'єктивну якісну інформацію про зношування, даний у роботі [5]. Цей фактор зношування є добутком сили тертя на відносне ковзання в області контакту, тобто за фактор зношування прийнята робота, затрачена на подолання сили тертя на одиницю довжини. Вираз для визначення фактора зношування має вигляд

$$\Phi l_{ij} = F l_{ij} \varpi l_{ij}, \quad (8)$$

де Fl_{ij} і ωl_{ij} – сили тертя й відносні ковзання, що виникають при взаємодії колісної пари з рейковою колією за наявності однієї або двох областей контакту.

У розрахунках сила тертя функціонально залежить від відносної швидкості ковзання, обумовленої по трьох координатах, і нормального зусилля, обумовленого з урахуванням динаміки екіпажу. Відносне ковзання визначається через відносну швидкість ковзання:

$$\omega l = \frac{\Delta S_l}{S} = \frac{h \cdot \Delta V_l}{h \cdot V} = \frac{\Delta V_l}{V} = \varepsilon_l, \quad (9)$$

де ΔS_l , S – ковзання колеса, м, і колія, ним пройдена, м;

ΔV_l , V – абсолютна швидкість ковзання, м/с, і швидкість руху екіпажу, м/с;

h – крок розрахунків;

l – перша й друга області контакту на колесі колісної пари.

Слід зазначити, що облік вертикальної складової швидкості ковзання суттєво впливає на сумарне ковзання колеса відносно рейки, якщо зона контакту розташовується на викружці профілю і його гребені.

Усі наведені вище фактори зношування носять якісний характер і не дозволяють одержати кількісну оцінку зношування профілю коліс [6].

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Були розглянуті нормовані та позанормовані показники оцінки динамічних якостей екіпажу. З метою обґрунтування профілю колеса, що забезпечує динаміку екіпажу та задовольняє вимоги норм безпеки, було обрано критерії оцінки, що дозволяють розрахунковими методами спрогнозувати інтенсивність зношування й зміну форми профілю колеса й виконати розрахунки з оцінки динаміки екіпажу на відповідність нормативним вимогам.

Список використаних джерел

1. НБ ЖТ ЦТ 03-98. Электропоезда. Нормы безопасности. – Введ. 07.08.1998 р. – М.: МПС России, 1998. – 193 с.
2. Андриевский, С. М. Боковой износ рельсов на кривых [Текст] / С.М. Андриевский // Труды ВНИИЖТ. – 1961. – №207. – 128 с.
3. Хойман, Х. Направление железнодорожных экипажей рельсовой колеи [Текст] / Х. Хойман. – М: Трансжелдориздат, 1957. – 414 с.
4. Шевалин, В. А. Критерий бокового износа рельсов и гребней бандажей электровозов в кривых [Текст] / В.А. Шевалин // Труды ЛИИЖТ. – Л.: ЛИИЖТ, 1941. – №135. – С. 54-68.
5. José Martínez-Casas. Improved railway wheelset-track interaction model in the high-frequency domain [Текст] / José Martínez-Casas, Juan Giner-Navarro, L. Baeza, F.D. Denia. Journal of Computational and Applied Mathematics. – Vol. 309. – 1 January 2016. – P. 642-653.

Харламов Павло Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99. E-mail: kharlamov.erps@gmail.com.

Деміденко Артем Андрійович, магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. E-mail: demidenko.erps@gmail.com.

Kharlamov Pavlo, Ph.D., lecturer of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-19-99. E-mail: kharlamov.erps@gmail.com.

Demidenko Artem, master student of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: demidenko.erps@gmail.com.

Стаття прийнята 12.12.2016 р.

УДК 621.18

МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ТВЕРДОПАЛИВНОГО КОТЛА НЕВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ

Д-р техн. наук А. П. Фалендиш, асист. О. В. Клецька, Є. А. Бітюра

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ТВЕРДОТОПЛИВНОГО КОТЛА НЕБОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Д-р техн. наук А. П. Фалендыш, ассист. О. В. Клецкая, Е. А. Битюра

MODEL CALCULATION SOLID FUEL BOILERS LOW POWER

Ph.D. prof. A. P. Falendysh, assist. O. V. Kletska, E. A. Bityura

У даній статті зроблений аналіз різних видів розрахунків котлів для опалення приміщень, який показав, що в основному розрахунки котлів виконують Нормативним методом. В роботі доведена неефективність використання даного методу для розрахунку котлів невеликої потужності, його можна використовувати лише для котлів великої потужності. Аналіз відомої літератури показав, що методам розрахунку котлів невеликої потужності уваги приділяється недостатньо. Таким чином, була запропонована модель розрахунку твердопаливного котла потужністю до 100 кВт, яка базується на Нормативному методі розрахунку, але має свої особливості.

Ключові слова: твердопаливний котел, перевірочний, аеродинамічний, метод розрахунку, топка.

В данной статье сделан анализ различных видов расчетов котлов для отопления помещений, который показал, что в основном расчеты котлов выполняют Нормативным методом. В работе доказана неэффективность использования данного метода для расчета котлов небольшой мощности, его можно использовать только для котлов большой мощности. Анализ известной литературы показал, что методам расчета котлов небольшой мощности внимания уделяется недостаточно. Таким образом, была предложена модель расчета твердоотопливного котла мощностью до 100 кВт, которая базируется на Нормативном методе расчета, но имеет свои особенности.

Ключевые слова: твердоотопливный котел, поверочный, аэродинамический, метод расчета, топка.

In this paper, an analysis of various types of calculations boilers for space heating, which showed that most settlements boilers perform standard method. The work proved inefficient use of the method for calculating boiler low power, it can only be used for high power boilers. Analysis of the known literature showed that the method of calculation boilers emphasis on low power enough. High urgency of using solid fuel boilers for heating small spaces and methods of calculation clearly evidenced by the large number of articles and scientific papers presented in the technical periodicals. Verification calculation can be done one of the following methods: normative method, pryblyzhen serial, parallel calculations and counter calculation boiler. But all these methods are used to calculate the high power boilers. Therefore, the development model calculation of solid fuel boilers is a low-power objective and timely manner aktualnoyu. Takym proposed a model calculation of solid fuel boilers up to 100 kW, which is based on the standard method of calculation, but has its own peculiarities.

Keywords: solid fuel boiler, verification, aerodynamic, the method of calculation, furnace.

Вступ. Аналіз витрат Укрзалізниці на потреби котелень за період з 1997 р. по нині показує тенденцію до зменшення споживання вугілля, мазуту і природного газу. Зокрема це відбувається за рахунок багатьох факторів, серед яких один з найважливіших – це впровадження модульних котелень в житлово-комунальне господарство. Аналіз структури площ будівель підприємств Укрзалізниці та промислових підприємств показав, що близько 30 % приміщень можуть опалюватися джерелами теплопостачання малої потужності. При прогнозуванні вартості енергоресурсів на виробництво теплової енергії стає зрозумілим, що при збільшенні вартості 1 Гкал теплової енергії від котелень, які використовують різні види палива, використання дров як енергоресурсу є найбільш економічно вигідним [1].

Все вищесказане підтверджує актуальність використання твердопаливних котлів невеликої потужності не тільки на залізничному транспорті, а і в інших галузях народного господарства.

Застосування різноманітних методів розрахунку котлів для забезпечення потреб підприємств залізничного транспорту та промислових підприємств є важливою складовою процесу вдосконалення галузі в цілому. Тому необхідно розробити нові, сучасні, методи розрахунку твердопаливних котлів невеликої потужності. Це дозволить в значній мірі зменшити витрати на потреби підприємств залізничного транспорту та промислових підприємств в тепловій енергії.

Мета статті. Розробка моделі розрахунку твердопаливного котла невеликої потужності, яка буде враховувати як його конструкцію, так і вид твердого палива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для теплового розрахунку котлів використовується нормативний метод, в основу якого покладено емпіричні залежності, отримані при випробуваннях великих енергетичних котлів [2]. Теплообмін в топках малих котлів має

істотну відмінність від аналогічних процесів в топках енергетичних котлів, це пов'язано з їх малими розмірами та відмінностями в режимних параметрах роботи, що впливає на фізичні умови протікання процесу, призводить до зниження теплообміну випромінюванням і зростанням частки конвекції в складному теплообміні. Тому при розрахунку теплообміну в топках котлів малої потужності використання нормативного методу, що враховує тільки теплове випромінювання, призводить до суттєвих помилок [3].

Аналіз відомої літератури показав недостатність інформації щодо теплових та аеродинамічних розрахунків інтенсифікованого теплообміну в жаротрубних котлах малої потужності, а також недостатню кількість даних про дослідження показників роботи котлів малої потужності з інтенсифікацією теплообміну. Необхідно відзначити, що методологічною базою в цьому напрямку є дослідження таких вчених: В. М. Антуф'єв, М. В. Кірпічов, Е. В. Дубровський, В. К. Щукін, Е. К. Калінін, Л. М. Коваленко, В. К. Мігай, Виллу Варес, В. С. Альтшулер, Г. А. Дрейцер та ін.

Висока актуальність теми використання твердопаливних котлів для опалення невеликих приміщень та методів їх розрахунків яскраво підтверджується наявністю великої кількості статей та наукових праць, поданих у періодичних виданнях технічного характеру [4-10]. В роботі [11] розглядається математичне моделювання теплових та аеродинамічних процесів в елементах водогрійних котлів малої потужності та сучасні методики теплового та аеродинамічного розрахунку опалювального обладнання малої потужності.

Зроблений аналіз показує, що при розрахунку котла виконують спочатку перевірений тепловий розрахунок котла, а потім конструктивний тепловий розрахунок котла.

Перевірочний розрахунок можна виконати одним із таких методів: нормативним методом, методом послідовних наближень, методом паралельних розрахунків та зустрічним розрахунком котла [12-14]. Але

всі ці методи використовуються для розрахунку котлів великої потужності. Тому розробка моделі розрахунку твердопаливного котла невеликої потужності є завданням своєчасним та актуальним.

Основний матеріал. На сьогоднішній день виробники твердопаливних котлів переважно спираються на технічні рішення, використані у закордонних аналогах. Тобто швидкий темп виробництва не підкріплений науково-обґрунтованими розробками, не має точних методів розрахунку тепломасообмінних процесів в елементах котла та методів оцінки ефективності такого обладнання.

Твердопаливний котел невеликої потужності являє собою комплекс

агрегатів, які необхідні для отримання гарячої води. Він складається з теплообмінних пристроїв, які залежать один від одного, та служить для передачі тепла від згорання палива до води. Вихідним носієм енергії для отримання підігрітої води є тверде паливо. Можна виділити два основні елементи робочого процесу: процес згорання палива та процес теплообміну між продуктами згорання або самого палива, що горить, з водою [15].

Методика теплового розрахунку котла, що наведена в Нормативному методі, включає перевірочний і конструктивний розрахунки котлів. Якщо виділити основні етапи розрахунків, то умовно можна їх поділити на наступні складові (рис. 1).



Рис. 1. Алгоритм розрахунку теплового балансу згідно з Нормативним методом

Як бачимо, в моделі розрахунку теплового балансу, згідно з Нормативним методом, наявна велика кількість складових, які в конструкції твердопаливного котла малої потужності відсутні, такі, наприклад, як водяний економайзер, повітропідігрівач та ін. Враховуючи конструкцію таких котлів, як твердопаливний котел тривалого горіння або піролізний котел, можна зробити висновок, що даний метод недостатньо

враховує особливості конструкції та режиму роботи котлів малої потужності.

В моделі перевірного теплового розрахунку твердопаливного котла малої потужності можна використовувати, окрім Нормативного методу, ще такі методи: метод послідовних наближень; метод паралельних розрахунків; зустрічний розрахунок котла. Запропонована модель (рис. 2) перевірного теплового розрахунку базується на Нормативному методі, як на найбільш досліджену і коректну.

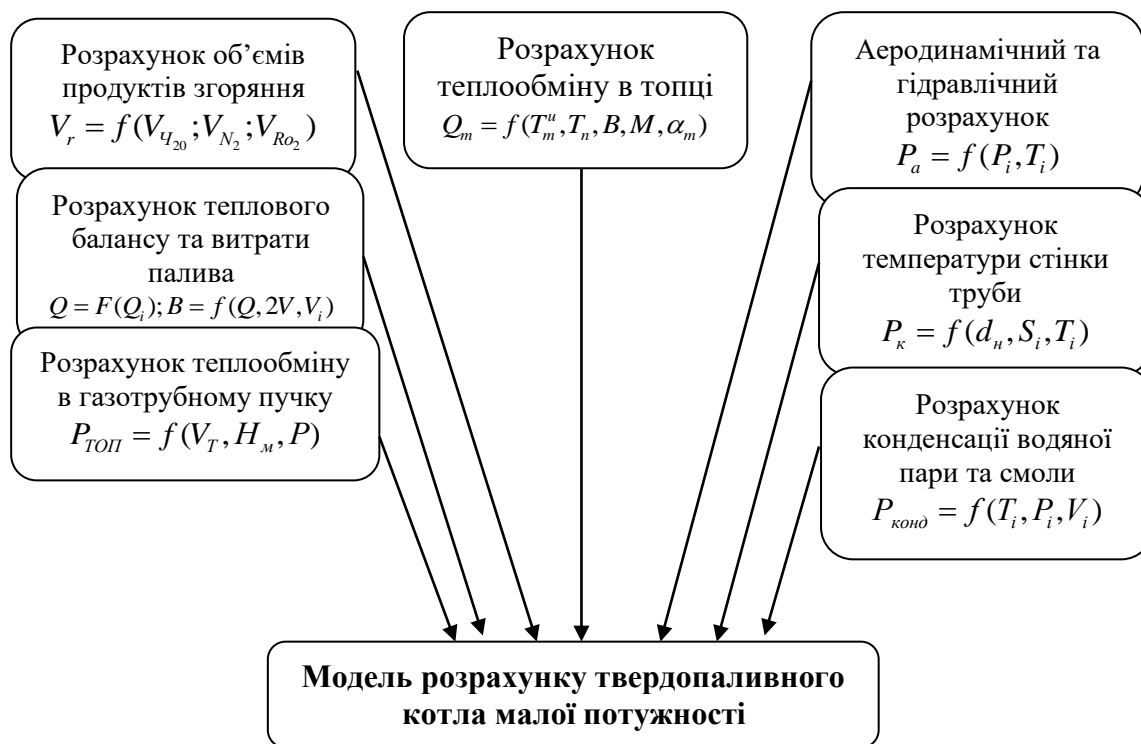


Рис. 2. Структура моделі теплового розрахунку твердопаливного котла малої потужності

Дана модель призначена для:

- визначення параметрів котла за заданими конструктивними параметрами;
- оцінки економічності і надійності котла при роботі на заданому паливі;
- розроблення необхідних реконструктивних заходів вибору допоміжного обладнання котла.

В загальному вигляді модель можна записати в такому вигляді:

$$P_k(P_{k_пов}; P_{k_кон}) \rightarrow optimum,$$

де $P_{k_пов}$ – масив показників, які визначаються при перевіроному розрахунку;

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

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

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

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

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

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

Вихідні дані до розрахунку являють собою масив вихідних даних $P_{вд}$,

$$P_{вд} = (P_{вд_кон}; P_{вд_нав}; P_{вд_пал}),$$

де $P_{вд_кон}$ – масив даних конструктивних розмірів твердопаливного котла;

$P_{вд_нав}$ – масив даних заданого навантаження котла;

$P_{вд_пал}$ – масив даних по паливу, яке використовується у котлі.

В результаті розрахунку за запропонованою моделлю визначаються параметри, які являють масив розрахункових параметрів $P_{роз}$:

$$P_{роз} = (P_{роз_ті}; P_{роз_ккд}; P_{роз_пал}; P_{роз_Qvi}),$$

де $P_{роз_ті}$ – масив отриманих температур (води, пари, повітря та газів) на границях між окремими поверхнями нагріву;

$P_{роз_ккд}$ - коефіцієнт корисної дії;

$P_{роз_пал}$ - витрата палива;

$P_{роз_Qvi}$ – масив витрат та швидкості пари, повітря, димових газів.

Викладене дозволяє зробити наступні висновки.

1. Зроблений аналіз різних видів розрахунків котлів для опалення приміщень, який показав, що в основному розрахунки котлів виконують Нормативним методом. Але цей метод можна використовувати лише для котлів великої потужності. Методам розрахунку котлів невеликої потужності уваги приділяється недостатньо.

2. Запропонована в загальному вигляді модель розрахунку твердопаливного котла потужністю до 100 кВт, яка базується на Нормативному методі розрахунку, але має свої особливості.

3. В подальшому необхідно зробити розрахунки за розробленою моделлю розрахунку твердопаливного котла потужністю до 100 кВт та порівняти їх з результатами випробувань твердопаливного котла.

Список використаних джерел

1. Тепловой расчёт котельных агрегатов (нормативный метод) [Текст]. – Л.: НПО ЦКТИ, 1973. – 260 с.
2. Степанов, Д. В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності [Текст]: монографія / Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, ГНК, 2010. – С. 250.
3. Степанов, Д. В. Технічні та екологічні показники водогрійних котлів потужністю до 100 кВт [Текст] / Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко І. Г. Чорна // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 1. – С. 114-117.
4. Степанов, Д. В. Залежності для теплових розрахунків в жаротрубних пучків котлів малої потужності [Текст] / Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко, Л. А. Боднар, Т. Ю. Загаєцька // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. - № 2. – С. 31-40.
5. Степанов, Д. В. Математичне моделювання теплообмінних процесів у жаротрубному елементі водогрійного котла малої потужності [Текст] / Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко, Л. А. Боднар // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 2. – С. 76-79.

6. Степанов, Д. В. Експериментальні дослідження теплообміну в жаротрубному водогрійному котлі [Текст] / Д. В. Степанов, С. Й. Ткаченко, Л. А. Боднар // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 1. – С. 43-46.
7. Тарасенко, А. Н. Метод расчета тепловых характеристик трубчатых теплообменных аппаратов [Текст] / А. Н. Тарасенко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2012. – №6/5 (36). – С.30-34.
8. Тарасенко, А. Н. Динамика пластинчатого теплообменного аппарата при прямоочном движении теплоносителей [Текст] / А. Н. Тарасенко, А. А. Шевелев // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХП», 2012. – №4. – С.57-63.
9. Сігал, І. Я. Аналіз стану котельного господарства України з метою модернізації, продовження ресурсу чи заміни котлів малої і середньої потужності [Текст] / І. Я. Сігал, Е. П. Домбровська // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – № 6. – С. 25-30.
10. Фалендыш, А. П. Целесообразность использования твердотопливных котлов на предприятиях железнодорожного транспорта [Текст] / А. П. Фалендиш, Л. А. Пархоменко, О. В. Клецка, П. В. Рукавишников // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 153. – С. 210-217.
11. Фалендиш, А. П. Оцінка ефективності опалювальних котлів [Текст] / А. П. Фалендиш, О. В. Клецка, А. Р. Кутня // Тези доповідей 78-ї Міжнар. наук.-техн. конф. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті». – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 160. – С. 56.
12. Nussbaumer T. Combustion and co-combustion of biomass: fundamentals, technologies, and primary measures for emission reduction / T. Nussbaumer // Journal Energy & Fuels. – 2003. – Vol. 17. – P. 1510–1521.
13. Yrjola J., Paavilainen J. Modelling and experimental studies on heat transfer in the convection section of a biomass boiler. Int. J. Energ. Res. 2006. Vol. 30 (12). P. 939–953.
14. Neshumayev D. Experimental investigation of various turbulator inserts in gas-heated channels / D. Neshumayev, A. Laid, T. Tiikma // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2004. – vol. 28(8). – P. 877-886.
15. Справочник потребителя биотоплива [Текст] / [под. ред. Виллу Вареса]. – Таллинн: Таллинский технический университет, 2005. – 183 с.

Фалендиш Анатолій Петрович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-1077.

Клецка Ольга Віталіївна, асистент кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-1078.

Бітюра Євген Анатолійович, магістр кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту.

Falendysh Anatoliy, PhD, Professor, Head of the Chair of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 057-730-1077.

Kletska Olga, assistant of the chair of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 057-730-1078.

Bityura Evgeniy, master of the Department of Thermal Engineering and Heat Engines, Ukrainian State University of Railway Transport.

Стаття прийнята 12.12.2016 р.

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

**COLLECTED SCIENTIFIC WORKS OF UKRAINIAN
STATE UNIVERSITY OF RAILWAY**

Випуск 166

«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 Буранова Н.В., Ібрагімова Н.В.,
Еткало О.О., Решетилова В.В.

КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 20.12.2016 р.
Формат паперу А4. Папір писальний.
Умовн.друк. арк. 14,55. 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.