



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 159



Харків 2016

УДК 656.2.004.18

У збірнику 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 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>

ISSN 1994-7852

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Друкується за рішенням вченої ради університету, протокол № 2 від 23 лютого 2016 р.

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

Редакційна колегія

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

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

Лаврухін О.В., д.т.н., професор, УкрДУЗТ
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
Щербак Я.В., д.т.н., професор УкрДУЗТ

ЗМІСТ

<i>Панченко С.В., Лаврухін О.В., Котенко А.М., Каграманян А.О., Шевченко В.І.</i> Математична модель руху контейнерних поїздів напрямку Україна – Китай на принципах глобальної логістики	5
<i>Бубнов В. М., Мурадян Л.А., Манкевич М.Б., Шапошник В.Ю.</i> Особливості технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів з підвищеними показниками надійності.	11
<i>Вандоловский А. Г., Чайка В.М.</i> Міцнісні властивості особливо дрібнозернистого бетону на відходах гірничо-збагачувальних комбінатів в якості заповнювача.	17
<i>Пічугін С.Ф., Семко В.О.</i> Імовірність теплової відмови огороджувальних конструкцій із сталевих холодно формованих елементів за критерієм зниження локальних значень температур	25
<i>Санько Я.В.</i> Визначення моделі довжини черги перед перехрестям	35
<i>Іванов І.Є.</i> Визначення впливу коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті на показники кількості пасажиромісць.	44
<i>Николаев А.П., Кондращенко Е.В., Здоров А.И., Кузнецова М.М.</i> Совершенствование методов контроля свойств материалов цементного производства	53
<i>Богаевский А.Б., Осичев А.В.</i> Зависимость показателей регулирования по частоте вращения мощного дизель-генератора от числа зубьев в измерительной шестерне.	58
<i>Гибаленко А.Н., Коваленко А.С., Трофимчук Т.С.</i> Расчетно-экспериментальная оценка характеристики живучести металлоконструкций путепровода	65
<i>Геворкян Е.С., Чижикала В.О., Кислиця М.В.</i> Метод електроконсолідації (елетроспікання) як високоефективний метод для компактування нанопорошків з метою отримання композитних матеріалів інструментального та конструкційного призначення	75
<i>Доля О.Є., Давідич Ю.О.</i> Щодо встановлення впливу стохастичних	

коливань об'ємів перевезень пасажирів на основні показники ефективності функціонування міського автобусного маршруту.	80
<i>Чумаченко І.В., Давідіч Н.В.</i> Математична формалізація параметрів якості перевезення пасажирів міським транспортом.	88
<i>Куш Є.І., Скрипін В.С.</i> Формування розвізних маршрутів тарно-штучних вантажів в містах	97
<i>Дацун Ю.М.</i> Дослідження складових організаційно-технічного рівня локомотиворемонтного виробництва на основі когнітивних карт.	105
<i>Отрош Ю.А.</i> Методика визначення технічного стану будівельних контрукцій виробничих будівель після пожежі.	111
<i>Брусенцов В.Г., Ворожбіян М.І., Пузир В.Г., Брусенцов О.В.</i> Ергономічне забезпечення діяльності машиністів у швидкісному русі.	120
<i>Шовкун В.О.</i> Аналіз динамічних навантажень діючих на ходові частини вантажних вагонів.	124
<i>Мороз В.І., Братченко О.В., Тищенко В.С.</i> Особливості побудови геометричних моделей елементів модулів підсистеми розподільного валу тепловозного дизеля Д49.	128

УДК 656.573.23

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ КОНТЕЙНЕРНИХ ПОЇЗДІВ НАПРЯМКУ УКРАЇНА – КИТАЙ НА ПРИНЦИПАХ ГЛОБАЛЬНОЇ ЛОГІСТИКИ

Д-р техн. наук С.В. Панченко, канд. техн. наук А.О. Каграманян,
доктори техн. наук О.В. Лаврухін, А.М. Котенко, канд. техн. наук В.І. Шевченко

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ НАПРАВЛЕНИЯ УКРАИНА – КИТАЙ НА ПРИНЦИПАХ ГЛОБАЛЬНОЙ ЛОГИСТИКИ

Д-р техн. наук С.В. Панченко, канд. техн. наук А.А. Каграманян,
доктора техн. наук А.В. Лаврухин, А.Н. Котенко, канд. техн. наук В.И. Шевченко

MATHEMATICAL MODEL of RUH of CONTAINER TRAINS of DIRECTION UKRAINE is CHINA ON PRINCIPLES of GLOBAL LOGISTIC

Doctors of techn. sciences S.V. Panchenko, O.V. Lavrukhin, A.M. Kotenko,
cand. techn. sciences A.O. Kagramanyan, V.I. Shevchenko

Запропоновано математичну модель станів руху контейнерного поїзда, що прямує від України до Китаю через проміжні держави Грузію, Азербайджан та Казахстан, що побудована на принципах глобальної логістики. Формалізовано стани руху контейнера на станціях відправлення і призначення, включаючи час перебування його безпосередньо під вантажними операціями і на шляху прямування до залізничних станцій на автотранспорті. Моделювання дає змогу скоротити час перебування контейнерів на контейнерних пунктах, оптимізувати рух контейнерних поїздів і прискорити їх рух.

Ключові слова: контейнерний поїзд, міжнародні перевезення, математична модель, графи станів, глобальна логістика.

Предложена математическая модель состояний движения контейнерного поезда, направляющегося от Украины к Китаю через промежуточные государства Грузию, Азербайджан и Казахстан, которая построена на принципах глобальной логистики. Формализованы состояния движения контейнера на станциях отправления и назначения, включая время нахождения его непосредственно под грузовыми операциями и на пути следования к железнодорожным станциям на автотранспорте. Моделирование позволяет сократить время нахождения контейнеров на контейнерных пунктах, оптимизировать движение контейнерных поездов и ускорить их движение.

Ключевые слова: контейнерный поезд, международные перевозки, математическая модель, графы состояний, глобальная логистика.

The mathematical model of the states of motion of container train is offered sent from Ukraine to China through the intermediate states Georgia, Azerbaijan and Kazakhstan, that built on principles of global logistic. Being of motion of container is formalized in dispatch-stations and setting, including time of finding of him directly under freight operations and on the way of heading for railheads on a motor transport. A design allows to shorten time of finding of containers on container points and optimize motion of container trains and accelerate their motion.

Keywords: container train, international transportations, mathematical model, columns of the states, global logist.

Вступ. Поява нових технологій у перевезенні вантажів, заснованих на принципах глобальної логістики, нових торгових ринків, глобалізація міжнародної торгівлі дають можливість значно підвищити ефективність економічного розвитку України і вимагають розроблення, обґрунтування та оптимізації технологічних процесів на основі застосування математичних методів теорії дослідження операцій.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Для стабілізації економічного стану України необхідне налагодження торгових відносин з провідними державами, що мають місткі торгові ринки та економіку, що досить швидко розвивається. До таких держав належить Китай, частка якого у світовому торговельному обігу становить 6,1 %, зокрема імпорту – 6,6 %, експорту – 5,9 %. Проблема торгових відносин з Китаєм полягає у відсутності надійного транспортного сполучення. Організація руху першого контейнерного поїзда за транскаспійським напрямком показала можливість доставки вантажів через кордони держав Грузії, Азербайджану, Казахстану до Китаю. Перший контейнерний поїзд прибув до Китаю за 15,5 доби. Вченими Українського державного університету залізничного транспорту планується розроблення наскрізного технологічного процесу прямування контейнерних поїздів з України до Китаю, що надасть змогу прискорити рух та скоротити час їх перебування на шляху прямування.

Дослідженням операцій, математичному моделюванню, розвитку глобальної логістики, міжнародних торгових відносин

присвячені праці вчених США, Європейського союзу, України та ін.

У роботі [1] викладено основи дослідження, що займається кількісним обґрунтуванням рішень і методологічних принципів дослідження операцій у всіх галузях людської діяльності. Розглянуто математичні методи оптимізації, а також методи математичного моделювання.

У роботі [2] викладена теорія і практика сучасної логістики. Систематично викладені новітні підходи, концепції та ідеї в матеріально-технічному постачанні та збуті, визначено зміст і призначення таких понять, як менеджмент матеріалів, управління ланцюгами поставок, логістика поставок, стратегічна, інтегральна і контрактна логістики. Викладено основи фізичного розподілу товарів, управління запасами і доставкою, міжнародної логістики, організації складського господарства і повторного використання відходів виробництва (рециклінгу).

У роботі [3] викладено інформаційні системні вимоги для одночасної консолідації вхідних і вихідних відправлень. З позицій системного підходу в процесах логістики виділено три рівні. Перший – робоче місце, другий – дільниця, склад і третій – система.

У роботі [4] визначено аспекти світової глобальної економічної інтеграції і її перспективи на майбутнє. Викладені основні напрямки міжнародного економічного співробітництва та ризики, дефіцит бюджету США та Європейських економік.

Основна частина дослідження. Для оптимізації руху контейнерних поїздів, побудовано граф станів із циклічним процесом (рис. 1) і відповідно до графа складено систему диференціальних рівнянь.

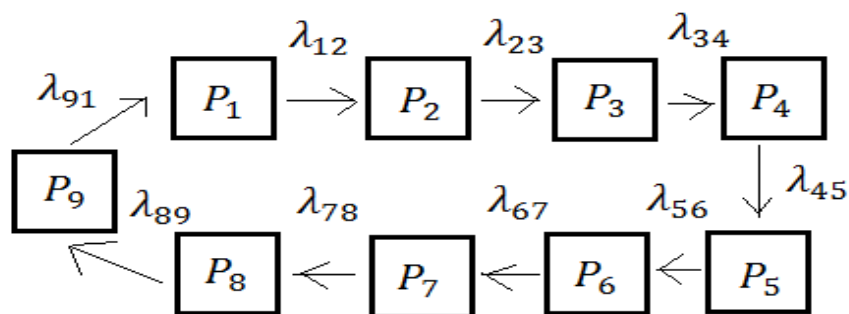


Рис. 1. Розмічений граф станів руху контейнерного поїзда на напрямку Україна – Китай: P_1 – вірогідність перебування контейнерного поїзда під усіма операціями (технічними, вантажними, комерційними, митними і на дільницях) в Україні; P_2 – вірогідність перебування контейнерного поїзда під операціями в Грузії; P_3 – вірогідність перебування контейнерного поїзда під операціями в Азербайджані; P_4 – вірогідність перебування контейнерного поїзда під операціями на залізниці в Казахстані; P_5 – вірогідність перебування контейнерного поїзда в Китаї, P_6 – вірогідність перебування контейнерного поїзда на залізниці Казахстану при русі у зворотному напрямку (Китай – Україна); P_7 – вірогідність перебування контейнерного поїзда на залізниці Азербайджану; P_8 – вірогідність перебування контейнерного поїзда на залізниці Грузії; P_9 – вірогідність перебування контейнерного поїзда на зворотному шляху (Китай – Україна) під фітосанітарним та ветеринарно-санітарним контролем на прикордонній передавальній станції

Система диференціальних рівнянь академіка Колмогорова

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d P_1}{dt} = \lambda_{91} P_9 - \lambda_{12} P_1; \\ \frac{d P_2}{dt} = \lambda_{12} P_1 - \lambda_{23} P_2; \\ \frac{d P_3}{dt} = \lambda_{23} P_2 - \lambda_{34} P_3; \\ \frac{d P_4}{dt} = \lambda_{34} P_3 - \lambda_{45} P_4; \\ \frac{d P_5}{dt} = \lambda_{45} P_4 - \lambda_{56} P_5; \\ \frac{d P_6}{dt} = \lambda_{56} P_5 - \lambda_{67} P_6; \\ \frac{d P_7}{dt} = \lambda_{67} P_6 - \lambda_{78} P_7; \\ \frac{d P_8}{dt} = \lambda_{78} P_7 - \lambda_{89} P_8; \\ \frac{d P_9}{dt} = \lambda_{89} P_8 - \lambda_{91} P_9. \end{array} \right. \quad (1)$$

Нормувальна умова:

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 = 1.$$

Початкові умови

$$t = 0; P_1 = 1; P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = P_7 = P_8 = P_9 = 0.$$

Вірогідність станів контейнерного поїзда на шляху прямування Україна – Китай та у зворотному напрямку залежно від часу наведена на рис. 2.

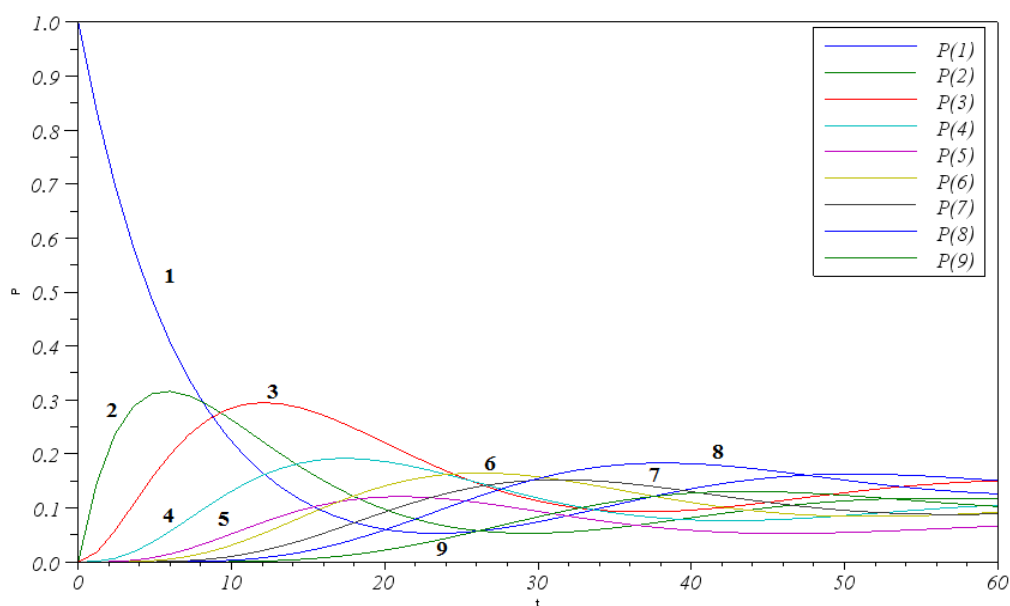


Рис. 2. Вірогідність станів контейнерного поїзда на шляху прямування Україна – Китай та у зворотному напрямку залежно від часу

Математична модель перебування контейнера на контейнерному пункті станцій відправлення та призначення може бути подана так само у вигляді системи диференціальних рівнянь Колмогорова.

$$\begin{cases} \frac{dP_1}{dt} = \lambda_{21}P_2 - \lambda_{12}P_1; \\ \frac{dP_2}{dt} = \lambda_{32}P_3 - (\lambda_{21} + \lambda_{23})P_2; \\ \frac{dP_3}{dt} = \lambda_{23}P_2 + \lambda_{43}P_4 - (\lambda_{32} + \lambda_{43})P_3; \\ \frac{dP_4}{dt} = \lambda_{34}P_3 - \lambda_{43}P_4. \end{cases} \quad (2)$$

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1.$$

Початкові умови

$$t = 0; P_1 = 1; P_2 = P_3 = P_4 = 0.$$

де P_1 – вірогідність перебування контейнера на контейнерному майданчику станції відправлення та призначення; P_2 – прямування на автотранспорті до

вантажоодержувача чи у зворотному напрямку; P_3 – комерційні та вантажні операції з контейнерами і вагонами на станції; P_4 – вірогідність перебування контейнера на залізничній платформі;

$\lambda_{12} \dots \lambda_{mk}$ – інтенсивності потоків переходу контейнера зі стану в стан.

Графіки імовірності станів контейнера на терміналі подано на рис. 3.

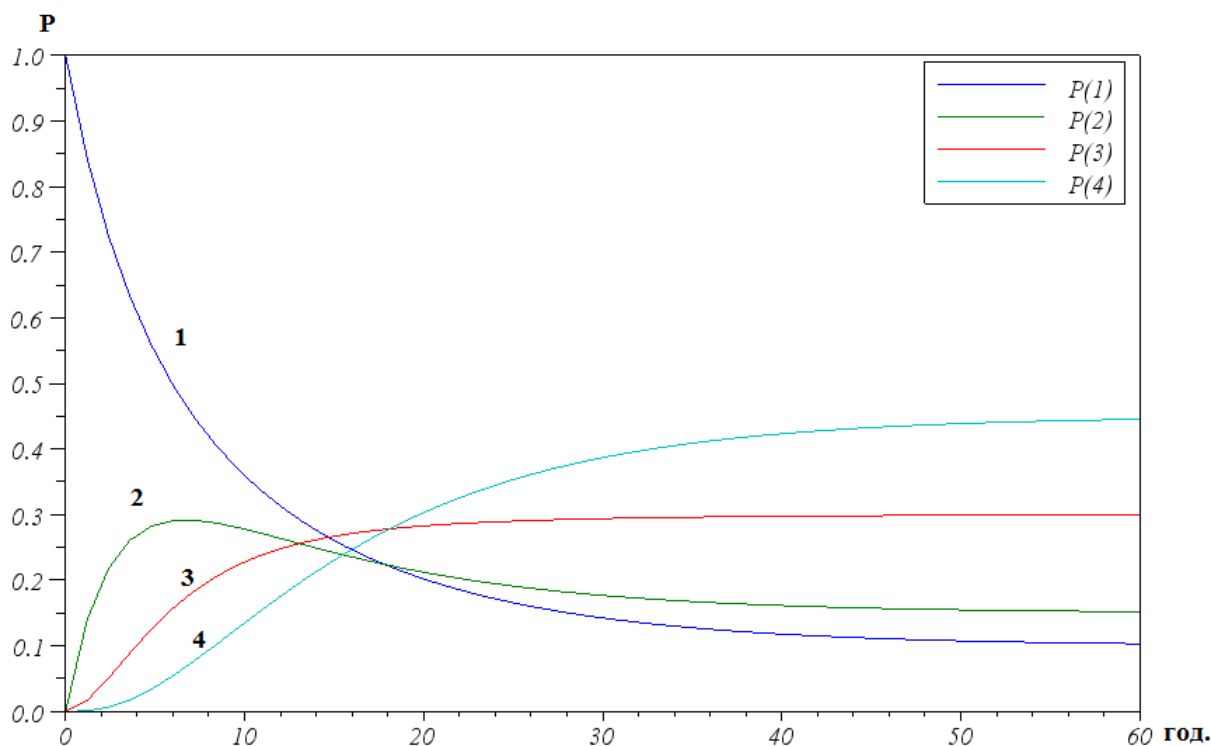


Рис. 3. Імовірність станів контейнера на терміналі

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Математичне моделювання станів руху контейнерного поїзда дає змогу виявити вузькі місця в технології і технічному оснащенні залізниць напрямку Україна – Китай та запровадити заходи з прискорення руху. Подальший розвиток і удосконалення технології цього напрямку передбачається за рахунок запровадження руху двоярусних контейнерних поїздів і моделювання за допомогою методу динаміки середніх та розроблення

наскрізного технологічного процесу маршруту Україна – Китай.

Поява нових контейнерних технологій сприяє розвитку глобальної логістики за участю транспорту України. Потенціал глобальної логістики має бути спрямований на виконання стратегічних цілей суб'єктів господарювання. Такі 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 за рахунок

застосування космічних технологій контролю схоронності вантажів та попередження крадіжок порожніх контейнерів.

Список використаних джерел

1. Вентцель, Е.С. Исследование операций [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
2. Kenneth C. Williamson, Daniel M. Spitzer, Jr., David J. Bloomberg. Modern Logistics Systems: Theory and Practice // *Journal of Business Logistics*, February 1990. – № 2. – Р. 65-68.
3. James H. Bookbinder, Carolyn I, Barkhouse. An Information System for Simultaneous Consolidation of Inbound and Outbound Shipments // *Transportation Journal*. – Summer 1993. – № 4. – Р. 5-20.
4. Feldstein M. Aspects of Global economic integration: outlook for the future, NBER WP 7899. – № 9. – Р. 1-13.

Панченко Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, ректор Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-10-13.

Каграманян Артур Олександрович, канд. техн. наук, проректор Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-10-13.

Лаврухін Олександр Валерійович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 057-730-10-85.

Котенко Анатолій Миколайович, доктор технічних наук, професор, 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.

Panchenko Sergey Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor, rector of the University Ukrainian railroad transport. Tel. 057-730-10-13.

Kahramanyan Arthur Aleksandrovich, candidate. Sc. Science, University Vice-Rector of Ukrainian railroad transport. Tel. 057-730-10-13.

Lavruhyn Alexander Valerevych, doctor of technical sciences, professor. Tel. 057-730-10-85.

Kotenko Anatoly Nikolayevich, doctor of technical sciences, professor. Tel. 057-730-10-85.

Shevchenko Vitaly Ivanovich, PhD. Sc. science, associate professor. Tel. 057-730-10-85.

Принята 04.03.2016 р.

УДК 629.463.083-027.45

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ З ПІДВИЩЕНИМИ ПОКАЗНИКАМИ НАДІЙНОСТІ

Д-р техн. наук В.М. Бубнов, кандидати техн. наук Л.А. Мурадян, М.Б. Манкевич, інж. В.Ю. Шапошник

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ НАДЕЖНОСТИ

Д-р техн. наук В.М. Бубнов, кандидаты техн. наук Л.А. Мурадян, М.Б. Манкевич, инж. В.Ю. Шапошник

THE PECULIARITIES OF TECHNICAL SERVICE AND THE REPAIRING WITH RELIABILITY OF FREIGHT CARS

Doct. of techn. sciences V. Bubnov, cand. of techn. sciences L. Muradian, N.B. Mankevych, engineer V. Shaposhnyk

У статті наведені особливості технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів з підвищеними показниками надійності. Пропонуються напрямки реформування вагонного господарства, які дозволяють знизити витрати на технічне обслуговування та ремонт вантажних вагонів. Запропоновані напрями враховують сучасні тенденції реформування вагонного господарства, такі як перехід від планово-попереджувальної системи ремонту до ремонту за фактичним станом, а також впровадження гнучких потокових систем на вагоноремонтному виробництві.

Ключові слова: *планово-попереджувальна система ремонту, ремонт з урахуванням фактичного технічного стану, гнучкі потокові системи, вагони нового покоління.*

В статті приведені особливості технічного обслуговування і ремонту грузовых вагонов с повышенными показателями надежности. Предложены направления реформирования вагонного хозяйства, которые позволяют снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт грузовых вагонов. Предложенные направления учитывают современные тенденции реформирования вагонного хозяйства, такие как переход от планово-предупредительной системы ремонта к ремонту по фактическому состоянию, а также внедрение гибких поточных систем на вагоноремонтном производстве.

Ключевые слова: *планово-предупредительная система ремонта, ремонт с учетом фактического технического состояния, гибкие поточные системы, вагоны нового поколения.*

Peculiarities of technical service and the repairing with reliability of freight cars given in the article. The directions of car industry reforming are proposed which allow decreasing technical service expenses and repairing of freight cars. They include modern trends of car industry reforming such as changing of planning – warning repairing system into repairing due the real state, introducing flexible running systems in car-repairing industry as well.

Keywords: *planning-warning repairing system, repairing due to the fact, flexible running system, new car generation.*

Вступ. Парк вантажних вагонів України морально та фізично застарів та потребує оновлення. Більше 80 % парку вантажних вагонів на вітчизняних залізницях має наднормативний термін експлуатації. Застарілий та зношений парк вантажних вагонів не забезпечує в повній мірі потреби у перевезеннях вантажів, має недостатні на даний час техніко-економічні показники, потребує збільшення витрат на підтримання працездатності в експлуатації та суттєвого збільшення витрат на планові види ремонту, ДР та КР. Впровадженням вагонів нового покоління займаються провідні наукові організації та конструкторські бюро, велику роль у впровадженні таких вагонів відіграли ДНУЗТ (колишній ДПТ), ПАТ «Азовмаш», ПАТ «КВБЗ», ПАТ «Дніпровагонмаш» та ін.

Постановка проблеми. При проектуванні та експлуатації нових вагонів треба намагатися домогтися від них максимального прибутку при підтриманні показників безпеки руху на високому рівні. При розрахунку собівартості одиниці пробігу вантажного вагона слід враховувати витрати на придбання, амортизацію, експлуатаційні витрати та витрати на ремонт. На жаль, не завжди вдається врахувати всі витрати, які супроводжують вантажний вагон за весь період його життєвого циклу, що призводить до незапланованих витрат та погіршення економічних показників вагонного господарства, на частку якого припадає до 11 % поточних витрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вдосконаленню організації ремонту рухомого складу, а саме вантажних вагонів присвячені публікації [1, 2]. Удосконаленню системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів присвячені публікації [3, 4].

Розглянуті публікації не в повній мірі враховують особливості вагонів нового

покоління з підвищеними показниками надійності.

Основна частина. Реформування ПАТ «Українська залізниця» передбачає підвищення ефективності вагонного господарства, насамперед за рахунок зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт вантажних вагонів при безумовному забезпеченні показників безпеки руху на високому рівні.

Досягнення цієї мети, в першу чергу, передбачає розвиток галузі за двома головними напрямками:

- вдосконалення технології і організації процесу ремонту та технічного обслуговування вантажних вагонів;

- вдосконалення конструкції деталей, вузлів та вагонів в цілому.

Перший напрямок розвитку можливий за умови підвищення ефективності ремонтної бази, запровадження нових технологій ремонту рухомого складу, вдосконалення системи ремонту вагонів, організації виробництва та комплексної механізації і автоматизації, підвищення культури виробництва та підвищення мотивації працівників.

Другий напрямок розвитку вимагає поповнення існуючого парку вагонів вагонами нового покоління, які мають збільшені показники надійності та модернізацію існуючих вагонів.

Вдосконалення існуючої системи ремонту вантажних вагонів повинно рухатися шляхом поступового переходу від планово-попереджувального ремонту (далі – ППР) на ремонт з врахуванням технічного стану кожного вагона. Діюча ППР система ремонту передбачає, що потрапляння вагона до ремонту відбувається в заздалегідь призначені моменти часу або при досягненні визначеного пробігу, незалежно від його технічного стану [5]. Переважна більшість вантажних вагонів повинна надходити в деповський ремонт згідно з критеріями, поданими на рис. 1.



Рис. 1. Нормативи надходження до ремонту переважної більшості вантажних вагонів (планово-попереджувальна система ремонту)

Існуюча система ППР вантажних вагонів має багато недоліків, основні з яких такі:

- до поточного відчіпного ремонту потрапляє значна кількість вагонів (відсутність гарантій безвідмовної роботи вагонів в проміжку між ППР);
- значна кількість фінансових, матеріальних витрат та людських ресурсів на обслуговування і ремонт;
- застарілі нормативи, які регламентують потрапляння вагонів до ремонту, в своїй більшості розроблені за часів СРСР;
- зниження надійності ремонту через неякісний ремонт та пошкодження в експлуатації;
- не відображаються фактичні потреби у технічному обслуговуванні та ремонті конкретного вагона в залежності від умов його експлуатації, роду перевезеного вантажу, якості попереднього ремонту;
- недовикористання ресурсу деталей та вузлів вагона;
- значна кількість регламентованих ремонтних робіт виконується без особливої необхідності;
- проведення необґрунтованих ремонтів збільшує можливі помилки складання та монтажу;
- відмови можуть відбутися раніше розрахункового запланованого терміну. Це, зокрема, обумовлюється як невизначеністю

і похибкою оцінок напрацювання до відмови, так і випадковою природою напрацювання до відмови.

Ремонт з урахуванням фактичного технічного стану передбачає, що потрапляння вагона до ремонту відбувається після досягнення, згідно з вимогами НТД, граничного стану вагона, подальша експлуатація якого загрожує безпеці руху або робить її нерентабельною, тобто використовується принцип попередження відмов із забезпеченням максимально можливого напрацювання виробів при мінімальних експлуатаційних витратах [6]. Головною вимогою впровадження такого виду ремонту і технічного обслуговування є впровадження у вагонному господарстві сучасних засобів технічного діагностування та прогнозування стану вагона і його вузлів.

Вагонобудівні та вагоноремонтні підприємства при плануванні робіт повинні враховувати конструктивні особливості вагонів нового покоління, а також розширювати свою спеціалізацію за рахунок ремонту спеціалізованих вагонів (рис. 2), які протягом останніх років показують стабільні позитивні тенденції збільшення попиту. Скорочення кількості вагоноремонтних підприємств, у зв'язку з геополітичними змінами в державі (Крим та Донбас), також призводить до необхідності пошуку нових рішень в організації процесу ремонту.



Рис. 2. Спеціалізований вагон-цистерна для пеку моделі 15-1534-03 побудови ПАТ «Азовмаш»

Існуючі вагоноремонтні депо передбачають тільки жорстку технологічну структуру. Така структура складається з послідовно з'єднаних елементів (позицій), і вихід будь-якого елемента з ладу відбивається на роботі всієї потокової лінії. З ростом інтенсивності експлуатації вагонів, а також виробництвом нових вагонів, що мають різні конструктивні відмінності, значно стала змінюватися і трудомісткість їх ремонту. А для «жорсткого» потоку необхідно, щоб час завершення виконання робіт на всіх позиціях відбувався б одночасно. Збій такту на будь-якій позиції в таких умовах негативно впливає на роботу всього потоку [7-9]. Новий рівень в розвитку організаційних форм вагоноремонтного виробництва – створення гнучких поточкових систем. Сучасний рівень розвитку науки і техніки дозволяє їх успішно реалізувати. Основний акцент повинен бути зроблений на створенні вагоноремонтних підприємств, які могли б, використовуючи гнучкі потоки, ремонтувати кілька типів вагонів і виконувати різні види ремонту. За експертними оцінками, пропускна

спроможність (продуктивність) вагоноремонтної дільниці зросте приблизно на 60-65 % [9].

Впровадження другого напрямку можливе при поступовому оновленні парку вантажних вагонів вагонами нового покоління. В цих вагонах враховані недоліки конструкції попередніх моделей вагонів. Нові матеріали та сталі дозволяють продовжити строк служби металоконструкцій рами та кузова (котла) вагона. Технічні рішення щодо оптимізації конструкції рами та кузова сприяють зменшенню тари вагона при достатній міцності усієї конструкції. Модернізація візків передбачає спирання кузова на ковзуні, постановку у п'ятникові вузли та робочі поверхні гасників коливань зносостійких прокладок, перехід від типових буксових вузлів до касетних з адаптерами, застосування білінійного ресорного підвішування [10-13].

Зразки нової техніки проходять експлуатаційні випробування у замкнених маршрутах Сартана-Інгулець для перевезення сипучих вантажів (рис. 3) [14, 15].



Рис. 3. Піввагон нового покоління побудови ПАТ «Азовмаш» з осьовим навантаженням 25 т

Результати дослідної експлуатації вагонів нового покоління, які мають деталі та вузли більш надійні, ніж попередні, дають можливість перегляду регламенту та періодичності технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів [16]:

- для усіх вагонів, у яких норматив пробігу після капітального ремонту складає 160,0 тис.км, встановити календарну тривалість використання, яка складатиме три роки (замість діючих двох років);

- вантажним вагонам, візки яких модернізовані з використанням металевих або полімерних елементів у вузлах тертя, після деповського ремонту до наступного планового ремонту встановити норматив пробігу 160,0 тис. км, а календарну тривалість міжремонтного періоду встановити три роки;

- вантажним вагонам, візки яких модернізовані з використанням металевих

або полімерних елементів у вузлах тертя, після капітального ремонту до наступного планового ремонту встановити норматив пробігу 210,0 тис. км, а календарну тривалість міжремонтного періоду встановити чотири роки.

Результати дослідної експлуатації дозволяють більш точно планувати періодичність ремонту вагонів з підвищеними показниками надійності.

Висновки. Впровадження вагонів нового покоління та нової системи ремонту й технічного обслуговування вантажних вагонів за фактичним станом дозволить скоротити витрати на їх експлуатацію та ремонт. Зростання продуктивності праці, покращення якості ремонту та скорочення простоїв вагонів в ремонті можливо при впровадженні гнучких потокових систем на вагоноремонтних підприємствах.

Список використаних джерел

1. Современная концепция депо для небольших парков подвижного состава [Текст] // Железные дороги мира. – 2007. – №3. – С. 60-63.
2. Сосунов, Н.Н. Повышение эффективности процессов эксплуатации и технического обслуживания подвижного состава в системе ремонтных предприятий отрасли [Текст] / Н.Н. Сосунов // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганск, 2006. – С. 219-223.
3. Старых, С.А. Повышение эффективности ремонта грузовых вагонов [Текст] / С.А. Старых // Железнодорожный транспорт. – 2007. – №8. – С. 24-27.

4. Фалендиш, А.П. Аналіз робіт вчених в області оптимізації системи технічного обслуговування і ремонту [Текст] / А.П. Фалендиш, О.В. Устенко, М.В. Володарець // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк: Вид-во ДонІЗТ, 2012. – Вип. 31. – С. 114-121.
5. Вагонное хозяйство [Текст]: учеб. для вузов / под ред. П.А. Устича. – М. : Маршрут, 2003. – 560 с.
6. Fagot, O. Maintenance du matériel roulant en Europe [Текст] / O. Fagot // La Vie du Rail International. – 2008. – № 4. – Р. 12–15.
7. Мямлин, В.В. Исследование функционирования различных структурных вариантов гибких потоков для ремонта вагонов при помощи имитационного моделирования [Текст] / В.В. Мямлин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – Вип. 3 (51). – С. 124-135.
8. Мямлин, В.В. Повышение надёжности работы вагоноремонтных потоков за счёт формирования их гибкости [Текст] / В.В. Мямлин, С.В. Мямлин // Проблемы безопасности на транспорте: матер. VI междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ, 2012. – С.92-93.
9. Мямлин, В.В. Теоретические основы создания гибких поточных производств для ремонта подвижного состава [Текст]: монография / В.В. Мямлин. – Днепропетровск: ЧФ «Стандарт-Сервис», 2014. – 380 с.
10. Савчук, О.М. Вагонный парк [Текст]: навч. посібник для вузів / О.М. Савчук. – Харків: Техностандарт, 2010. – 200 с.
11. Бубнов, В.М. Конструктивные особенности полувагона нового поколения с осевой нагрузкой 25 т [Текст] / В.М. Бубнов, С.В. Мямлин, Е.А. Фейерэizen // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доп. 70-ї міжнар. наук.-практ. конф. Дніпропетровськ, 15. 04 - 16. 04. 2010 / ДНУЗТ. Схід. наук. центр трансп. акад. України. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2010. – С. 66-67.
12. Bubnov, V.M. Dynamic performance of freight cars on bogies model 18-1711 / V.M. Bubnov, S.V. Myamlin, N.B. Mankevych [Текст] // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2013. – № 4 (46). – С. 118-126.
13. Pavels Gavrilovs, Dijs Sergejevs Resisting momentum in the abutment to rotating of freight car bogie [Текст] / Transport Problems: an International Scientific Journal. – 2008. – 3 (4 part 2). – Р. 65-71.
14. Савчук, О.М. Эксплуатационные испытания полувагонов нового поколения [Текст] / О.М. Савчук, Л.А. Мурадян, В.К. Бруякин [и др.] // Вагонный парк. – 2009. – № 5/6 -7/8. – С. 30-32. – С. 8-11.
15. Мурадян, Л.А. К вопросу о планах испытаний надёжности механических систем [Текст] / Л.А. Мурадян, В.Ю. Шапошник // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 157. – С. 119-128.
16. Мельничук, В.О. Удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів [Текст] / В.О. Мельничук, С.В. Мямлін, І.В. Ісопенко, В.В. Мямлін // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2010. – Вип. 22. – С. 101-108.

Рецензент д-р техн. наук, професор С.В. Мямлін

Бубнов Валерій Михайлович, Генеральний директор ТОВ «ГСКБВ» ПАТ «Азовмаш».

E-mail: bubnov@azovmash.com.

Мурадян Леонтій Абрамович, канд. техн. наук, доцент, кафедра вагонів та вагонного господарства, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел.: (056) 373-15-19. E-mail: leon59@bk.ru, ORCID 0000-0003-1781-4580.

Шапошник Владислав Юрійович, інженер I кат., галузева науково-дослідна лабораторія «Вагони», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Тел.: (056) 373-15-19. E-mail: ORCID 0000-0003-4701-6491.

Манкевич Микола Борисович, завідувачий бюро ТОВ «ГСКБВ» ПАТ «Азовмаш».
E-mail: bubnov@azovmash.com.

Bubnov V., General Designer «GSKBV named after V. M. Bubnov», Mashinostroiteley Sq, 1, Mariupol, Ukraine, 87535. Tel. +38 (0629) 51 86 43. E-mail bubnov@azovmash.com.

Muradian L., candidate of techn. sciences department «Car and Car Facilities» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, 49010,

Dnepropetrovsk, Ukraine. Tel. +38 (056) 373 15 19. E-mail leon59@bk.ru, ORCID 0000-0003-1781-4580.
Shaposhnyk V., Wagons Laboratory of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, 49010, Dnepropetrovsk, Ukraine. Tel. +38 (056) 373 15 19. ORCID 0000-0003-4701-6491.

Mankevych N.B. LTD «GSKBV named after V. M. Bubnov», Mashinostroiteley Sq, 1, Mariupol, Ukraine, 87535. Tel. +38 (0629) 51 86 43. E-mail bubnov@azovmash.com.

Прийнята 09.03.2016 р.

УДК 666.972.017:53

МІЦНІСНІ ВЛАСТИВОСТІ ОСОБЛИВОДРІБНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНУ НА ВІДХОДАХ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ У РОЛІ ЗАПОВНЮВАЧА

Д-р техн. наук А.Г. Вандоловський, асп. В.М. Чайка

ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ОСОБОМЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НА ОТХОДАХ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ В КАЧЕСТВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Д-р техн. наук А.Г. Вандоловский, асп. В.М. Чайка

STRENGTH PROPERTIES A PARTICULARLY FINE-GRAINED CONCRETE ON THE WASTE OF MINING AND BENEFICIATION PLANTS AS THE FILLER

Dr. tech. sci. A.G. Wondolowski, V.M. Chaika

Висунуто таку гіпотезу: в особливодрібнозернистому бетоні (ОДБ) розвинена питома поверхня твердої фази під дією великої кількості активних центрів забезпечує фізико-хімічні умови формування новоутворень цементного каменю підвищеної міцності та з більшою швидкістю, ніж у звичайному бетоні. На основі експериментальних досліджень встановлено, що вміст кристалів гідратації в початкові терміни твердіння особливодрібнозернистого бетону вищий в середньому в 2 рази в порівнянні з дрібнозернистим бетоном на піску, що підтверджує теоретичні дослідження. Експериментально встановлено, що щільне упакування зерен заповнювача забезпечує підвищення міцності ОДБ в середньому в 3 рази більше за міцність стандартного дрібнозернистого бетону на піску з модулем крупності $M_k=1,5$.

***Ключові слова:** відходи гірничо-збагачувальних комбінатів, особливо-дрібнозернистий бетон (ОДБ), подвійний електричний шар (ПЕШ), потенціал, новоутворення цементного каменю.*

Выдвинута такая гипотеза: в особомелкозернистом бетоне (ОМБ) развитая удельная поверхность твердой фазы под действием большого количества активных центров обеспечивает физико-химические условия формирования новообразований цементного камня повышенной прочности и с большей скоростью, чем в обычном бетоне. На основе экспериментальных исследований установлено, что содержание кристаллов гидратации в начальные сроки твердения особомелкозернистого бетона выше в среднем в 2 раза по сравнению с мелкозернистым бетоном на песке, что подтверждает теоретические исследования. Экспериментально установлено, что плотная упаковка зерен заполнителя обеспечивает повышение прочности ОМБ, в среднем в 3 раза больше прочность стандартного мелкозернистого бетона на песке с модулем крупности $M_k=1.5$.

Ключевые слова: *отходы горно-обогатительных комбинатов, особомелкозернистый бетон (ОМБ), двойной электрический слой (ДЕС), потенциал, новообразования цементного камня.*

It is presented optimal structure of a particularly fine-grained concrete (PFC). It is invited to consider PFC as micro concrete of the three components: coarse aggregate - waste mining and beneficiation plant, fine grained - not hydrated cement grains and micro filler, matrix .is cement stone. It is studied the interaction of gaseous, liquid and solid phases during the formation of the PFC structure. The characteristic of the electric double layer (EDL) at the interface of solid and liquid phases in the context of developed specific surface of filler are determined. It is determined that the action of the active centers is evident in the increasing of the pressure on output elements of neoplasm's in the area of the electric double layer. It is hypothesized that: in a particularly fine-grained concrete developed specific surface of the solid phase under the action of a greater number of active sites provides physical - chemical conditions of formation of neoplasm's of the cement stone higher strength and greater speed than conventional concrete. On the basis of experimental researches it is established that the content of crystals of hydration in the initial stages of hardening of concrete submissions higher on average in 2 times in comparison with fine-grained concrete on the sand, which confirms the theoretical study. It was established experimentally that dense packing of grains of filler, in accordance with the optimal structure of the PFC particular, theoretically, enhances the strength of the PFC is 3 times greater than the strength of fine-grained concrete on the sand with a fineness modulus of $M_k=1.5$.

Keywords: *waste mining and beneficiation plants, a particularly fine-grained concrete, the electric double layer, the potential, neoplasm's of the cement stone.*

Вступ. Останні три десятиліття в Україні та за її межами спостерігається значне зменшення якісної сировинної бази для бетону. Дефіцит якісного заповнювача призводить не тільки до подорожчання будівельної продукції, а й впливає на її якість, так як на виробництві вимушені використовувати сировину, яка не відповідає нормативним показникам ДСТУ.

Сьогодні в Україні Н.М. Зайченко, В.С. Дорофеев, Л.Й. Дворкін, В.Н. Вировий проводять дослід з розробки та впровадження будівельних матеріалів з відходів виробництва, які в перспективі

стануть не тільки економічно вигідними через низьку вартість заповнювача, а й вирішать екологічну проблему, пов'язану з утилізацією відходів [1, 2, 3].

Одними з промислових відходів, які могли б стати альтернативним заповнювачем бетону, є відходи гірничо-збагачувальних комбінатів (відходи ГЗК або «хвости»), яких на сьогодні накопичено в Україні більше 3,5 млрд м³. Дані відходи характеризуються дуже малим діаметром частинок, фракцією в середньому 0,08 мм. Вони в основному складаються з кремнезему (FeO) та незначних домішок окислів заліза.

Використання відходів ГЗК в особливодрібнозернистих бетонах дозволить виробляти тонкостінні, ребристі бетонні елементи, які зможуть бути проармовані сіткою з дуже малою клітиною (до 1 мм). Це дозволить виробляти принципово нові полегшені тонкостінні конструкції, що, безумовно, знизить ціну як виробництва таких конструкцій, так і будівництва в цілому.

Постановка проблеми та аналіз досліджень. Використання таких дрібних часток у ролі заповнювача потребує поглибленого вивчення формування мікроструктури, оскільки вона значно відрізняється від мікроструктури стандартного дрібнозернистого бетону. Основна відмінність полягає в розвиненій питомій поверхні заповнювача, або зони "заповнювач - цементний камінь".

Запропоновано розглядати особливодрібнозернистий бетон як мікробетон з трьох складових. Крупним заповнювачем в даному випадку буде заповнювач з відходів ГЗК, дрібним – непрореаговані зерна цементу та мікронаповнювач, матрицею є цементний камінь. Структура дрібнозернистого бетону подана на рис. 1.

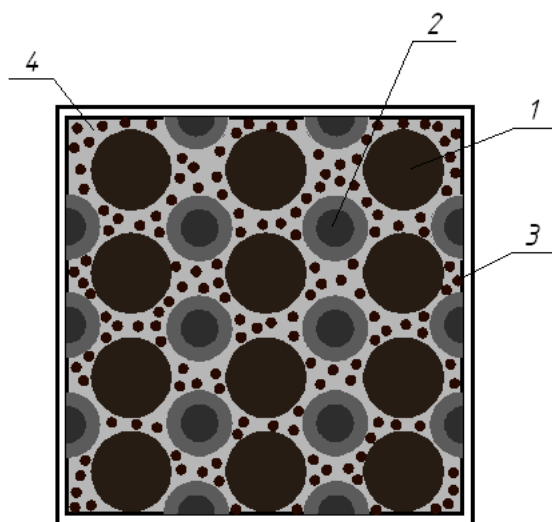


Рис. 1. Структура мікробетону (збільшення $\times 100$):

- 1 – заповнювач; 2 – зерна цементу;
- 3 – ультрамікронаповнювач;
- 4 – цементний гель

При формуванні структури бетону взаємодіють три фази – газоподібна, рідка та тверда. З різних видів взаємодії рідкої та твердої фаз можна виділити три основних: 1) хімічна взаємодія, обумовлена гідратацією та кристалізацією з розчину новоутворень та утворення гелю мінерального в'язучого; 2) фізико-хімічна взаємодія, обумовлена адсорбцією молекул води в зоні дії поверхнево-силового поля твердої фази; 3) технологічна взаємодія, при якій значну роль відіграє в'язкість суміші, яка забезпечує необхідну легкоукладальність бетонної суміші [4].

Поряд з хімічною відбувається фізико-хімічна взаємодія, в основі якої лежить змінення полярних властивостей молекули води. Потрапляючи в силове поле поверхні твердої фази, яка може мати різні за величиною та знаком електростатичні ψ -потенціали поверхні (наприклад, SiO_2 – негативний, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaO , ГСА – позитивний), диполі води витягуються до активних центрів полюсом зі зворотним знаком.

Адсорбційна вода наближається за своїми властивостями до псевдокристалічного тіла зі щільністю $1,2-2 \text{ г/см}^3$, значною пружністю, міцністю при зсуві 10^4 Па , низькій температурі замерзання, нижче 195 К . Такі аномальні граничні шари обумовлюються наявністю подвійного електричного шару (ПЕШ) на межі розділу твердої та рідкої фази.

Одним з головних наслідків теорії ПЕШ є зручне для практичного застосування рівняння для плоского ПЕШ [5]

$$\eta_0 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{d} (\psi_0 - \psi_1) , \quad (1)$$

де η_0 – величина поверхневого заряду, ψ_0 – потенціал поверхні, ψ_1 – потенціал площини найбільшого наближення; ε – діелектрична проникність; ε_0 – діелектрична проникність вакууму.

Товщина дифузного шару як відстань «d» від щільного шару (площини

найбільшого наближення), при якому потенціал ψ зменшується в «e» разів (див. рис. 3), розраховується за формулою [5]

$$\delta = \left(\frac{1}{zF} \right) \sqrt{\frac{\epsilon\epsilon_0 RT}{2C}} \quad (2)$$

$$\frac{d\psi}{dx} = -\sqrt{\frac{2RTC}{\epsilon\epsilon_0}} \left[\exp\left(\frac{\psi}{2}\right) - \exp\left(-\frac{\psi}{2}\right) \right] \quad (3)$$

(де $\bar{\psi} = \frac{zF\psi}{RT}$ - безрозмірний потенціал), виявиться можливим отримати відношення величини відстані x від щільного шару (площини найбільшого зближення) від товщини дифузного шару δ [5]

$$\frac{x}{\delta} = \ln \frac{th(\bar{\psi}_1/4)}{th(\bar{\psi}/4)} \quad (4)$$

Розкладення рівняння 3 в ряд при малих ψ_1 (і ψ) дає

$$\psi = \psi_1 \exp(-x/\delta) \quad (5)$$

З даного рівняння можливо зробити висновок, що товщина дифузного шару - це відстань x від щільного шару (площини найбільшого зближення), при якому потенціал зменшується ψ в e разів (рис. 2) [5]

$$\psi(x) = \psi_1 / e \quad (6)$$

Згідно з рівнянням 2, δ не залежить ані від щільності поверхневого заряду η_0 , ані від потенціалу (ψ або ψ_1) та є функцією лише заряду іонів z та концентрації електроліту C (при $T = \text{const}$), зменшуючись в останньому випадку лінійно зі збільшенням \sqrt{C} [5].

Знак заряду потенціал-визначального шару іонів та величина ПЕШ на частинках в системі в'яжуче – вода значно залежать

А.Н. Пругіним розроблений новий підхід, який дозволяє у більш повній мірі виявити фізичне значення одного з параметрів ПЕШ – величини δ [5].

Інтегруючи експоненційну залежність потенціалу ψ від відстані x

від іонного дисперсного середовища та числа колоїдних новоутворень.

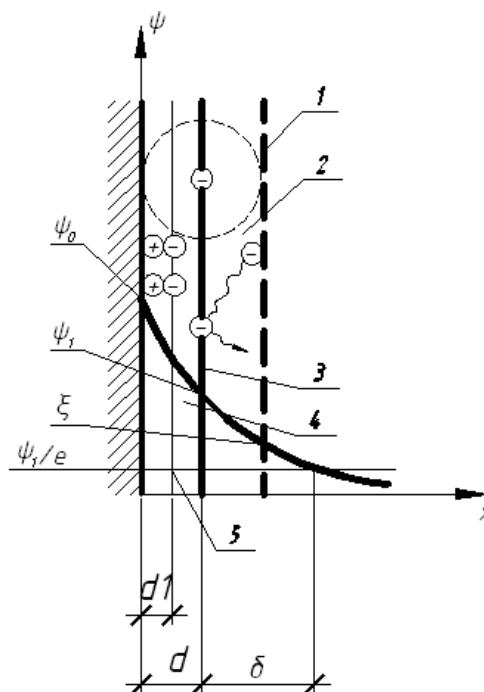


Рис. 2. Розподілення потенціалу в подвійному електричному шарі: 1 – площина ковзання; 2 – дифузна частина ПЕШ; 3 – зовнішня площина Гельмгольца; 4 – щільна частина ПЕШ; 5 – внутрішня площина Гельмгольца

При різній величині питомої поверхні частинок оксиду кремнію SiO_2 знак заряду потенціал-визначального шару іонів та величина ПЕШ значно змінюються. У лужному середовищі поверхневі групи SiO_2 гідратованого та органозаміщеного

в'язучого дисоціюють з утворенням потужного подвійного електричного шару, який обумовлює величину електричного потенціалу до значень 30-150 мВ. Після адсорбції гідроксиду кальцію на частинках кремнезему гідроксиду кальцію змінюється знак заряду на позитивний, падає величина електрокінетичного потенціалу [6, 7, 8, 9].

При збільшенні питомої поверхні заповнювача бетону відбувається збільшення електроосмотичного переносу, що пов'язане з утворенням просторової структури з високим значенням масопереносу, що сприяє полегшенню процесу дифузії, перекристалізації та відторгнення в об'єм нестабільних новоутворень. Це відбувається завдяки зміні будови іонів в дисперсному середовищі. Утворюються такі умови, при яких на граничних поверхнях синтезуються з'єднання досить сольватовані та контактуючі з включенням впливу подвійного електричного шару. Запобігається передчасному замиканню активних центрів в точкових конденсаційних контактах та забезпечується отримання розвинених активних зон, що зростають перпендикулярно до поверхні кристалів. Встановлений зв'язок фізико-хімічних процесів росту новоутворень з властивостями поверхні твердої фази дозволяє зробити висновок, що розвинена поверхня особливодрібнозернистих заповнювачів відтворює умови досягнення значних фізико-механічних показників бетонів.

Визначення мети та мета дослідження. На основі детального розгляду формування контактної зони в особливодрібнозернистому бетоні можливо висунути таку гіпотезу: в особливо дрібнозернистому бетоні розвинена питома поверхня твердої фази під дією великої кількості активних центрів забезпечує фізико-механічні умови формування новоутворень цементного каменю підвищеної міцності та з більшою швидкістю, ніж у звичайному бетоні. Дія активних центрів проявляється у створенні підвищеного тиску на вихідні елементи

новоутворень в зоні дії подвійного електричного шару (ПЕШ). **Задача дослідження** – вивчення фізичних умов поблизу поверхні твердої фази з врахуванням встановлення впливу ПЕШ на характер росту новоутворень.

Експериментальні досліді проведені з метою визначення кількості продуктів гідратації в особливодрібнозернистому бетоні в ранній термін твердіння, а також порівняння результатів з новоутвореннями дрібнозернистого бетону на піску. Досліді проводилися на дифрактометрі ДРОН-3 у віці бетонних зразків 7 діб. Результати досліді подано на рис. 3, 4.

Виготовлялися балочки 4x4x16, які випробовувались за стандартною методикою у віці 7 діб твердіння в природньо-вологісних умовах. Визначалась міцність при стиску R_b та міцність на розтяг при згині R_{bff} .

Попередньо визначена характеристика вихідних сировинних матеріалів. В'язуче – шлакопортландцемент (ШПЦ Ш/А) марки М400 (АТ "Балцем) активністю $R_{ц} = 370 \text{ кгс/см}^2$, питома поверхня $2800 \text{ см}^2/\text{г}$, нормальна густина тіста 25 %. Пісок кварцовий Безлюдівського кар'єру – модуль крупності $M_k = 1.5$, істинна щільність $2,65 \text{ г/см}^3$, питома поверхня $105 \text{ см}^2/\text{г}$. Відходи Полтавського ГЗК («хвости») – істинна щільність $2,8 \text{ г/см}^3$, питома поверхня $1800 \text{ см}^2/\text{г}$. Гранулометричний склад «хвостів»: 0,35 - 0,08 мм, з включенням 26 % пилу (< 0,08 мм). Мікрокремнезем (ЧП «Капрі», г. Стаханов) – вміст $\text{SiO}_2 = 93-95 \%$, питома поверхня $8500 \text{ см}^2/\text{г}$, істинна щільність $2,68 \text{ г/см}^3$.

Склад контрольного зразка: цемент – «хвости» = (1:3 за вагою), мікрокремнезем 15 % від ваги цементу, суперпластифікатор на основі полікарбоксилатів – 2 % від ваги цементу, В/Ц = 0,5, ущільнення вібротрамбуванням.

Склад еталонного зразка: цемент – пісок - 1:3 за вагою, В/Ц=0,5, ущільнення вібруванням.

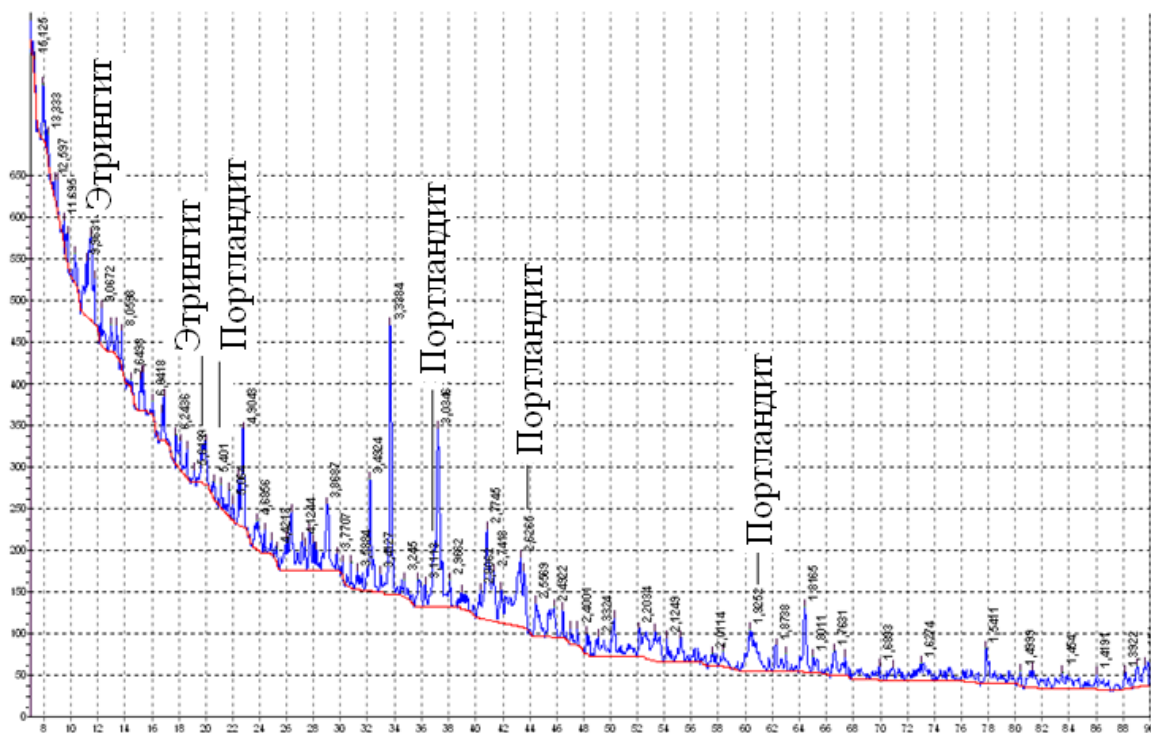


Рис. 3. Рентгенограма цементного каменю дрібнозернистого піщаного бетону (контрольний)

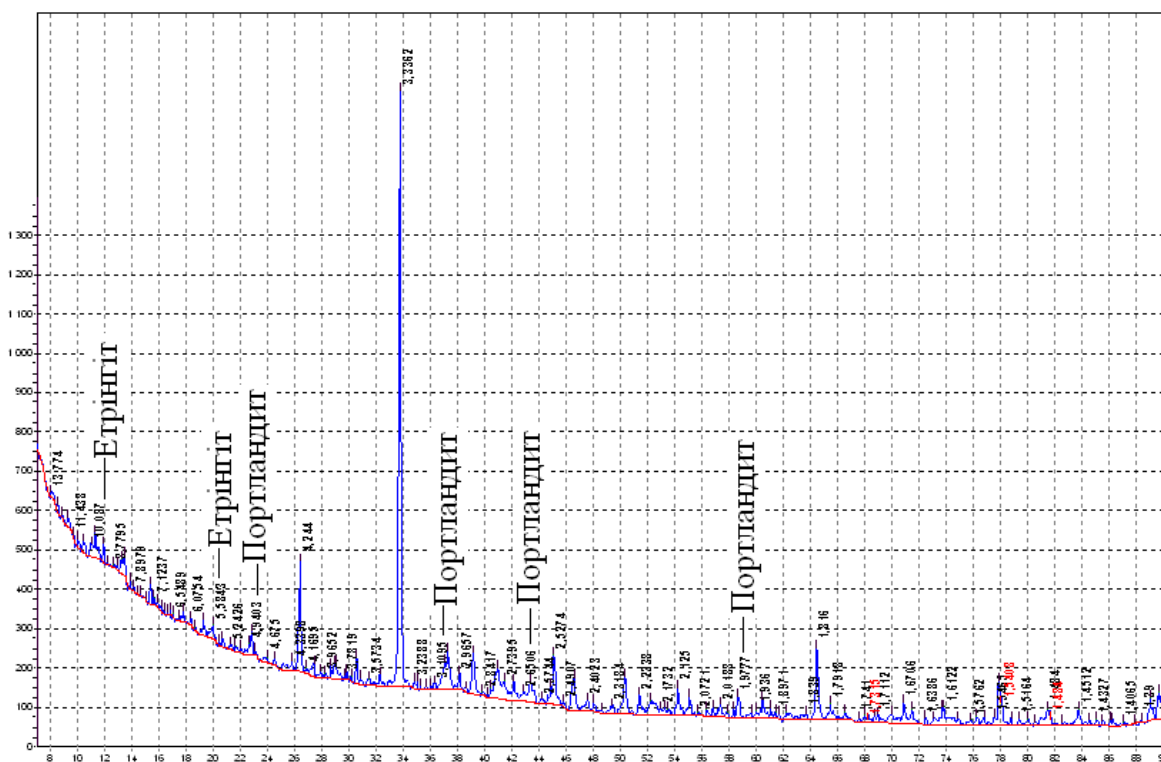


Рис. 4. Рентгенограма цементного каменю особливо дрібнозернистого бетону, заповнювачем якого є відходи Полтавського ГЗК (основний)

Для кількісної оцінки вмісту кристалів початкової гідратації розрахунок проводили виходячи з співвідношення інтенсивності ліній еталонного мінералу кварцу. На основі петрографічних дослідів в пробі контрольного зразка вміст кварцу – 4 % (не видалений кварцовий пісок). В пробі основного зразка вміст кварцу становить 76 %, тому що при підготовці проб тонкодисперсний кварц («хвости» та

мікрокремнезем) видалити не вдалося. Інтенсивність ліній змінювалась пропорційно вмісту компонентів. Для аналізу вмісту мінералів вибрані лінії, які не збігаються з лініями інших мінералів.

Для проведення аналізу новоутворень при гідратації цементу на початкових термінах твердіння використовувались початкові результати дослідів, які наведені в табл. 1 і 2.

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики контрольного та еталонного зразків

№ п/п	Фізико-механічний показник	Одиниця виміру	ОДБ на «хвостах» Полтавського ГЗК	Дрібнозернистий бетон на піску з $M_k=1,5$ (контрольний)	Коеф-т зміцнення, K_y
1	R_b	МПа	40	13	3,0
2	R_{bif}	МПа	12,1	5	2,42
3	ρ	т/м ³	2,35	2,2	1,07
4	Залежність $R_b:R_{bif}$	-	1:3,3	1:2,6	-

Таблиця 2

Розрахункові інтенсивності мінералів (інт/с)

Зразок	Мінерали				
	Портландит			Ентрингіт	
	4,92	2,63	1,92	9,73	5,61
Еталон	92	54	35	70	35
Контрольний	183	142	175	162	104

Висновки:

- щільне упакування зерен заповнювача забезпечує підвищення міцності особливодрібнозернистого бетону, що перевищує в середньому в 3 рази міцність стандартного дрібнозернистого бетону на піску з модулем крупності $M_k=1.5$;

- вміст кристалів гідратації в початкові терміни твердіння особливо дрібнозернистого бетону вищий в середньому в 2 рази в порівнянні з дрібнозернистим бетоном на піску, що обумовлено розвиненою питомою поверхнею твердої фази. Під дією великої кількості активних центрів забезпечуються

фізико-механічні умови формування новоутворень цементного каменю підвищеної міцності та з більшою швидкістю, ніж у звичайному бетоні. Дія активних центрів проявляється у створенні підвищеного тиску на вихідні елементи новоутворень в зоні дії подвійного електричного шару (ПЕШ).

Подальший розвиток досліджень у даному напрямку направлений на розробку технологічних рішень, які дозволять в виробничих умовах використовувати фізико-хімічні явища інтенсифікації процесу зростання новоутворень твердіючого в'язучого.

Список використаних джерел

1. Зайченко, Н.М. Высокопрочные тонкозернистые бетоны с комплексно модифицированной структурой [Текст] / Н.М. Зайченко. – Макеевка: ДонНАСА, 2009. – 207 с.
2. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст] / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. – 205 с.
3. Выровой, В.М. Композиционные строительные материалы и конструкции [Текст] / В.М. Выровой, В.С. Дорофеев, В.Г. Суканов. – Одесса, 2010. – 168 с.
4. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона [Текст] / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 463 с.
5. Плугин, А.Н. Коллоидная химия и физико-химическая механика цементных бетонов [Текст] / А.Н. Плугин, А. А. Плугин. – К.: Наукова думка, 2011. – Т. 1. – 333 с.
6. Вагнер, Г.Р. Физико-химия процессов активации цементных дисперсий [Текст] / Г.Р. Вагнер. – К.: Наук. думка, 1980. – 200 с.
7. Ушеров-Маршак, А.В. Микроструктура цементного камня [Текст] / А.В. Ушеров-Маршак, В.П. Сопов // Коллоидный журнал. – 1997. – Т. 59. – №6. – С. 873-877.
8. Ушеров-Маршак, А.В. Калориметрический анализ взаимодействия в дисперсных системах на примере вяжущих веществ [Текст] / А.В. Ушеров-Маршак, В.П. Сопов. // Неорганические материалы. – 1996. – Т. 32. – №2. – С. 249-253.
9. Usherov-Marshak A.V., Sopov V.P., Kurdowski W. Studies of capillary porosity of clinker phases during hydration // J. of Therm. Analysis and Calorimetry, 1999, Vol. 55. – pp. 1031-1037.

Вандоловський Олександр Георгійович, доктор техн. наук, завідувач кафедри будівельних матеріалів та виробів Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел. 706-20-73.
Чайка Віталій Миколайович, аспірант кафедри будівельних матеріалів та виробів Харківського національного університету будівництва та архітектури. E-mail: vitalik-chajka@yandex.ru.

Wandolovski Alexandr, doctor of technical Sciences, head of Department of building materials and products of Kharkiv national University of construction and architecture. Tel. 706-20-73.
Chaika Vitalii, Postgraduate the Department of building materials and products Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. E-mail: vitalik-chajka@yandex.ru.

Прийнята 10.03.2016 р.

УДК 624.014:697.112.3

ІМОВІРНІСТЬ ТЕПЛОВОЇ ВІДМОВИ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ СТАЛЕВИХ ХОЛОДНОФОРМОВАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА КРИТЕРІЄМ ЗНИЖЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ТЕМПЕРАТУР

Д-р техн. наук С.Ф. Пічугін, канд. техн. наук В.О. Семко

ВЕРОЯТНОСТЬ ТЕПЛООВОГО ОТКАЗА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТАЛЬНЫХ ХОЛОДНОФОРМОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО КРИТЕРИЮ СНИЖЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТЕМПЕРАТУР

Д-р техн. наук С.Ф. Пичугин, канд. техн. наук В.А. Семко

THE PROBABILITY OF THE THERMAL FAILURE OF BUILDING ENVELOPES MADE OF COLD-FORMED STEEL ELEMENTS BASED ON LOCAL TEMPERATURE DECREASE CRITERION

Doct. of techn. science S. Pichugin, candid. of techn. science V. Semko

Розглядається питання безвідмовної роботи огороджувальної конструкції із сталевих холодноформованих елементів. Як можливу відмову розглянуто випадок зниження температури на поверхні огороджувальної конструкції нижче температури конденсації водяної пари. Матеріал статті містить не тільки теоретичні положення, але і числовий приклад визначення імовірності відмови вузла стінової конструкції.

Ключові слова: надійність, сталеві холодноформовані конструкції, тепла відмова, огороджувальна конструкція, конденсація, температура.

Рассматривается вопрос безотказной работы ограждающей конструкции из стальных холодноформованных элементов. В качестве возможного отказа рассмотрен случай снижения температуры на поверхности ограждающей конструкции ниже температуры конденсации водяного пара. Материал статьи содержит не только теоретические выкладки, но и пример определения вероятности отказа узла стеновой конструкции.

Ключевые слова: надежность, стальные холодноформованные конструкции, тепловой отказ, ограждающая конструкция, конденсація, температура.

The article is targeted to solving the problem of trouble-free operation of the building envelopes. Decreasing local temperature to the condensation temperature of water vapour is the one of the form of failure of the building envelope. The result is the wet building structures. For determining probability of this event, it was proposed this method. In the first place, the researcher must determine the functional dependence of linear heat-transfer coefficient from different parameters. In the second place, the researcher must determine the function of mathematical expectation and standard of the linear heat-transfer coefficient in linearization technique. Further, by building physics formulas we must determine temperature function on the interior surface of the wall (or the roof) in the place with thermal inclusion. Just the way we can determine the function of mathematical expectation and standard of the interior surface temperature in linearization technique. The probability of the failure of the building envelope joint can be found with reliability index. The example of the estimation of the probability of the failure of the joint of wall structure made of cold-formed steel elements considered in this paper.

Keywords: *reliability, cold-formed steel structures, thermal failure, building envelope, condensation, temperature.*

Вступ. Збільшення вартості енергетичних ресурсів призводить до підвищення вимог до енергетичної ефективності будинків. Зменшення витрат на опалювання будинків можливе за рахунок використання як відновних джерел енергопостачання, так і підвищення вимог до огорожувальних конструкцій. За останні 10 років у країні двічі було підвищено нормативи до огорожувальних конструкцій [1, 2]. При цьому кількість температурних зон зменшилась з 4 до 2, отже, вимоги до теплової надійності будинків однакові як на півночі Сумської області, так і на півдні Кіровоградської. Ці фактори ставлять перед дослідниками питання про більш детальну кількісну оцінку теплової надійності будівель.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Теплова відмова огорожувальної конструкції, на відміну від відмови несучої конструкції, не призводить до людських жертв, а в першу чергу призводить до економічних втрат – таких як збільшення використання енергоресурсів, витрат на ліквідацію наслідків локальних замочувань, боротьби із грибками та цвілью. В деяких випадках, при малій імовірності події, можливо, значно дешевше ліквідувати потенційні наслідки від теплової відмови, ніж проектувати та влаштовувати засоби з її попередження. Для каркасних будівель, огорожувальні конструкції яких мають багато температурних включень, актуальним питанням є визначення імовірності відмови за критерієм зниження локальних значень температур внутрішньої поверхні до температури конденсації пари повітря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішення проблеми оцінки теплової надійності огорожувальних конструкцій в Україні розпочав Фаренюк Г.Г. [10], який запропонував

чотири стани теплових відмов. У подальшому ці дослідження продовжив Пашинський В.А., яким було запропоновано методи для числової оцінки імовірності відмови однорідних огорожувальних конструкцій за критеріями: недосягнення достатнього рівня опору теплопередачі через мінливість геометричних і теплофізичних характеристик матеріалів огорожувальних конструкцій; перевищення максимального допустимого значення щільності теплового потоку через огорожувальну конструкцію [4]. Для використання запропонованого Пашинським В.А. методу одними із вихідних даних є результати досліджень мінливості теплотехнічних характеристик будівельних матеріалів. Слід зазначити, що такі дослідження в Україні проводяться в обмеженому обсязі. Зокрема відомі дослідження, проведені в лабораторії Полтавського національного технічного університету [5]. Також відомі результати литовських [7] та португальських дослідників [8], при цьому остання праця є доволі цінною, адже побудована на результатах випробувань декількох тисяч зразків будівельних матеріалів.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даної роботи є розроблення методики визначення імовірності теплової відмови огорожувальних конструкцій із сталевих холодноформованих елементів за критерієм зниження локальних значень температур у місцях теплопровідних включень.

Основна частина дослідження. Одним із критеріїв відмови огорожувальних конструкцій є зниження локального значення температури в зонах теплопровідних включень до температури конденсації пари повітря. При цьому необхідно використовувати розрахункове значення температури зовнішнього повітря (далі $t_3^{ДБН}$), згідно з додатком Ж ДБН [2]. Дані

значення температур сильно відрізняються від розрахункових значень температур, наданих ДСТУ «Будівельна кліматологія» [3].

Для подальшої оцінки імовірності безвідмовної роботи огорожувальних конструкцій із теплопровідними включеннями необхідно встановити імовірність реалізації розрахункових температур із ДБН [2] протягом найбільш холодної доби, температури найбільш холодної п'ятиденки та середньомісячної температури зимових місяців.

Оцінювання імовірності реалізації температури $t_3^{ДБН}$ протягом доби виконаємо із припущення, що розподіл температур найбільш холодної доби описується нормальним законом. Маючи значення температур із забезпеченістю 0,92 та 0,98, можна отримати значення математичного сподівання та значення стандарту розподілу зовнішньої температури за такими формулами:

$$S_{t_3} = \frac{t_3^{0,92} - t_3^{0,98}}{0,655}, \quad (1)$$

$$M_{t_3} = t_3^{0,98} + 2,06 S_{t_3} \quad \text{або} \quad (2)$$

$$M_{t_3} = t_3^{0,92} + 1,405 S_{t_3}, \quad (2,а)$$

де $t_3^{0,92}$ та $t_3^{0,98}$ – температури зовнішнього повітря t_3 із забезпеченістю 0,92 та 0,98 для відповідного міста, отримані за таблицею 2 [3] або за формулою (5.8) [11] для періоду повторюваності 12,5 та 50 років відповідно.

Оскільки формула (5.8) [11] дає дещо нижчі значення розрахункових температур, ніж подані в ДСТУ [3], то для подальших досліджень використаємо саме цю формулу.

Імовірність перевищення розрахункової температури $t_3^{ДБН}$ знайдемо через характеристику безпеки β , що буде дорівнювати

$$\beta = \frac{t_3^{ДБН} - M_{t_3}}{S_{t_3}}. \quad (3)$$

Імовірність того, що зовнішня температура повітря буде нижчою за розрахункову температуру $t_3^{ДБН}$, буде дорівнювати

$$Q = 0,5 - \Phi(\beta), \quad (4)$$

де $\Phi(\beta)$ – значення нормованої функції Лапласа відповідно до величин β .

Розрахунки виконаємо для 25 обласних центрів України. Результати оцінки імовірності перевищення розрахункової температури $t_3^{ДБН}$ протягом одноденного терміну подано в табл. 1. Із показника імовірності Q_1 видно, що для північно-східних обласних центрів імовірність того, що розрахункова температура найбільш холодної доби буде більшою за розрахункову $t_3^{ДБН}$, складає 0,492, для центральних регіонів України 0,319-0,428, для південних обласних центрів (окрім Сімферополя) – 0,252, а для західних – 0,171. У цілому ймовірність того, що температура найбільш холодної доби буде більша за розрахункову $t_3^{ДБН}$, досить висока, і лише для Криму дана імовірність становить 0,04 і може бути оцінена як малоімовірна.

За аналогічним принципом виконаємо оцінку імовірності перевищення розрахункової температури $t_3^{ДБН}$ протягом п'ятиденного терміну (Q_5) (табл. 2). Характер розподілу величини Q_5 за регіонами України залишився незмінним, але суттєво змінилися значення імовірності Q_5 . Так, для шести обласних центрів (Полтава, Суми, Харків, Чернігів, Луганськ, Запоріжжя) вона перебуває на доволі високому рівні в межах 0,173-0,218. Для регіонів центральної та південної України імовірність перевищення розрахункової температури $t_3^{ДБН}$ протягом п'ятиденного терміну становить 0,077-0,109, що є невисоким значенням, а для території західної України та АР Крим імовірність Q_5 перебуває в малоймовірних межах 0,043 (для заходу) та 0,006 (для Криму).

Оцінку імовірності перевищення розрахункової температури $t_3^{ДБН}$ над середньою температурою зимових місяців виконаємо за умов, що розподіл середньомісячних температур зимових місяців описується нормальним законом. Значення математичного сподівання середньомісячних температур візьмемо із таблиці 2 [3], значення стандарту визначимо за формулою (3.3) [11], а коефіцієнт безпеки β – за формулою (3). Імовірність перевищення розрахункової температури $t_3^{ДБН}$ над середньою

температурою грудня перебуває в межах від $1,1 \times 10^{-3}$ до $2,5 \times 10^{-5}$; січня – від $1,1 \times 10^{-3}$ до $3,7 \times 10^{-4}$; лютого – від $1,2 \times 10^{-3}$ до $1,8 \times 10^{-4}$.

З результатів розрахунку видно, що імовірність настання середньомісячної температури із значенням, більшим $t_3^{ДБН}$, найбільша для січня та лютого і найменша для грудня. В той же час найбільше значення імовірності події становить 0,009 для м. Суми в січні. Значення для інших міст у декілька разів менші. Найменше значення для січня становить 0,00037 для м. Сімферополь.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз імовірності перевищення розрахункової температури за ДБН [2] температурою найбільш холодної доби

№ з/п	Місто	Розрахункові температури зовнішнього повітря, °С			$M(t_3), ^\circ\text{C}$	$S(t_3), ^\circ\text{C}$	β	Q_1
		за ДБН [2]	найбільш холодної доби із забезпеченістю					
			0,98	0,92				
1	Чернігів	-22	-30,47	-27,75	-21,9204	4,15	0,02	0,492
	Харків	-22	-30,47	-27,75	-21,9204	4,15	0,02	0,492
	Суми	-22	-30,47	-27,75	-21,9204	4,15	0,02	0,492
	Полтава	-22	-30,47	-27,75	-21,9204	4,15	0,02	0,492
	Луганськ	-22	-30,47	-27,75	-21,9204	4,15	0,02	0,492
2	Запоріжжя	-19	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,18	0,428
3	Черкаси	-22	-28,39	-25,76	-20,109	4,02	0,47	0,319
	Хмельницький	-22	-28,39	-25,76	-20,109	4,02	0,47	0,319
	Київ	-22	-28,39	-25,76	-20,109	4,02	0,47	0,319
	Житомир	-22	-28,39	-25,76	-20,109	4,02	0,47	0,319
	Донецьк	-22	-28,39	-25,76	-20,109	4,02	0,47	0,319
	Дніпропетровськ	-22	-28,39	-25,76	-20,109	4,02	0,47	0,319
	Вінниця	-22	-28,39	-25,76	-20,109	4,02	0,47	0,319
4	Херсон	-19	-24,24	-21,77	-16,486	3,76	0,67	0,252
	Одеса	-19	-24,24	-21,77	-16,486	3,76	0,67	0,252
	Миколаїв	-19	-24,24	-21,77	-16,486	3,76	0,67	0,252
	Ужгород	-19	-24,24	-21,77	-16,486	3,76	0,67	0,252
5	Чернівці	-22	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,95	0,171
	Тернопіль	-22	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,95	0,171
	Рівне	-22	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,95	0,171
	Львів	-22	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,95	0,171
	Кіровоград	-22	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,95	0,171
	Івано-Франківськ	-22	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,95	0,171
	Луцьк	-22	-26,32	-23,77	-18,2975	3,89	0,95	0,171
6	Сімферополь	-19	-20,09	-17,79	-12,863	3,51	1,75	0,040

Результати порівняння трьох різних розподілів температур із розрахунковою температурою зовнішнього повітря $t_3^{ДБН}$ вказує на те, що її реалізація найбільш імовірна для періоду найбільш холодної доби, в той же час імовірність очікування реалізації температури $t_3^{ДБН}$ протягом

цілого місяця майже неможлива. Для періоду найбільш холодної п'ятиденки для південно-західного регіону України факт перевищення $t_3^{ДБН}$ є також малоімовірним, це у свою чергу може суттєво відбиватись на розрахунках огорожувальних конструкцій із великим значенням теплової інерції.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз імовірності перевищення розрахункової температури за ДБН [2] температурою найбільш холодної п'ятиденки

№ з/п	Місто	Розрахункові температури зовнішнього повітря, °С			$M(t_3), °C$	$S(t_3), °C$	β	Q_5
		за ДБН [2]	найбільш холодної п'ятиденки із забезпеченістю					
			0,98	0,92				
1	Полтава	-22	-27,31	-24,60	-18,76	4,15	0,78	0,218
	Суми	-22	-27,31	-24,60	-18,76	4,15	0,78	0,218
	Харків	-22	-27,31	-24,60	-18,76	4,15	0,78	0,218
	Чернігів	-22	-27,31	-24,60	-18,76	4,15	0,78	0,218
2	Луганськ	-22	-27,31	-24,24	-17,64	4,70	0,93	0,177
3	Запоріжжя	-19	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	0,94	0,173
4	Вінниця	-22	-25,34	-22,70	-17,05	4,02	1,23	0,109
	Дніпропетровськ	-22	-25,34	-22,70	-17,05	4,02	1,23	0,109
	Донецьк	-22	-25,34	-22,70	-17,05	4,02	1,23	0,109
	Житомир	-22	-25,34	-22,70	-17,05	4,02	1,23	0,109
	Київ	-22	-25,34	-22,70	-17,05	4,02	1,23	0,109
	Хмельницький	-22	-25,34	-22,70	-17,05	4,02	1,23	0,109
	Черкаси	-22	-25,34	-22,70	-17,05	4,02	1,23	0,109
5	Ужгород	-19	-21,38	-18,91	-13,62	3,76	1,43	0,077
	Миколаїв	-19	-21,38	-18,91	-13,62	3,76	1,43	0,077
	Одеса	-19	-21,38	-18,91	-13,62	3,76	1,43	0,077
	Херсон	-19	-21,38	-18,91	-13,62	3,76	1,43	0,077
6	Луцьк	-22	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	1,71	0,043
	Івано-Франківськ	-22	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	1,71	0,043
	Кіровоград	-22	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	1,71	0,043
	Львів	-22	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	1,71	0,043
	Рівне	-22	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	1,71	0,043
	Тернопіль	-22	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	1,71	0,043
	Чернівці	-22	-23,36	-20,81	-15,34	3,89	1,71	0,043
7	Сімферополь	-19	-17,42	-15,12	-10,20	3,51	2,51	0,006

Імовірність теплової відмови огорожувальних конструкцій за критерієм зниження локальних значень температур внутрішньої поверхні до температури конденсації пари повітря відбувається за умов виконання нерівності

$$Q = \text{prob}\{\tau_{\epsilon} < t_p\} = F_{\tau_{\epsilon}}(t_p). \quad (5)$$

Основний підхід до вирішення даної задачі буде однаковим для всіх типів огорожувальних конструкцій. Функцію локальної температури внутрішньої поверхні у місці температурного включення визначимо із умов рівності значень густини теплового потоку, що проходить крізь температурне включення та передається від внутрішнього повітря в приміщенні до внутрішньої частини стіни шляхом конвекційного обміну. Густина теплового потоку q між внутрішньою поверхнею стіни та внутрішнім повітрям визначається за формулою

$$q = \alpha_{\epsilon}(t_{\epsilon} - \tau_{\epsilon}), \quad (6)$$

де t_{ϵ} – внутрішня температура повітря, °С;

τ_{ϵ} – температура на внутрішній поверхні стіни в місці температурного включення, °С;

α_{ϵ} – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м²×К).

У той же час, згідно з формулою (И.6) [2], лінійний коефіцієнт теплопередачі температурного включення визначають за формулою

$$k = \frac{\bar{q}_{m\epsilon} \cdot C}{t_{\epsilon} - t_3}, \quad (7)$$

де $\bar{q}_{m\epsilon}$ – середнє значення густини теплового потоку в місці температурного включення, Вт/м²;

C – ширина температурного включення, м.

Прирівнюючи значення густини теплового потоку з формул (6) та (7),

отримаємо функцію локальної температури у місці температурного включення (8):

$$\bar{q}_{m\epsilon} = \frac{k \cdot (t_{\epsilon} - t_3)}{C},$$

$$q = \alpha_{\epsilon}(t_{\epsilon} - \tau_{\epsilon}) = \frac{k \cdot (t_{\epsilon} - t_3)}{C},$$

$$t_{\epsilon} - \tau_{\epsilon} = \frac{k \cdot (t_{\epsilon} - t_3)}{\alpha_{\epsilon} \cdot C},$$

$$\tau_{\epsilon} = t_{\epsilon} - \frac{k \cdot (t_{\epsilon} - t_3)}{\alpha_{\epsilon} \cdot C}. \quad (8)$$

У формулі (8) імовірнісними параметрами будуть температура зовнішнього повітря, лінійний коефіцієнт теплопередачі та ширина температурного включення. При цьому лінійний коефіцієнт теплопередачі є функцією імовірнісних параметрів, оскільки він залежить від геометричних параметрів елементів, що складають розглядуваний вузол.

Головною проблемою у вирішенні поставленої задачі є визначення функції розподілу лінійного коефіцієнта теплопередачі температурного включення. Саме різниця у функції лінійного коефіцієнта теплопередачі буде відрізняти різні вузли огорожувальних конструкцій та їх типи. Для точного вирішення задачі значення лінійного коефіцієнта теплопередачі необхідно визначати шляхом натурних вимірювань або шляхом розрахунку дво- або тривимірних моделей вузлів огорожувальних конструкцій.

Одним із шляхів отримання функції розподілу лінійного коефіцієнта теплопередачі є проведення багатofакторного експерименту. Результати для експерименту доцільно отримувати шляхом розрахунку вузлів огорожувальних конструкцій методом скінченних елементів. Робота [6] містить приклад визначення функції лінійного коефіцієнта теплопередачі для рядового вузла стіни із сталевим профілем у вигляді температурного включення (рис. 1).

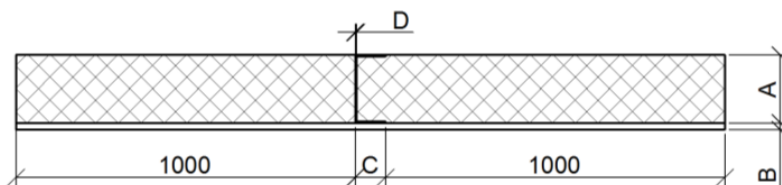


Рис. 1. Схема огорожувальної конструкції

Формула для визначення лінійного коефіцієнта теплопередачі увійшла до ДСТУ «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель» [9]:

$$k=0,1-0,4A-4B+2,2C+25D, \quad (9)$$

де A – товщина шару утеплювача, м;

B – товщина оздоблювального шару, м;

C – ширина полиці сталевго профіля (ширина теплопровідного включення), м;

D – товщина сталевго профілю, м.

Оскільки функція (8) лінійна, статистичні характеристики результуючої випадкової величини лінійного коефіцієнта теплопередачі k були визначені методом лінеаризації функції випадкових величин. Математичне сподівання та стандарт лінійного коефіцієнта теплопередачі дорівнюють:

$$M_k = 0,1 - 0,4M_A - 4M_B + 2,2M_C + 25M_D, \quad (10)$$

$$S_k = \sqrt{0,16S_A^2 + 16S_B^2 + 4,84S_C^2 + 625S_D^2}, \quad (11)$$

де M_i та S_i – математичне сподівання і стандарт геометричних параметрів елементів вузла, м.

Стандарт геометричних параметрів товщини шарів огорожувальних конструкцій та розмірів елементів сталевго профілю можна визначити за формулою

$$S_i = \frac{\Delta_i}{1,64}, \quad (12)$$

де Δ_i – величина допуску для розглядуваного елемента, що визначена згідно з державними стандартами України або інших країн, м.

Для визначення статистичних характеристик функції локальної температури на внутрішній поверхні стіни (7) також використаємо метод лінеаризації [15]. Математичне сподівання і стандарт функції локальної температури на внутрішній поверхні стіни будуть визначатись за формулами (13) та (14).

$$M_{t_{\tau_6}} = t_{\tau_6} - \frac{M_k(t_{\tau_6} - M_{t_3})}{M_C \cdot \alpha_{\tau_6}}, \quad (13)$$

$$S_{t_{\tau_6}} = \sqrt{\left(\frac{t_{\tau_6} - M_{t_3}}{M_C \cdot \alpha_{\tau_6}}\right)^2 S_k^2 + \left(\frac{M_k}{M_C \cdot \alpha_{\tau_6}}\right)^2 S_{t_3}^2 + \left[\left(\frac{M_k(t_{\tau_6} - M_{t_3})}{M_C^2 \cdot \alpha_{\tau_6}}\right)^2 S_C^2\right]}, \quad (14)$$

де M_{t_3} , S_{t_3} – математичне сподівання і стандарт функції температури зовнішнього повітря для найбільш холодної доби або найбільш холодної п’ятиденки, визначені за формулами (1) та (2), °С;

M_C , S_C – математичне сподівання і стандарт функції розподілу ширини теплопровідного включення, м.

Числовий приклад. Необхідно визначити імовірність теплової відмови вузла стінової конструкції із теплопровідним включенням у вигляді сталевий стійки за критерієм зниження локальних температур при розташуванні будівлі в м. Полтава та м. Кіровоград. Розрахункова схема вузла подана рис. 2.

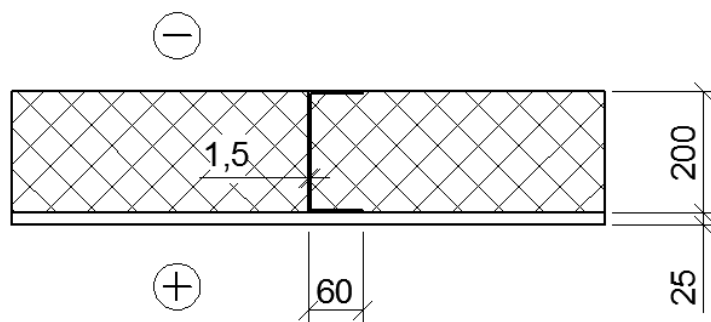


Рис. 2. Розрахункова схема вузла стінової конструкції

Величини допусків геометричних параметрів теплопровідного включення визначимо згідно з будівельними стандартами [12-14]. Так, допуск, на відхилення ширини полицки та висоти стінки для профілю товщиною 1,5 мм становить $\Delta_A = \Delta_C = 0,75$ мм [13]. Допуск на товщину гіпсокартонної обшивки $\Delta_B = 0,9$ мм [14]. Допуск на товщину листа, з якого виготовлено профіль, при товщині листа від 1,2 до 1,6 мм становить $\Delta_D = 0,11$ мм [12].

Тоді для геометричних параметрів, математичне сподівання та стандарт, згідно з формулою (11) будуть дорівнювати:

$$\begin{aligned} M_A &= 0,2 \text{ м}; S_A = 0,000457317 \text{ м}; \\ M_B &= 0,025 \text{ м}; S_B = 0,00054878 \text{ м}; \\ M_C &= 0,06 \text{ м}; S_C = 0,000457317 \text{ м}; \\ M_D &= 0,0015 \text{ м}; S_D = 0,00006707 \text{ м}. \end{aligned}$$

За формулами (9) та (10) знаходимо математичне сподівання і стандарт функції лінійного коефіцієнта теплопередачі k .

$$M_k = 0,0895 \text{ Вт/м} \times \text{К}; S_k = 0,002945 \text{ Вт/м} \times \text{К}.$$

Значення математичного сподівання M_{t_3} і стандарту S_{t_3} функції температури зовнішнього повітря для найбільш холодної доби або п’ятиденки для м. Полтава та м. Кіровоград візьмемо із табл. 1 та 2.

Значення математичного сподівання і стандарту функції локальної температури на внутрішній поверхні стіни наведемо в табл. 3.

При відносній вологості повітря 60 % конденсація вологи на поверхні буде відбуватися при температурі $t_p = 12^\circ\text{C}$. Коефіцієнт безпеки β знайдемо за формулою

$$\beta = \frac{M_{t_3} - t_p}{S_{t_3}}. \quad (15)$$

Таблиця 3

Період	Місто	Математичне сподівання, °С	Стандарт, °С
Доба	Полтава	+12,813	0,7518
Доба	Кіровоград	+13,4332	0,7029
П'ять діб	Полтава	+13,354	0,7461
П'ять діб	Кіровоград	+13,9407	0,6977

Імовірність теплової відмови визначимо за формулою (4). Значення характеристик безпеки та числове значення імовірності події, при якій температура в

місці теплопровідного включення буде меншою за температуру точки роси (t_p), подано в табл. 4.

Таблиця 4

Період	Місто	β	Імовірність теплової відмови Q
Доба	Полтава	1,081	0,1399
Доба	Кіровоград	2,039	0,0207
П'ять діб	Полтава	1,815	0,0347
П'ять діб	Кіровоград	2,782	0,0027

Отримані результати дають змогу зробити висновок, що імовірність настання теплової відмови у вигляді конденсації вологи на стіні в місці встановлення сталевих профілів для стінової конструкції, поданої на рис. 2, у 7 разів більша для м. Полтава, ніж для м. Кіровоград, хоча згідно з ДБН [3] обидва міста розташовані в одному температурному районі. При використанні як розрахункової температури зовнішнього повітря значень температури найбільш холодної п'ятиденки імовірність настання теплової відмови менша в 4 рази для м. Полтава та в 7,6 разу для м. Кіровограда, ніж при використанні значень найбільш холодної доби.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному

напрямку. В даній роботі подана методика оцінки імовірності теплової відмови вузлів огорожувальних конструкцій за критерієм зниження локальних значень температур. Даний підхід може бути використаний не лише для оцінки теплової надійності огорожувальних конструкцій із сталевих холодноформованих профілів, але і для будь-яких інших огорожувальних конструкцій із теплопровідними включеннями. Дана методика може мати розвиток у напрямі подальшого встановлення факторів, що впливають на імовірність теплової відмови вузлів огорожувальних конструкцій та у встановленні функції визначення лінійного коефіцієнта теплопередачі для різних вузлів огорожувальних конструкцій.

Список використаних джерел

1. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель [Текст]. – К. : Мінбуд України, 2006. – 65 с.

2. ДБН В.2.6-31:2006 Теплова ізоляція будівель. Зміна №1 [Текст] // Інформаційний бюлетень МРУ. – 2013. – № 5. – С. 3–11.
3. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія [Текст]. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2011. – 123 с.
4. Пашинський, В.А. Методика оцінювання теплової надійності стін за критерієм тепловитрат [Текст] / В.А. Пашинський, О.А. Плотніков, А.М. Карюк // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2014. – Вип. 45. – С. 417-423.
5. Шульгін, В.В. Імовірнісне подання технічних характеристик теплоізоляційних матеріалів [Текст] / В.В. Шульгін, А.М. Карюк // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 4(39). – Т. 2. – С. 257-262.
6. Semko, V. Linear heat-transfer coefficient equation for a wall structure made of steel profiles / V. Semko, B. Gorb, A. Akamsin // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ГВУЗ ПГАСА, 2014. – Вып. 75. – С. 227-230.
7. Stankevičius, V. The Effect of Stochastically Dependent Physical Parameters on the Materials' Thermal Receptivity Coefficient / Vytautas Stankevičius, Liutauras Kairys // Materials science (Medžiagotyra). – Vol. 11. – No. 2. – 2005. – P.188-192.
8. Uncertainty in the Thermal Conductivity of Insulation Materials / F. Domínguez-Muñoz, V. Anderson, J.M. Cejudo-López, A. Carrillo-Andrés // Eleventh International IBPSA Conference, July 27-30, 2009. - Glasgow, Scotland. – 2009. – P. 1008-1013.
9. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель [Текст]. – К.: Укрархбудінформ, 2013. – 54 с.
10. Фаренюк, Г.Г. Методологічні аспекти забезпечення енергоефективності та теплової надійності будинків [Текст] / Г.Г. Фаренюк // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ГВУЗ ПГАСА, 2009. – Вып. 50. – С. 593-597.
11. Пашинський, В.А. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель [Текст] / В.А. Пашинський, Н.В. Пушкар, А.М. Карюк. – Одеса: ОДАБА, 2012. – 180 с.
12. ДСТУ EN 10143:2014. Лист і штаба сталеві з покритвом, нанесеним методом безперервного гарячого занурювання. Допуски на розміри та форму (EN 10143:2006, IDT) [Текст]. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – 13 с.
13. EN 10162:2003. Cold rolled steel sections. Technical delivery conditions. Dimensional and cross-sectional tolerances. – Brussels : CEN, 2003. – 21 p.
14. ДСТУ В.2.7-95-2000. Будівельні матеріали. Листи гіпсокартонні. Технічні умови. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2000. – 16 с.
15. Пичугин, С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий [Текст]: монография / С.Ф. Пичугин. – М.: Ассоциации строительных вузов, 2011. – 456 с.

Пичугин Сергій Федорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри конструкцій із металу, дерева та пластмас Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Тел.: (050) 5917728.

Семко Володимир Олександрович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, докторант кафедри конструкцій із металу, дерева та пластмас Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Тел.: (050) 3043051.

Pitchugin Serhij, doctor of technical sciences, professor, chair of department of structures from metal, wood and plastics Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Tel.: (050) 5917728.

Semko Volodymyr, candidate of technical sciences, doctoral student of department of structures from metal, wood and plastics Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Tel.: (050) 3043051.

Прийнята 15.03.2016 р.

УДК 656.11

ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ДОВЖИНИ ЧЕРГИ ПЕРЕД ПЕРЕХРЕСТЯМ

Канд. техн. наук Я.В. Санько

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДЕЛИ ДЛИНЫ ОЧЕРЕДИ ПЕРЕД ПЕРЕКРЕСТКОМ

Канд. техн. наук Я.В. Санько

DEFINITION MODEL QUEUE LENGTH BEFORE THE CROSSROADS

Ph. D. Ia. Sanko

Проведено аналіз причинно-наслідкових факторів утворення черг перед перехрестями. Результатом досліджень є запропонована математична модель визначення довжини черги перед перехрестям, яка залежить від інтенсивності руху транспортних засобів на підходах до перехресть, кількості смуг руху, часу горіння червоного сигналу світлофора та співвідношення часу горіння зеленого сигналу до часу циклу.

Ключові слова: затримка руху, черга, регульоване перехрестя, інтенсивність руху, світлофорна сигналізація, цикл регулювання.

Проведен анализ причинно-следственных факторов образования очередей перед перекрестками. Результатом исследований является предложенная математическая модель определения длины очереди перед перекрестком, которая зависит от интенсивности движения транспортных средств на подходах к перекресткам, количества полос движения, времени горения красного сигнала светофора и соотношения времени горения зеленого сигнала к времени цикла.

Ключевые слова: задержка движения, очередь, регулируемый перекресток, интенсивность движения, светофорная сигнализация, цикл регулирования.

The analysis of the causal factors of the formation of queues before intersections. During experimental studies was defined parameters of traffic and traffic lights signaling modes of traffic at intersections and long queues of vehicles before the intersection. The result of research is the mathematical model to determine the length of the queue intersection, depending on the traffic of vehicles on the approaches to intersections, the number of lanes, time burning red light and the ratio of time burning green signal to the cycle time. The regularities queue length depending on the selected options.

Keywords: delay traffic, turn, controlled intersections, traffic, traffic light signaling cycle regulation.

Вступ. Основним завданням організації дорожнього руху є фізичне, психологічне та візуальне відокремлення пішохідних потоків від транспортних. При формуванні шляхів сполучення необхідно прагнути до послідовного розподілу транспортних та пішохідних потоків. Ця мета обумовлена необхідністю забезпечити безпеку пішоходів та належний

екологічний стан навколишнього середовища, що особливо є важливим для місць перетинання потоків, що відрізняються надмірною концентрацією транспортних засобів та пішоходів [1-3].

Цієї вимоги необхідно дотримуватися в будь-якому варіанті перетинання транспортних та пішохідних потоків, але на регульованих та нерегульованих

перехрестях вона потребує особливої уваги, враховуючи високу щільність конфліктуючих потоків та особливий характер пішохідного руху.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Розділення транспортних та пішохідних потоків у часі досягається світлофорним регулюванням, що надає частину часу для транспортного, а другу частину – для перетинаючого пішохідного потоку [4-6].

Залежно від можливостей розділення пішохідного і транспортного руху та існуючих між ними зв'язків застосовуються такі види організації руху [6]:

а) повне відокремлення пішохідного руху від інших видів руху в часі та просторі;

б) пішохідний рух допускає наявність транспортних засобів на загальній з пішоходами площі;

в) пішохідний рух дозволяє використовувати транспортні засоби на загальній з пішоходами площі, але з обмеженнями у визначений час;

г) пішохідний рух допускає застосування масового транспорту загального користування загальноміського чи міського значення на окремо виділеній території;

д) пішохідний рух передбачає використання додаткових транспортних засобів на загальній з пішоходами чи окремій площі;

е) організація пішохідного руху в різних способах з іншими учасниками руху.

Але будь-яка схема розподілення транспортних та пішохідних потоків

передбачає існування затримок у русі як транспорту, так і пішоходів. Мінімізація цих затримок є пріоритетним напрямком удосконалення організації дорожнього руху. Саме затримки транспортних засобів перед перехрестями є вагомими складовими економічних, соціальних та екологічних втрат суспільства. Тому вирішення питання скорочення затримок шляхом зменшення черг перед перехрестями є актуальним на сьогоднішній день.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Безпека руху і пропускна спроможність перехресть залежать від чіткості організації на них руху. Оптимальним є планувальне рішення, що забезпечує для кожного напрямку руху окрему проїжджу частину, ширина якої визначається інтенсивністю руху [7-9].

З огляду на це розділення транспортних потоків є головною умовою забезпечення безпеки дорожнього руху. У роботі [7] виділено такі способи розділення транспортних потоків:

- 1) у просторі;
- 2) у часі.

Розділення руху в просторі є основним методом створення сприятливих і безпечних умов руху транспортних засобів. Цей метод організації дорожнього руху має на увазі розділення транспортних, а також пішохідних потоків за напрямками по найбільш сприятливій і безпечній траєкторії.

Основні заходи реалізації розділення руху в просторі можна розділити на три групи (рис. 1) [10].

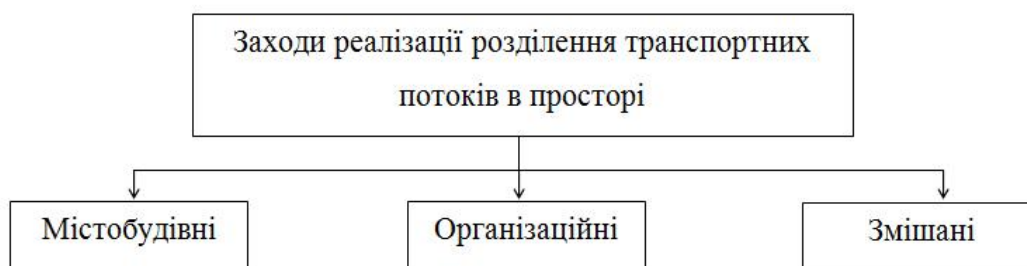


Рис. 1. Заходи реалізації розділення транспортних потоків в просторі

До містобудівних заходів розділення руху належать повне розділення руху потоків за допомогою розв'язок, розділення зустрічних смуг, облаштування велосипедних доріжок і пішохідних переходів у різні рівні [1, 5, 8].

До організаційних заходів розділення руху належить маршрутне орієнтування, що дає змогу розділити рух різних типів транспортних засобів по різних дорогах [4].

До змішаних заходів розділення руху належать каналізування руху і організація одностороннього руху [1, 4-9].

Але наслідком будь-якої схеми організації дорожнього руху є виникнення затримок у місцях розділення потоків. Основною метою заходів щодо зменшення величини затримок є зменшення довжини черг перед перехрестями.

Відомо, що для математичного прогнозування характеристик черг необхідно мати такі параметри системи [1, 4, 7, 11-12]:

1) характеристики типу прибуття, включаючи середню інтенсивність прибуття і статистичний розподіл часу між моментами прибуття;

2) характеристики обслуговування, у тому числі середні значення темпу обслуговування та розподіл і кількість користувачів, які можуть бути обслужені

одночасно, або число доступних каналів обслуговування;

3) параметри дисципліни обслуговування, подібні способом вибору чергового користувача, що підлягає обслуговуванню.

З діаграми виникнення черг перед регульованим перехрестям (рис. 2), видно, що верхня (суцільна) сторона представляє функцію прибуття, а дві інші (штрихові) – функцію обслуговування (відправлення). Кожен трикутник на рис. 2, що зображує один цикл, дає змогу визначити тривалості існування черги – з моменту початку періоду червоного сигналу до моменту її повного розсіювання [1, 4, 13]. Ця величина варіюється між часом ефективного червоного і тривалістю циклу:

$$v \cdot t_Q = S \cdot (t_Q - r), \quad (1)$$

або

$$t_Q = \frac{S \cdot r}{S - v}, \quad (2)$$

де t_Q – тривалість існування черги, с;

v – середня інтенсивність прибуття, авто/год;

S – середній темп обслуговування, авто/год;

r – час ефективного червоного сигналу, с.

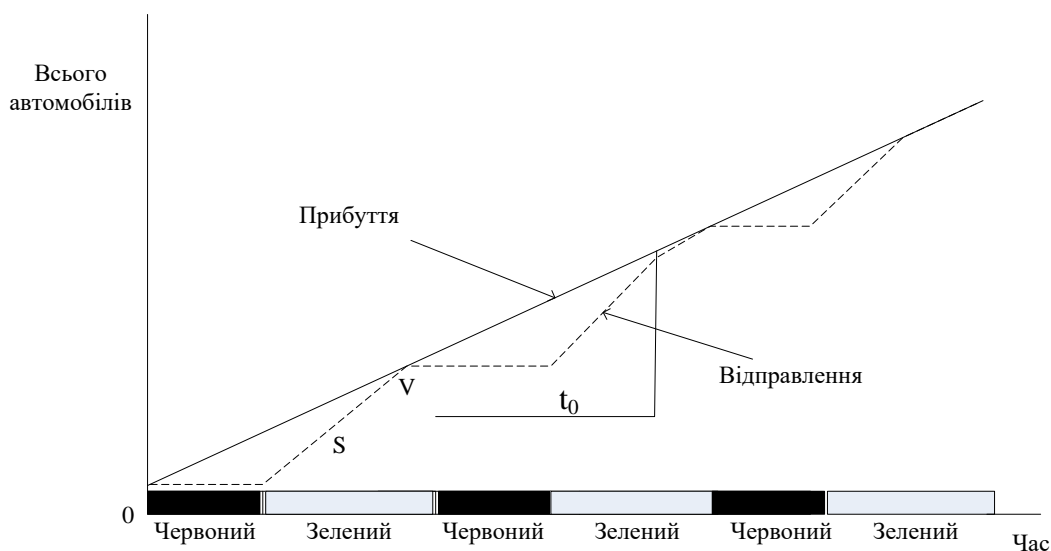


Рис. 2. Діаграма виникнення черг перед регульованим перехрестям [13]

Також довжину черги можна оцінити для цілей планування, прийнявши значення щільності в накопичувачі (середньої щільності автомобілів у черзі) і потім використовуючи таке співвідношення [13]:

$$QL = \frac{T \cdot (v - c)}{N \cdot d_s}, \quad (3)$$

де QL – довжина черги, км;

T – тривалість періоду аналізу, год.;

v – запит на трафік, авто/год;

c – пропускна здатність, авто/год;

N – кількість смуг;

d_s – щільність у накопичувачі, авто/км/смугу.

Аналіз літературних джерел надав можливість виявити, що серед існуючих методів визначення черг перед регульованим перехрестям більшість визначає характеристики за усередненими залежностями при рівномірному розподілі інтенсивності транспортного потоку в часі. Характер руху транспортних засобів по транспортній мережі свідчить про зворотне. Нерівномірний вибір режимів руху окремих транспортних засобів у потоці, наявність різнопланових характеристик мережі та застарілі засоби організації світлофорного регулювання лише підтверджують думку про стохастичний розподіл черг перед перехрестями. Тому необхідним є проведення досліджень з виявлення характеристик транспортного

потоку та параметрів світлофорної сигналізації на утворення черг перед перехрестями.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даної статті є визначення закономірностей утворення черг перед перехрестями.

Для досягнення цієї мети були вирішені такі завдання:

- проведення натурних досліджень щодо визначення розподілу характеристик транспортного потоку та параметрів світлофорної сигналізації в місцях утворення черг;

- розроблення математичної моделі визначення довжини черги.

Визначення розподілу характеристик транспортного потоку та параметрів світлофорної сигналізації в місцях утворення черг. Для проведення натурних досліджень було обрано декілька перехресть у м. Харків, які відображають усю гаму перетинань, а саме: кількості смуг руху на головній та другорядній дорозі; кількості фаз регулювання; параметрів світлофорної сигналізації; характеристик інтенсивності транспортних потоків; довжин черг перед перехрестями.

У межах експериментальних досліджень на обраних перехрестях було зібрано такі дані (табл. 1): інтенсивність руху транспортних засобів на підходах до перехресть; тривалості тактів та часу циклу; кількість транспортних засобів, що перебувають у черзі.

Таблиця 1

Результати натурних досліджень

Номер досліджу	Інтенсивність руху, авто/год	Кількість смуг руху	Тривалість часу, с				Кількість транспортних засобів, що перебувають у черзі в момент часу t				
			Циклу	Зеленого сигналу	Червоного сигналу	Суми проміжних тактів	20	40	60	80	100
1	1230	2	58	20	30	8	6	3	5	6	7
2	2260	3	53	25	16	12	3	2	3	3	4
3	1350	2	49	15	28	6	8	4	6	7	9
.....
50	3146	3	63	36	18	9	6	3	3	8	3

Сформований масив даних дає змогу отримати додаткові параметри утворення черг шляхом розрахунку таких відношень (табл. 2): інтенсивність руху транспортних засобів, що припадає на одну смугу руху; інтенсивність руху транспортних засобів,

що припадає на одну секунду руху; кількість циклів регулювання у годині; співвідношення часу горіння зеленого сигналу до часу циклу; середня довжина черги (виражена у кількості транспортних засобів).

Таблиця 2

Результати натурних досліджень

Номер досліджу	Інтенсивність руху, що припадає на 1 смугу руху, авто/год	Інтенсивність руху, що припадає на 1 секунду руху, авто/год	Кількість циклів регулювання у годині	Співвідношення часу горіння зеленого сигналу до часу циклу	Середня довжина черги, авто	
					розрахункова	експериментальна
1	615	0,171	62	0,345	5	5
2	753	0,209	67	0,472	3	3
3	675	0,188	73	0,306	5	7
.....
50	1049	0,291	57	0,571	5	5

Для виявлення характеру та напрямку дії основних факторів на довжину черги було побудовано відповідні розподіли залежної змінної. Так, на рис. 3-4 наведено розподіл довжини черги залежно від інтенсивності руху, де видно, що чіткої залежності між експериментальними

даними довжини черги та інтенсивності руху не прослідковується. Натомість отриманий розподіл довжини черги залежно від інтенсивності руху, що припадає на 1 смугу руху, показує на чітку залежність (рис. 5).

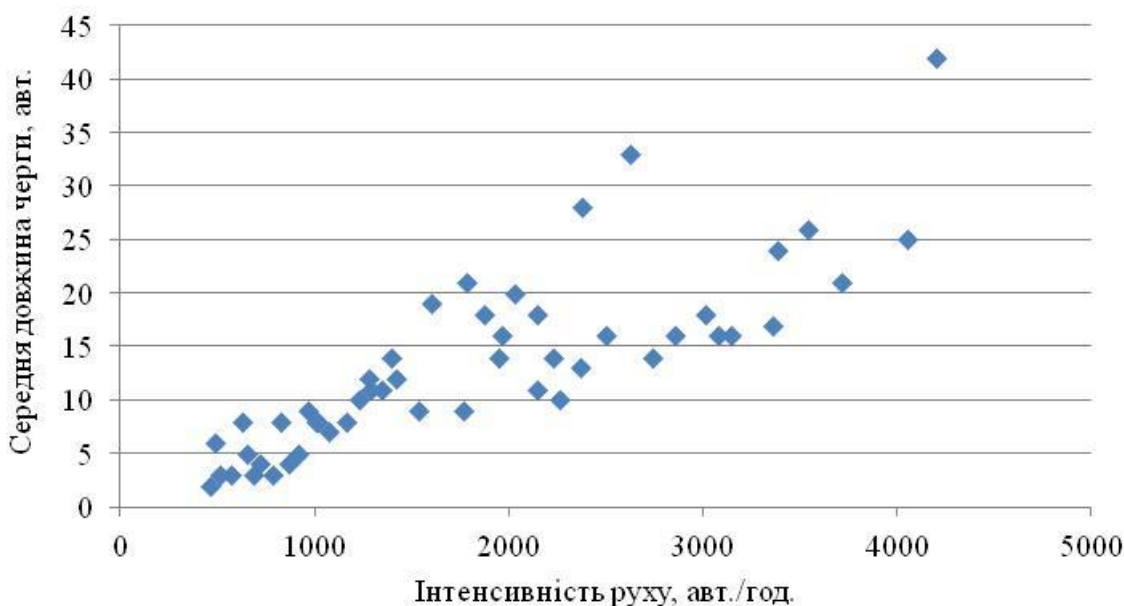


Рис. 3. Розподіл середньої довжини черги залежно від інтенсивності руху

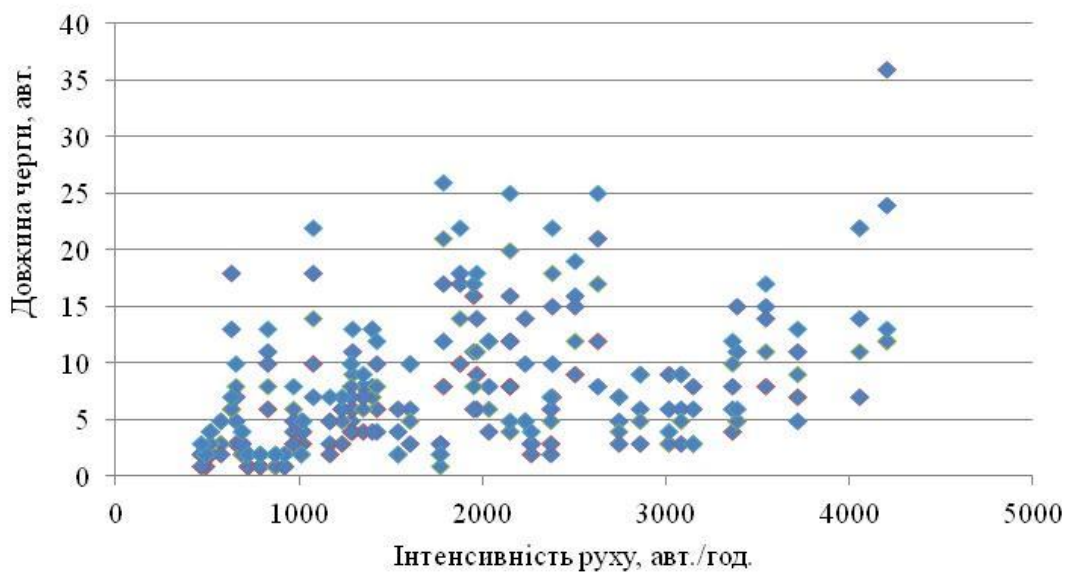


Рис. 4. Розподіл довжини черги (експериментальні дані) залежно від інтенсивності руху

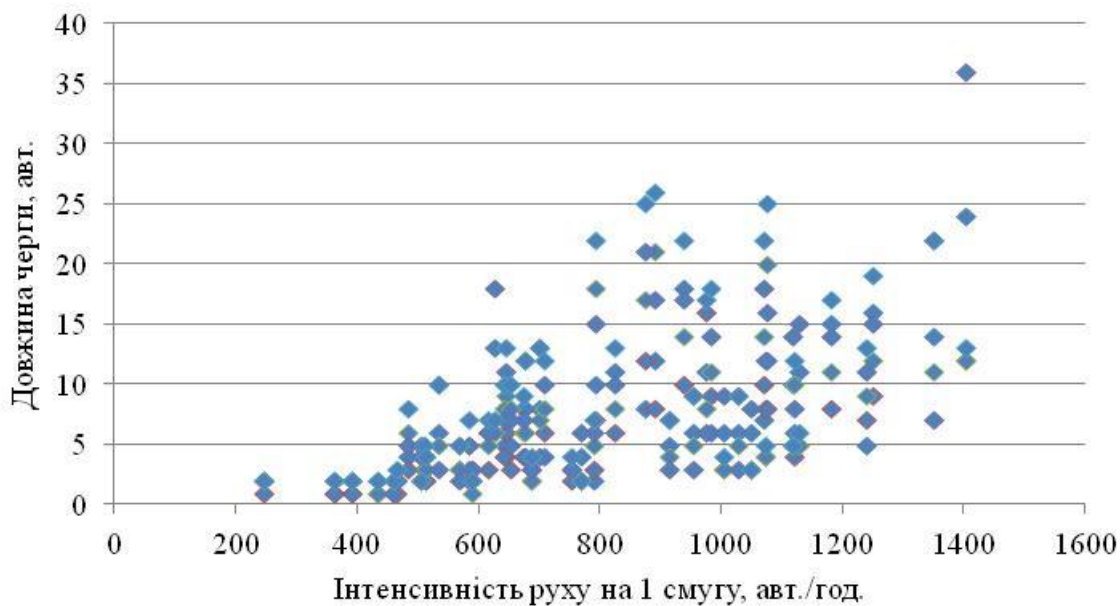


Рис. 5. Розподіл довжини черги залежно від інтенсивності руху, що припадає на 1 смугу руху

Отримані розподіли (рис. 3-5) характеризують утворення черг, тобто їх накопичення. З іншого боку, оцінити пропускну спроможність підходу можливо

розглянувши розподіл довжини черги залежно від співвідношення часу горіння зеленого сигналу до часу циклу (рис. 6).

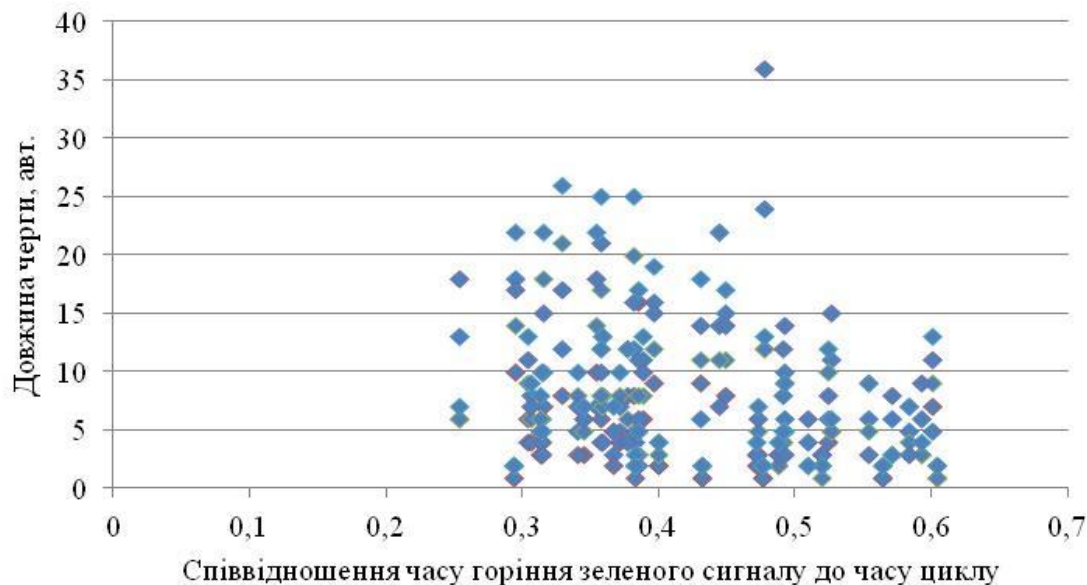


Рис. 6. Розподіл довжини черги залежно від співвідношення часу горіння зеленого сигналу до часу циклу

Як бачимо, існує коридор варіювання довжини черги залежно від співвідношення часу горіння зеленого сигналу до часу циклу, але загальна тенденція веде до зменшення черги. Це пояснюється більшим часом на пропускання транспортних засобів протягом часу циклу.

Отже, наведені розподіли довжини черги залежно від досліджених факторів необхідно перевірити за допомогою статистичного аналізу на вагомість їх впливу.

Математична модель визначення довжини черги. Для визначення виду функції від перелічених факторів було використано експериментальні дані та

програмний продукт Statistica. Для визначення залежності між факторами та функцією було обрано лінійний вид, що має такий вигляд:

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n, \quad (4)$$

де a_0, a_1, a_2, a_n – коефіцієнти моделі;

x_1, x_2, x_n – змінні фактори.

Використовуючи дані табл. 1-2 та програмний продукт Statistica 6.0, було отримано коефіцієнти моделі й побудовано лінійну математичну модель довжини черги:

$$Ql_{черг} = 6,1810 + 0,0061 \cdot N - 5,2706 \cdot n + 0,2124 \cdot t_q - 10,5381 \cdot \frac{t_3}{T_u}, \quad (5)$$

де $Ql_{черг}$ – довжини черги, авто;

N – інтенсивність руху транспортних засобів на підходах до перехресть, авто/год;

n – кількість смуг руху;

T_u, t_q, t_3 – час циклу, час горіння червоного та зеленого сигналів світлофора відповідно, с.

Під час обробки результатів у програмі Statistica були отримані коефіцієнти значимості факторів моделі (табл. 3), де видно, що всі змінні є значимими, що відповідає проведеним дослідженням.

Таблиця 3

Коефіцієнти значимості факторів математичної моделі (5)

Фактор	Значення коефіцієнта
Інтенсивність руху транспортних засобів на підходах до перехресть, N , авто/год	1,281577
Кількість смуг руху, n	-0,759006
Час горіння червоного сигналу світлофора, t_3 , с	0,375638
Співвідношення часу горіння зеленого сигналу до часу циклу, $\frac{t_3}{T_ц}$	-0,305427

Для перевірки отриманої моделі на адекватність як критерій було обрано показник середньої помилки апроксимації:

$$\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i^m - y_i^{\phi}}{y_i^{\phi}} \right| \cdot 100\%, \quad (6)$$

де N – кількість спостережень, од.;

y_i^m, y_i^{ϕ} – відповідно розраховане за моделлю та фактичне значення залежної змінної.

Виконавши попередні підрахунки відхилень фактичних даних від експериментальних, розрахований показник середньої помилки апроксимації склав:

$$\varepsilon = \frac{1}{250} \cdot 10,11 \cdot 100\% = 4,04\%.$$

Отримане значення середньої помилки апроксимації 4,04 % свідчить про адекватність розробленої моделі визначення довжини черги й дає змогу використовувати її в практичних розрахунках.

Додатковим підтвердженням є адекватні значення інших оціночних показників, отриманих у програмі Statistica. А саме критерій Фішера та множинний коефіцієнт кореляції, значення яких наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Оцінка адекватності моделі (5)

Критерій адекватності	Значення критерію
Показник середньої помилки апроксимації, ε	4,04%
Критерій Фішера, F	
– розрахунковий	34,915
– табличний	2,65
Множинний коефіцієнт кореляції, R^2	0,8696

Таким чином, отримана математична модель визначення довжини черги (5) є адекватною до умов руху на вулично-дорожній мережі й може застосовуватися для практичних розрахунків при розробленні заходів з удосконалення організації дорожнього руху.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. В результаті експериментальних досліджень на вулично-дорожній мережі м. Харків було визначено такі дані: інтенсивність руху транспортних засобів на підходах до перехресть;

тривалості тактів та часу циклу; кількість транспортних засобів, що перебувають у черзі. Аналіз цих даних надав змогу сформуванню уявлення про розподіл довжини черги перед перехрестям залежно від досліджених факторів.

Таким чином, було отримано математичну модель визначення довжини черги перед перехрестям, яка залежить від інтенсивності руху транспортних засобів на підходах до перехресть, кількості смуг руху, часу горіння червоного сигналу світлофора та співвідношення часу горіння зеленого сигналу до часу циклу. Так, видно, що інтенсивність руху транспортних засобів на підходах до перехресть та час горіння червоного сигналу світлофора збільшують довжину черги, а кількість

смуг руху та співвідношення часу горіння зеленого сигналу до часу циклу, навпаки, зменшують її значення.

При перевірці на адекватність було отримано значення середньої помилки апроксимації $\varepsilon = 4,04\%$, що свідчить про адекватність розробленої моделі довжини черги й дає можливість використовувати її в практичних розрахунках. Додатково було отримано значення множинного коефіцієнта кореляції $R^2 = 0,8696$ та розрахункове значення критерію Фішера $F_{розр} = 34,915$, яке менше табличного $F_{табл}(p = 0,05) = 2,65$, що свідчить про значимість отриманої регресії.

Список використаних джерел

1. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху [Текст] / Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля [та ін.]; за ред. М.Ф. Дмитриченка. – К.: Знання України, 2007. – 452 с.
2. Dewar R. Human Factors in Traffic Safety, 2nd edition / R. Dewar, P. Olsen. – Lawyers and Judges Publishing Company, Inc., 2007. – 549 p.
3. Shinar D. Traffic Safety and Human Behavior / D. Shinar. – Elsevier, 2007. – 776 p.
4. Поліщук, В.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху [Текст] / В.П. Поліщук, О.П. Дзюба. – К.: Знання України, 2008. – 175 с.
5. Leutzbach W. Introduction to the theory of traffic flow / W. Leutzbach. – Berlin: Springer-Verlag, 1988. – 204 p.
6. Markowski M.J. Modeling behavior in vehicular and pedestrian traffic flow / M.J. Markowski. – New York: Umi, 2008. – 162 p.
7. Пугачев, И.Н. Организация и безопасность движения [Текст] / И.Н. Пугачёв. – Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2004. – 232 с.
8. Яркин, Е.К. Планировочная организация движения транспорта в городах [Текст] / Е.К. Яркин, Е.В. Харченко. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2000. – 365 с.
9. Пальчик, А.М. Транспортні потоки [Текст] / А. М. Пальчик. – К.: НТУ, 2010 – 171 с.
10. Глик, Ф. Г. Обследование транспортных потоков и прогнозирование нагрузки сети городских улиц и дорог [Текст] / Ф.Г. Глик // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов. – Екатеринбург, 1998. – 105 с.
11. Sacks G. Impact of front-of-pack ‘traffic-light’ nutrition labelling on consumer food purchases in the UK / G. Sacks, M. Rayner, B. Swinburn // Health promotion international. – 2009. – Vol. 24, Issue 4. – P. 344–352.
12. Tubaishat M. Adaptive traffic light control with wireless sensor networks / M. Tubaishat, Y. Shang, H. Shi // Proceedings of IEEE Consumer Communications and Networking Conference, 2007. – P. 187-191.

13. Branston D. Some factors affecting the capacity of signalized intersection / D. Branston // Traffic Engineering and Control, 1979. – P. 390-396.

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

Санько Ярослав Володимирович, канд. техн. наук, докторант кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (057) 707-32-61. E-mail: yron08@rambler.ru.

Sanko Iaroslav Vladimirovich, Ph. D., doctoral student department of transport systems and logistics O. M. Beketov National University of Urban Economy. Tel.: (057) 707-32-61. E- mail: yron08@rambler.ru.

Принята 22.03.2016 р.

УДК 656.025.2

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КОЕФІЦІЄНТА ДИНАМІЧНОГО ЗАПОВНЕННЯ САЛОНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У МІСТІ НА ПОКАЗНИКИ КІЛЬКОСТІ ПАСАЖИРОМІСЦЬ

Канд. техн. наук І.Є. Іванов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧЕСКОГО ЗАПОЛНЕНИЯ САЛОНОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ГОРОДЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ КОЛИЧЕСТВА ПАССАЖИРОМЕСТ

Канд. техн. наук И.Е. Иванов

DETERMINATION OF INFLUENCE FACTOR DYNAMICALLY POPULATE COMPARTMENT OF A VEHICLE IN THE CITY ON INDICATOR OF THE NUMBER OF PASSENGERS PLACES

Ph. D.I. Ivanov

Розроблено модель визначення раціонального коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті. Визначено зміни загальної кількості пасажиромісць для різних місткостей транспортних засобів та їх відсоткове співвідношення, а також отримано закономірності зміни кількості пасажиромісць (для різних номінальних місткостей) залежно від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті.

Ключові слова: коефіцієнт динамічного заповнення салону транспортного засобу, транспортна робота, рухливість, номінальна місткість.

Разработана модель определения рационального коэффициента динамического заполнения салонов транспортных средств в городе. Определены изменения общего количества пассажиромест для разных вместительностей транспортных средств и их процентное соотношение, а также получены закономерности изменения количества пассажиромест (для разных номинальных вместительностей) в зависимости от коэффициента динамического заполнения салонов транспортных средств в городе.

Ключевые слова: коэффициент динамического заполнения салона транспортного средства, транспортная работа, подвижность, номинальная вместимость.

Problem sustainable distribution of traffic between modes of passenger transport is not possible, by selecting each passenger's own way of moving. It was therefore the model definition of rational dynamic coefficient of filling the salons of vehicles in the city, taking into account the change in the parameters and performance of the passenger transportation systems. It revealed changes in the total number of passenger seats for different capacity vehicles and their percentage. The result of the simulation was to obtain patterns of change in the number of passenger seats (for various nominal capacity) depending on the filling factor of the dynamic interior of vehicles in the city. Developed regression models determine the number of passenger seats (for various nominal capacity) with a satisfactory level of adequacy.

Keywords: coefficient of dynamic filling the salon of vehicle, transportation work, mobility, nominal capacity.

Вступ. Актуальність визначення обсягів транспортної роботи міського пасажирського транспорту в містах має наукову і практичну обумовленість. Перерозподіл транспортної роботи з особистого транспорту на громадський має позитивний вплив на екологічні, соціальні і економічні показники життєдіяльності міст.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Динамічність процесів, що відбуваються в розвитку суспільства, безпосередньо впливає на характеристики транспортних систем. Доведено, що в країнах з низьким рівнем автомобілізації значну частину

транспортної рухливості складають переміщення на міському пасажирському транспорті (МПТ) [1-2]. Натомість високий рівень автомобілізації (понад 250 автомобілів на 1000 мешканців) призводить до повсякденного використання особистого транспорту при міських переміщеннях [3-4]. Саме визначення розподілу транспортної роботи між видами МПТ є актуальною проблемою організації роботи міських пасажирських транспортних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема сталого розподілу транспортної роботи між видами МПТ неможлива через вибір кожним пасажиром власного способу переміщення (рис. 1) [1-5].

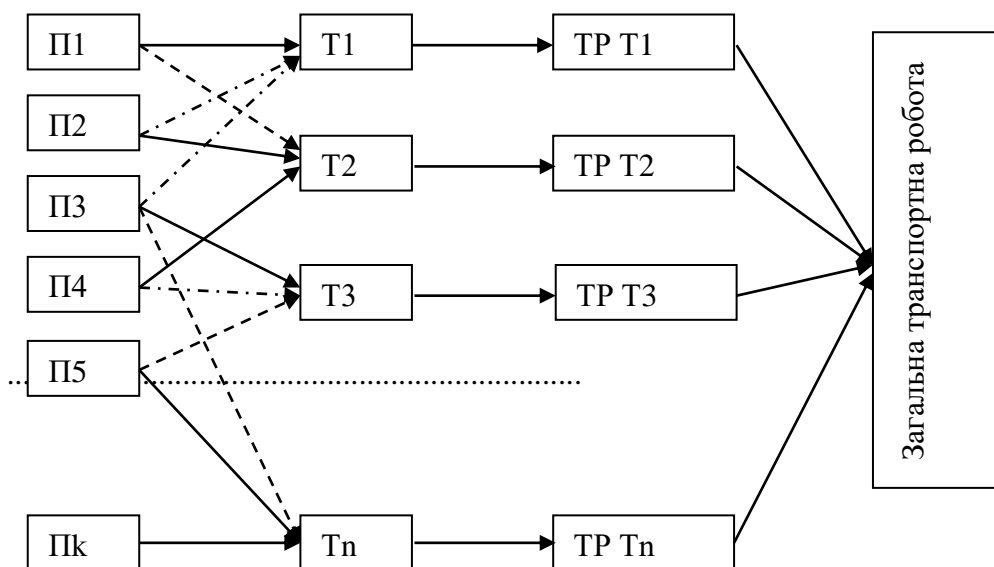


Рис. 1. Принципова схема визначення загальної транспортної роботи:

П – пасажир; Т – вид пасажирського транспорту; ТР – транспортна робота;

-----> – альтернативи вибору виду пасажирського транспорту
 ———> —————

В результаті постійного вибору певною сукупністю пасажирів способу переміщення утворюються кореспонденції, які дозволяють визначити потенціальну транспортну роботу [1, 5-7]

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

де H_j – кореспонденції на j -й ділянці транспортної мережі, пас.

Отже, наведений підхід дозволяє визначити транспортну роботу як для МПТ загального користування, так й індивідуального, використовуючи потенційні кореспонденції. Але, якщо поглянути на структуру переміщень, то очевидним є те, що вибір пасажирями способу переміщення постійно змінюється. Тому, в результаті аналізу, було визначено основні параметри, що формують структуру способів переміщень, й відповідно розподіл транспортної роботи (рис. 2) [1-12].

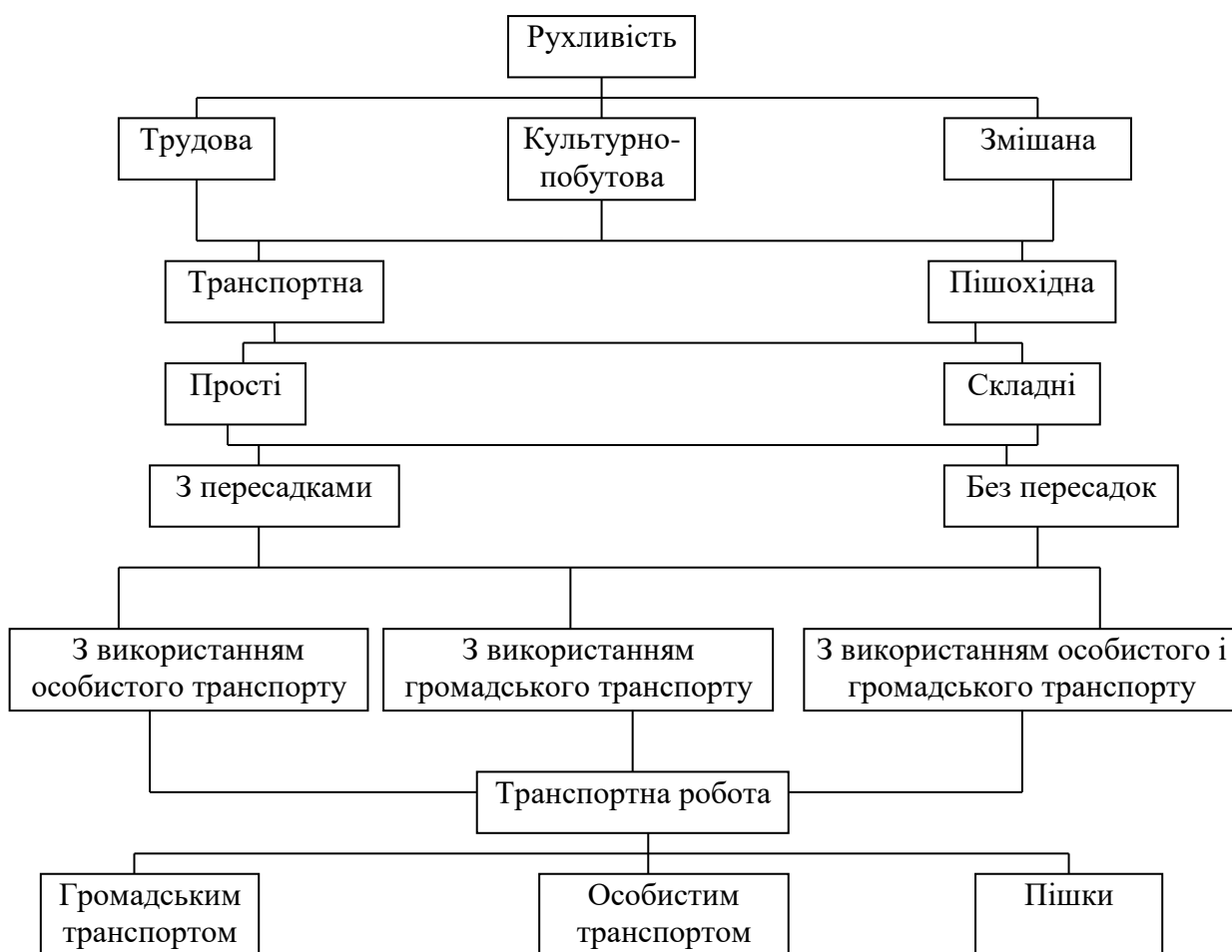


Рис. 2. Параметри, що формують структуру розподілу транспортної роботи

Визначення мети та задачі дослідження. Метою даної статті є визначення закономірностей зміни кількості пасажиромісць залежно від коефіцієнта

динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті.

Для досягнення цієї мети були вирішені такі завдання:

– розробка моделі визначення раціонального коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті;

– моделювання змін кількості пасажиромісць залежно від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті.

Основна частина дослідження.

Коефіцієнт динамічного заповнення салонів транспортних засобів може бути визначений як відношення дійсної транспортної роботи (W_o) до можливої (W_e)

$$\gamma_o = \frac{W_o}{W_e}. \quad (2)$$

Відомо, що дійсну транспортну роботу в місті можна обчислити за залежністю

$$W_o = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n H_{ij} \cdot l_{ij}, \quad (3)$$

де n – кількість транспортних районів, од.;

H_{ij} – кореспонденція з району i у район j , пас.;

i, j – номер району відправлення й прибуття відповідно,

або

$$W_o = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \frac{k'' \cdot H_{Bi} \cdot H_{Pj} \cdot l_{ij}}{l_{ij}^\mu}, \quad (4)$$

де H_{Bi} – кількість відправлень з i -го району або ємність району i за відправленнями, пас.;

H_{Pj} – кількість прибуттів у j -й район або ємність району j по прибуттях, пас.;

l_{ij} – відстань між районом i та j , км;

k'' – калібрувальний коефіцієнт.

Виходячи з можливостей транспортної роботи (W_{eX}) на X -му маршруті її можна визначити за формулою

$$W_{eX} = A_X \cdot V_{eX} \cdot q_X \cdot T_X, \quad (5)$$

де A_X – кількість транспортних засобів на X -му маршруті, од.;

V_{eX} – експлуатаційна швидкість на X -му маршруті, км/год;

q_X – пасажиромісткість транспортного засобу на X -му маршруті, пас.;

T_X – тривалість розрахункового періоду, год.

Тоді по місту можлива транспортна робота (W_e^M) визначається як сума можливої транспортної роботи на всіх маршрутах

$$W_e^M = \sum_{X=1}^R A_X \cdot V_{eX} \cdot q_X \cdot T_X, \quad (6)$$

де R – кількість маршрутів, од.

Спираючись на визначення можливої та дійсної транспортної роботи міста, можна обчислити середній коефіцієнт динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті

$$\gamma_{сеп}^M = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (k'' \cdot H_{Bi} \cdot H_{Pj} \cdot l_{ij}) / l_{ij}^\mu}{\sum_{X=1}^R A_X \cdot V_{eX} \cdot q_X \cdot T_X}. \quad (7)$$

В результаті моделювання зміни загальної кількості пасажиромісць залежно від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті було встановлено поступове зменшення її значень при незмінній структурі парку транспортних засобів (рис. 3).

Для відображення змін у структурі парку транспортних засобів залежно від місткості було визначено відсоткове співвідношення від загальної кількості

пасажиромісць (рис. 4), де видно, що при зміні коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті

істотних змін в структурі парку транспортних засобів не відбувається.

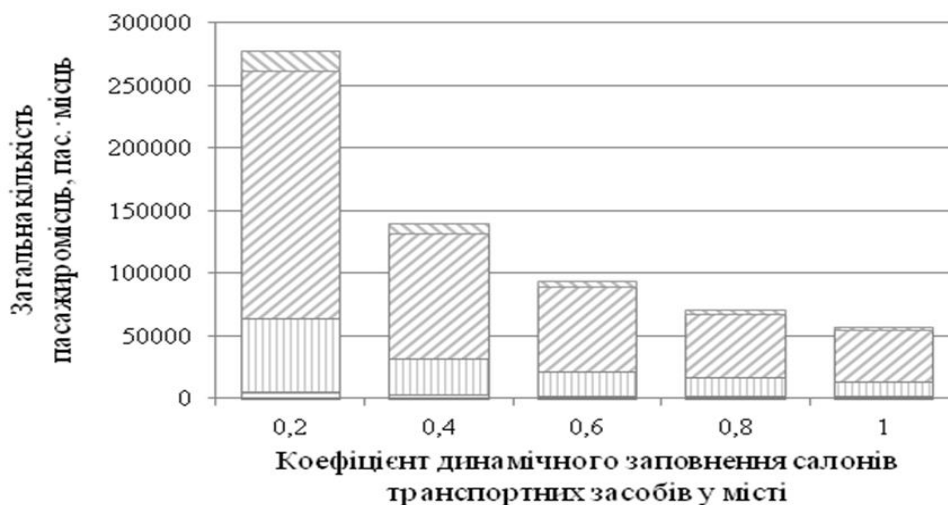


Рис. 3. Динаміка зміни загальної кількості пасажиромісць для різних місткостей транспортних засобів залежно від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті:

■ – $q_n = 19$ пас.; ▨ – $q_n = 45$ пас.; ▩ – $q_n = 70$ пас.;
 ▤ – $q_n = 110$ пас.; ▥ – $q_n = 180$ пас.

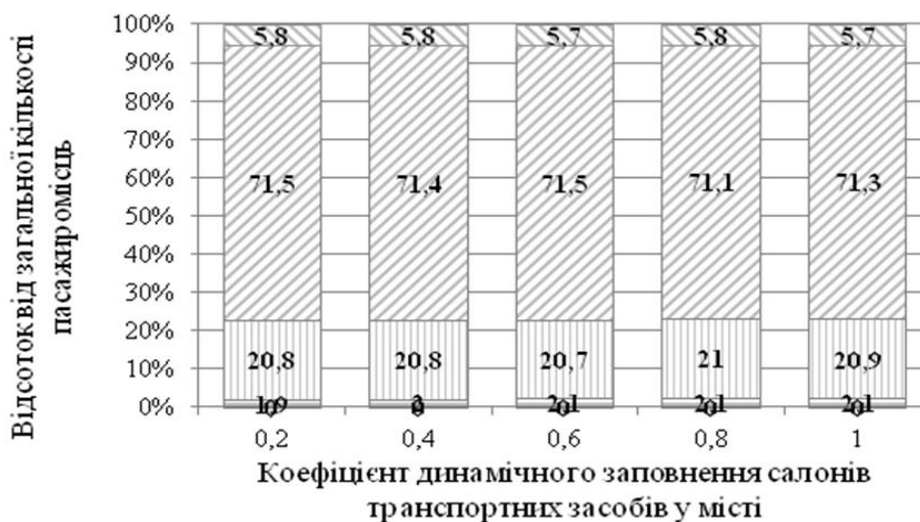


Рис. 4. Розподіл загальної кількості пасажиромісць для різних місткостей транспортних засобів залежно від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті:

■ – $q_n = 19$ пас.; ▨ – $q_n = 45$ пас.; ▩ – $q_n = 70$ пас.;
 ▤ – $q_n = 110$ пас.; ▥ – $q_n = 180$ пас.

Для визначення закономірностей зміни кількості пасажиромісць залежно від коефіцієнта динамічного заповнення

салонів транспортних засобів у місті було побудовано графіки цих залежностей (рис. 5-9).



Рис. 5. Графік зміни загальної кількості пасажиромісць залежно від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті

Так, залежність зміни загальної кількості пасажиромісць залежно від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті описується степеневою моделлю та має

коефіцієнт кореляції $R = -0,902$.
Математичний вигляд моделі

$$\omega = 57170 \cdot (\gamma_{cep}^M)^{-0,981} \quad (8)$$

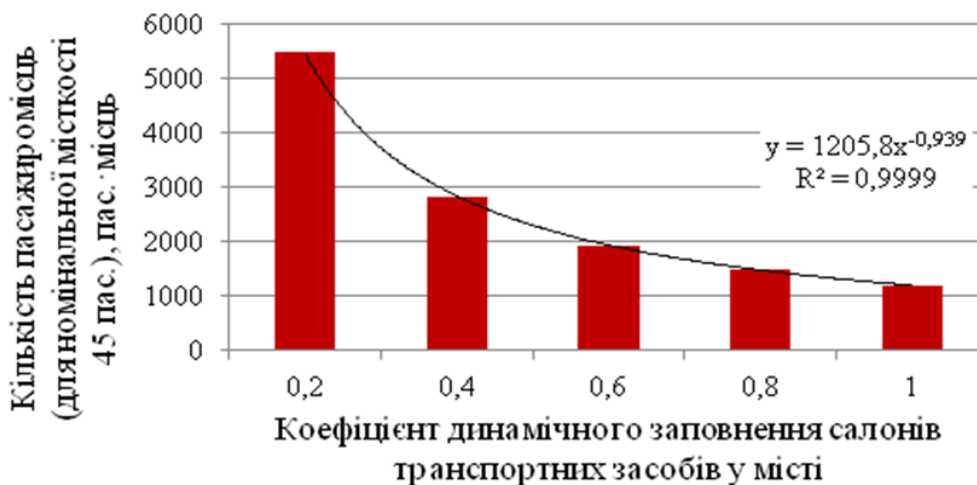


Рис. 6. Графік зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 45 пас.) залежно від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті

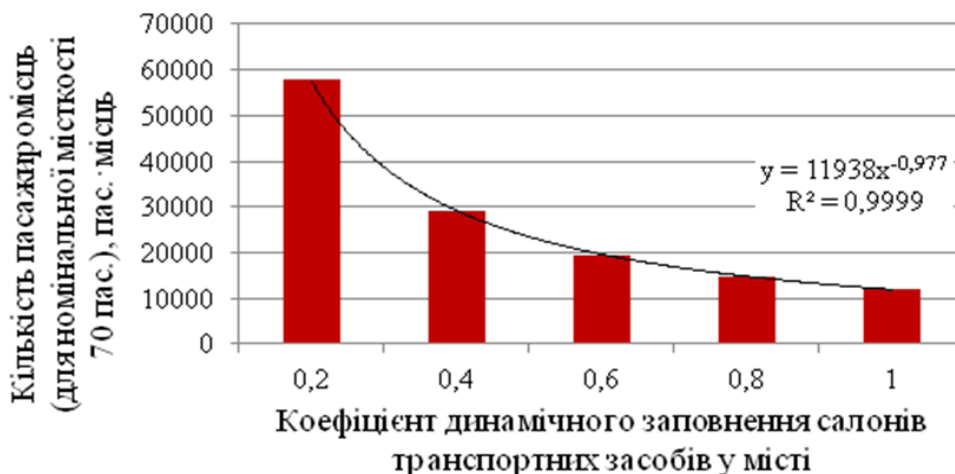


Рис. 7. Графік зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 70 пас.) залежно від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті

Відповідно до рис. 6 залежність зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 45 пас.) від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті описується степеневою моделлю та має коефіцієнт кореляції $R = -0,903$.

Залежність зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 70 пас.) від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті описується степеневою моделлю та має коефіцієнт кореляції $R = -0,901$. Отримана модель має вигляд

Математичний вигляд моделі

$$\omega_{q_n=45} = 1205,8 \cdot (\gamma_{cep}^M)^{-0,939} \quad (9)$$

$$\omega_{q_n=70} = 11938 \cdot (\gamma_{cep}^M)^{-0,977} \quad (10)$$

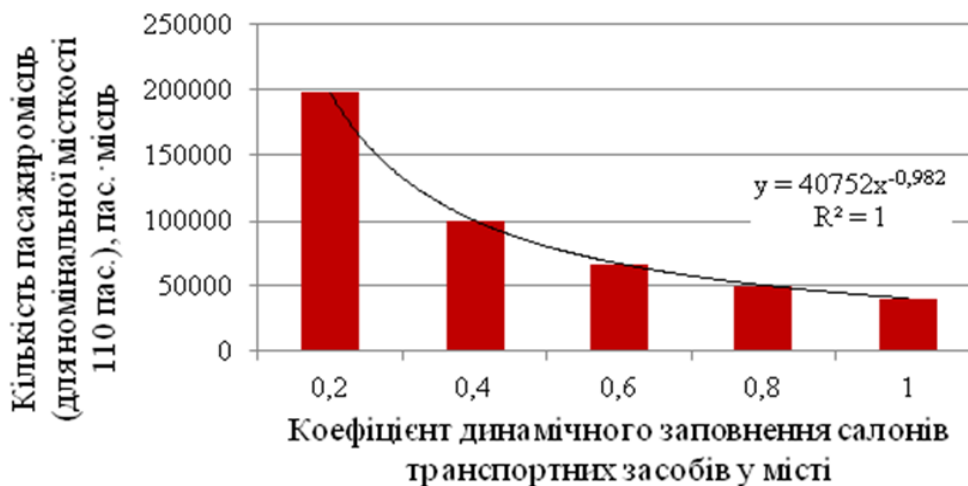


Рис. 8. Графік зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 110 пас.) залежно від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті

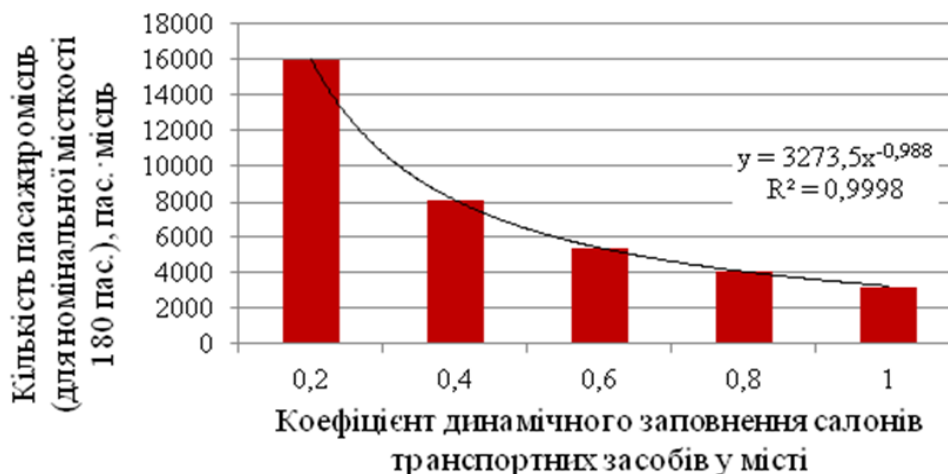


Рис. 9. Графік зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 180 пас.) залежно від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті

Натомість залежність зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 110 пас.) від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті описується степеневою моделлю та має коефіцієнт кореляції $R = -0,901$. Математичний вигляд моделі

$$\omega_{q_n=110} = 40752 \cdot (\gamma_{сер}^M)^{-0,982}. \quad (11)$$

Отримана залежність зміни кількості пасажиромісць (для номінальної місткості 180 пас.) від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті описується степеневою моделлю та має коефіцієнт кореляції $R = -0,904$, що має такий математичний вигляд:

$$\omega_{q_n=180} = 3273,5 \cdot (\gamma_{сер}^M)^{-0,988}. \quad (12)$$

Таким чином, отримані залежності зміни кількості пасажиромісць для усіх типів місткостей, залежно від коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті, мають сильний зв'язок, про що свідчать відповідні значення коефіцієнтів кореляції. Це доводить висунуті твердження щодо

нелінійного впливу параметрів пасажирських транспортних систем на показники їх функціонування.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Дослідження закономірностей функціонування МПТ свідчить про різноманітність пасажиромісткості транспортних засобів, які у свою чергу здебільш мають бути від 180 до 19 пасажирів у транспортному засобі. При цьому збільшення середньоміського коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів майже рівномірно зменшує провізні можливості маршрутів з різною місткістю.

Проведені дослідження дозволили встановити, що зі збільшенням коефіцієнта динамічного заповнення салонів транспортних засобів у місті відбувається зменшення загальної кількості пасажиромісць. При цьому істотних змін в структурі парку транспортних засобів не відбувається.

В подальшому необхідно визначити вплив інших параметрів пасажирських транспортних систем на показники їх функціонування та на транспортну роботу в цілому.

Список використаних джерел

1. Доля, В.К. Пасажирські перевезення [Текст] / В.К. Доля. – Харків: Вид-во „Форт”, 2011. – 507 с.
2. Спирин, И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками [Текст] / И.В. Спирин. – М.: Академия, 2003. – 400 с.
3. Simpson B. J. Urban public transport today [Text] / B. J. Simpson. – E&FN Spon, 2003. – 222 p.
4. Ples R. Public Transport in Developing Countries [Text] / R. Ples. – Elsevier, 2005. – 478 p.
5. Schöbel A. Optimization in public transportation [Text] / A. Schöbel. – Springer-Verlag, 2006. – 274 p. de Boer E. Transport Sociology: Social Aspects of Transport Planning [Text] / E. de Boer. – Elsevier, 2013. – 248 p.
6. Ігнатенко, О.С. Організація автобусних перевезень у містах [Текст] / О.С. Ігнатенко, В.С. Маруни. – К.: УТУ, 1998. – 196 с.
7. Doi K. Looking at sustainable urban mobility through a cross-assessment model within the framework of land-use and transport integration [Text] / K. Doi, M. Kii // IATSS Research. – 2012. – Vol. 35. – P. 62-70.
8. Camagni R. Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion [Text] / R. Camagni, M.C. Gibelli, P. Rigamonti // Ecological Economics. – 2002. – Vol. 40. – Iss. 2. – P. 199-216.
9. Pouyane G. Urban form and daily mobility: methodological aspects and empirical study in the case of Bordeaux [Text] / G. Pouyane // European Transport. – 2010. – No. 44. – P. 76-95.
10. Frändberg L. More or less travel: personal mobility trends in the Swedish population focusing gender and cohort [Text] / L. Frändberg, B. Vilhelmson // Journal of Transport Geography. – 2011. – Vol. 19. – Iss. 6. P. 1235–1244.
11. Banister D. The sustainable mobility paradigm [Text] / D. Banister // Transport Policy. – 2008. – Vol. 15. – Iss. 2. – P. 73-80.

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

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

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

Прийнята 22.03.2016 р.

УДК 666.9.012

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Кандидаты техн. наук А.П. Николаев, А.И. Здоров, М.М. Кузнецова,
д-р техн. наук Е.В. Кондращенко

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ЦЕМЕНТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Кандидати техн. наук О.П. Ніколаєв, А.Й. Здоров, М.М. Кузнецова,
д-р техн. наук О.В. Кондращенко

IMPROVEMENT OF CONTROL METHODS OF MATERIALS CEMENT PRODUCTION PROPERTIES

Cand. of techn. sciences A.P. Nikolaev, A.I. Zdorov, M.M. Kuznetsova,
doct. of techn. sciences E.V. Kondrashchenko

В статье рассмотрены вопросы, связанные с недостаточной оперативностью и информативностью некоторых методов контроля свойств материалов цементного производства. Обоснована возможность экспресс-прогноза стандартной прочности портландцемента путем анализа продуктов его взаимодействия с водой при определенных стандартных условиях. Предложен оригинальный подход к анализу дисперсных свойств цемента, учитывающий доступность его поверхности для воды затворения. Обозначена возможность оценки гидратационной активности цементных минералов путем определения удельного содержания кальция в составе продуктов их гидродеструкции.

Ключевые слова: экспресс-прогноз, стандартная прочность, минералогический состав, гидратационная активность, гидродоступная удельная поверхность, плотность.

У цій статті розглянуті питання, які пов'язані з недостатньою оперативністю та інформативністю деяких існуючих методів контролю властивостей матеріалів цементного виробництва. Обґрунтовано можливість експрес-прогнозу стандартної міцності портландцементу шляхом аналізу продуктів його взаємодії з водою при певних стандартних умовах. Запропонований оригінальний підхід до аналізу дисперсних властивостей цементу, який враховує доступність його поверхні для води замішування. Зазначена можливість оцінки гідратаційної активності цементних мінералів шляхом визначення питомого вмісту кальцію в складі продуктів їх гідродеструкції.

Ключові слова: експрес-прогноз, стандартна міцність, мінералогічний склад, гідратаційна активність, гідродоступна питома поверхня, щільність цементу.

The article designates the problems connected with insufficient efficiency and practical usefulness of existing control methods of materials of cement production properties. The possibility of the strength standard Express-predict of Portland cement by analysis of the products of its interaction with water under certain standard conditions was substantiated. It was developed the method of dispersion properties analysis of the cement, taking into account the accessibility of its surface to the mixing water. The article considers the problems connected with insufficient efficiency and practical usefulness some of existing control methods of cement production materials properties. It was developed the method of dispersion properties analysis of the cement, taking into

account the accessibility of its surface to the mixing water. It was indicated the possibility of estimating cement minerals hydration activity by identifying specific calcium content in the products of their hidrodestructio.

It was showed an opportunities of using of the proposed methodical complex for optimization of technological processes associated with production and use of Portland cement. It was proved and confirmed the appropriateness of the methodological approach which allows to take into account the permeability of the environment in the process of determining the specific surface of powder materials on example of Portland cement . This approach may be of interest to industries which deal with conversion and using of the disperse products.

Keywords: Express prediction, standard strength, mineralogical composition, hydration activity, hydrododone specific surface area, density of cement.

Введение. Эффективность управления производством портландцемента (далее – ПЦ) во многом зависит от своевременности и информативности оценки свойств исходных, промежуточных и конечных материалов. Существующий контроль основных параметров материалов цементного производства не в полной мере удовлетворяет указанным условиям. В первую очередь это относится к значительной длительности (28 суток) установления стандартной прочности (активности) ПЦ, а также к недостаточной определенности в оценке гидратационной активности его минералов. Такая же неопределенность присутствует и в соотношении между значением контролируемой удельной поверхности ПЦ и величиной площади поверхности раздела жидкой и твердой фазы, возникающей после его затворения водой.

Перечисленные выше проблемы не позволяют производителям ПЦ в необходимой мере гарантировать стабильность качества своей продукции.

Постановка цели в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Применяемые в настоящее время методы испытания цементных материалов в своей основе практически не отличаются от использовавшихся аналогов середины прошлого века. Некоторые из них недостаточно адаптированы к условиям современного цементного производства. Данное обстоятельство делает актуальной

тему разработки новых подходов к принципам контроля параметров ПЦ, которые могут быть использованы в основе вспомогательных методов анализа его потребительских свойств.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам совершенствования методов контроля вяжущих свойств портландцемента посвящены работы известных авторов, таких как: А.В. Волженский, П.В. Кривенко, А.А. Пашенко, М.А. Саницкий, М.И. Стрелков, В.В. Тимашев, М.Ш. Файнер, Г.С. Ходаков, З.Б. Этин, Б.Э. Юдович.

Отдельно можно отметить публикации П.П. Гайджунова, А.Н. Грачьяна, С.Ф. Миндолина, А.П. Николаева, связанные с разработкой методов определения фазового состава портландцементного клинкера (далее – ПЦК) [1-3].

Постановка цели и задач исследования. С целью решения обозначенных выше проблем авторы настоящей статьи поставили перед собой задачу – разработать оригинальный методический комплекс, который должен включать:

- экспресс-прогноз стандартной прочности ПЦ;
- определение величины гидродоступной удельной поверхности цемента;
- экспресс-оценку гидратационной активности цементных минералов.

Основная часть исследований

Прогноз стандартной прочности ПЦ

Само понятие стандартной прочности ПЦ и непосредственное определение ее

величины, как прочности на сжатие специальных цементных образцов в 28-суточном возрасте их твердения, регламентировано соответствующими нормативными документами [4,5].

В свое время А.В. Волженский с соавторами показали, что прочность на сжатие подобных образцов при тех же условиях ее определения зависит от концентрации и структуры успевших образоваться в них гидратных соединений [6]. Данные соединения формируются на основе продуктов гидродеструкции, которая вызвана гидролизно-гидратационными процессами, происходящими при твердении ПЦ.

Авторы настоящей статьи предлагают прогнозировать величину стандартной прочности ПЦ, в зависимости от способности входящих в его состав минералов, к взаимодействию с водой.

Для этой цели разработана методика измерения количества кальция, который при определенных условиях способен перейти в составе продуктов гидродеструкции из ПЦ в жидкую фазу. Причем эти условия эмпирически подобраны таким образом, чтобы степень освоения цемента водой в процессе проведения анализа была соизмерима с аналогичным параметром на момент определения стандартной прочности ПЦ. Принимая во внимание выводы, изложенные в работе [6], такие условия наиболее благоприятны для проявления корреляционной связи между величиной стандартной прочности ПЦ и его способностью к взаимодействию с водой, значение которой и определяют при прогнозе.

Использование кальция в качестве индикатора гидродеструкции обосновано тем, что он входит в состав всех исходных и конечных соединений твердеющей цементной системы.

Приборы, необходимые для внедрения разработанной методики, входят в перечень оборудования цементных

лабораторий. Время анализа одной пробы не превышает 25 минут.

Определение величины гидродоступной поверхности ПЦ

Качество ПЦ во многом зависит от его дисперсности, значение которой оценивают по результатам ситового анализа и величине удельной поверхности цементного порошка.

Поверхность измельченного материала представлена совокупностью ее внешних и открытых внутренних частей [7]. Внутренняя часть связана с выходом на поверхность всевозможных объемных дефектов, таких как микротрещины и поры. Обе части – неравноценны по своим свойствам, в том числе и по гидродоступности. Данное обстоятельство определяется тем, что глубина заполнения трещин и пор, а значит, и величина площади контакта с открытой внутренней поверхностью материала зависит от параметров проницаемости используемой жидкости. Актуальность контроля величины гидродоступной части поверхности ПЦ напрямую связана с гетерогенным характером процессов, происходящих при его гидратации.

Принятая методика определения удельной поверхности ПЦ включает оценку его плотности, которая в свою очередь вызывает необходимость измерения объема частиц анализируемого материала [8]. Данное измерение осуществляют с помощью пикнометра Ле-Шателье с использованием керосина в качестве пикнометрической жидкости.

Известно, что значения плотности промышленных цементов, установленных с учетом проницаемости керосина, находятся в интервале величин от 2950 до 3150 кг/м³. Аналогичные определения плотности ПЦ, проведенные в настоящей работе с использованием воды вместо керосина, показали смещение данного интервала в область значений 2750-2950 кг/м³. Ввиду того, что вода не инертна по отношению материала ПЦ, определения его плотности

проводили также и с добавлением к воде быстродействующих блокираторов гидратации цемента. Введение блокираторов практически не изменило полученные результаты, что можно объяснить достаточно коротким временем контакта анализируемого материала с водой (20-30 с) в процессе непосредственного определения объема частиц ПЦ.

Между значением плотности и получаемыми величинами удельной поверхности порошкообразных материалов существует прямая зависимость [8]. Следовательно, удельная поверхность ПЦ, величину которой определяют с помощью существующей нормативной методики, в большей степени доступна для керосина, а не воды затворения цемента. В таком случае для определения величины гидродоступной удельной поверхности ПЦ с использованием пикнометрического измерения объема его частиц необходима замена керосина на воду либо на другую жидкость с близким значением ее проницаемости. Однако такая замена не решает в полной мере проблему оперативности данного анализа.

Авторами настоящей статьи разработан оригинальный способ определения плотности частиц порошкообразных материалов, значение которой «привязано» к проницаемости воды. Использование данной возможности в рамках существующей нормативной методики измерения удельной поверхности анализируемого материала позволяет оперативно получать результаты, характеризующие его гидродоступную удельную поверхность. Время анализа составляет около 30 минут.

Оценка гидратационной активности цементных минералов

Известно, что вяжущая способность цемента связана со свойствами минералов используемого ПЦК. Гидратационная активность этих минералов зависит от их химического состава и особенностей строения. Причем эти особенности связаны

как с кристаллографической упорядоченностью строения минералов ПЦК, так и с ее нарушением. Гидратационная активность минералов во многом определяется всевозможными дефектами их структуры, образующимися при формировании и диспергации данных соединений [9,10].

При обжиге ПЦК и помоле цемента необходим оперативный контроль влияния режима работы эксплуатируемого оборудования на гидратационную активность получаемой продукции.

Авторы настоящей работы предлагают для оценки гидратационной активности цементных минералов использовать величину степени участия кальция в гидродеструкционных процессах, приведенную к единице гидродоступной удельной поверхности анализируемого материала. Данный параметр можно выразить через отношение количества кальция в продуктах гидродеструкции ПЦ к величине его гидродоступной удельной поверхности и к содержанию в нем исходного кальция. Определение количества кальция в продуктах гидродеструкции следует осуществлять при ранее установленных нами условиях прогноза стандартной прочности ПЦ. Время анализа лимитирует длительность ранее изложенных методик.

Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении. Внедрение предлагаемого методического комплекса на предприятиях цементной индустрии позволит:

- осуществлять контроль энергоэффективности работы производственного оборудования исходя из требуемых свойств исходных, промежуточных и конечных цементных материалов;
- контролировать обжигаемость цементных сырьевых материалов;
- определять качество портландцементного клинкера и используемых минеральных добавок к цементу;
- своевременно корректировать режим работы технологического оборудо-

вания и обеспечивать стабильность требуемого уровня качества продукции;

– оптимизировать производственные затраты.

Метод экспресс-прогноза стандартной прочности ПЦ может быть использован также при производстве товарного бетона и сборного железобетона, позволяя при этом экономить цемент при обеспечении гарантии качества выпускаемой продукции.

Способ определения удельной поверхности порошкообразных материалов, величина которой доступна для

смачивания жидкостью с присущей ей проницаемостью, может представлять интерес для отраслей промышленности, которые имеют дело с переработкой и использованием дисперсной продукции.

Основные положения настоящей статьи подтверждены поисковыми исследованиями промышленных цементов разных производителей, однако окончательные выводы о применимости всего комплекса можно сделать после его апробации в производственных условиях.

Список использованных источников

1. Термомагнитные исследования железосодержащей фазы портландцементного клинкера [Текст]/ П.П. Гайджуров, А.Н. Грачмян, И.Ф. Пономарев, В.В. Бородавкина // Тр. Новочер. политех. ин-та. – Новочеркасск, 1970. – Т. 202. – С. 17 – 21.
2. Миндолин, С.Ф. Концентрационные фазовые переходы в твердых растворах алюмоферритов кальция и их влияние на свойства клинкера [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.17.11 / Миндолин Сергей Филиппович; Белг. гос. техн. ун-т. – Белгород, 2003. – 24 с.
3. Николаев, А.П. Введение в магнетохимию портландцемента [Текст]: монография / А.П. Николаев, Харьк. нац. акад. город. хоз-ва. – Харьков: ХНАГХ, 2011. – 140 с.
4. DIN EN 197-1: 2008 «Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements».
5. DIN EN 196-1: 2005 «Methods of testing cement-Part 1: Determination of strength».
6. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества [Текст] / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. – М. : Стройиздат, 1979. – 476 с.
7. Zheng, Yu. Экспериментальные исследования энергоэффективного режима измельчения твердых материалов [Текст] / Yu. Zheng, М.М. Кузнецова, В.Е. Ведь, А.А. Алексина Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина // Журнал технической физики. – 2016. – Т. 86. – Вып. 5. – С. 64-67.
8. DIN EN 196-6: 2010 «Methods of testing cement - Part 6: Determination of fineness».
9. Дуда, В. Цемент [Текст] / В. Дуда; ред. Б.Э. Юдовича. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
10. Лексовский, А.М. Коллективные эффекты в системе дефектов масштаба структурного элемента при деформировании гетерогенного материала регулярного строения [Текст] / А.М. Лексовский, Г.Н. Губанова, В.Е. Юдин, Б.Л. Баскин // Журнал технической физики. – 2013. – Т. 83. – Вып. 6. – С. 122-127.

Ніколаєв Олександр Петрович, канд. техн. наук, інженер кафедри технологій будівельного виробництва і будівельних матеріалів Харківського національного університету міського господарства ім О.М. Бекетова. Тел. (099)31-36-520. E-mail: arnikolaev46@yandex.ua.

Кондращенко Олена Володимирівна, д-р техн. наук, професор, завідувача кафедри технологій будівельного виробництва і будівельних матеріалів Харківського національного університету міського господарства ім О.М. Бекетова. Тел. (050)302-48-22.

Здоров Анатолій Йосифович, канд. техн. наук, экс. директор Державного науково-дослідного інституту «Укрдицемент». Тел. (057)343-85-58. E-mail: apnikolaev46@yandex.ua.

Кузнецова Марина Максимівна, канд. техн. наук, старший викладач Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Тел. (099)436-25-72.

Nikolaev Alexandr Petrovich, cand. of techn. sciences (PhD), expert of Department of construction technology and building materials, A. N. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov, (099)31-32-520. E-mail: apnikolaev46@yandex.ua.

Kondrashchenko Elena Vladimirovna, Doctor Professor of Department of construction technology and building materials, A. N. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov. (050)302-48-22.

Zdorov Anatoly Iosifovich, cand. of techn. sciences (PhD), ex. the Director of the State research Institute "Ukrdicement" (057)343-85-58. E-mail: apnikolaev46@yandex.ua.

Kuznetsova M.M., cand. of techn. sciences (PhD), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", senior teacher. (099)436-25-72.

Принята 22.03.2016 р.

УДК 629.424.3: 621.314.12

ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ МОЩНОГО ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА ОТ ЧИСЛА ЗУБЬЕВ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ШЕСТЕРНЕ

Д-р техн. наук А.Б. Богаевский, канд. техн. наук А.В. Осичев

ЗАЛЕЖНІСТЬ ПОКАЗНИКІВ РЕГУЛЮВАННЯ ПО ЧАСТОТІ ОБЕРТАННЯ ПОТУЖНОГО ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА ВІД КІЛЬКОСТІ ЗУБЦІВ У ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ШЕСТИРНІ

Д-р техн. наук О.Б. Богаевский, канд. техн. наук О.В. Осичев

DEPENDENCE REGULATION INDICATORS FOR SPEED POWERFUL DIESEL-GENERATOR BY MEASURING THE NUMBER OF TEETH IN THE GEAR

Doct. of techn. sciences A. Bogajevskij, cand. of techn. sciences A. Osichev

Проведено исследование влияния запаздывания по измерению частоты вращения на показатели устойчивости и точности регулирования мощной дизель-генераторной установки с импульсным датчиком частоты в обратной связи. На основании критерия Найквиста определено минимально допустимое число зубьев в измерительной шестерне. Получены практические выражения по определению числа зубьев для обеспечения требуемой точности регулирования.

Ключевые слова: дизель-генератор, автоматическое регулирование, частота, запаздывание, устойчивость, число зубьев, точность регулирования, измерительная шестерня.

Виконано дослідження впливу запізнення по виміру частоти обертання на показники стійкості і точності регулювання потужної дизель-генераторної установки з імпульсним датчиком частоти у зворотньому зв'язку. На підставі критерію Найквіста визначена мінімально допустима кількість зубців у вимірювальній шестірні. Отримано практичні

співвідношення для визначення кількості зубців, необхідної для забезпечення заданої точності регулювання.

Ключові слова: дизель-генератор, автоматичне регулювання, частота, запізнення, стійкість, кількість зубців, точність регулювання, вимірювальна шестірня.

The aim of this study is to investigate the influence of the number of teeth z in the measurement gear on the stability and accuracy of frequency control process. The correct choice of the number of teeth on the measuring gear is an important technical problem in the process of introduction of modern control systems on vehicles and power plants, which do not have ring gear on the flywheel (conventional place for such systems Frequency location pulse sensors), as well as the launch of diesel engines is carried out with compressed air instead of starter as in railway diesel engines and industrial applications. Such crown design for reliable operation of sensors must be created in the process of repair of the diesel engine or the installation of the system directly to the diesel unit before commissioning. By reducing the number of teeth (marks) for reading the information on the frequency may be reduced labor at this stage.

The use of chain measuring frequency pulse generators, removing discrete time information from the rotating gear teeth, leads to rotation speed control system of diesel generators in the formation of the delay unit. The effect of the delay on the measurement of frequency stability performance and precision control powerful diesel-generator set with a pulse frequency sensor feedback. On the basis of the Nyquist criterion to determine the minimum allowable number of teeth in the measuring gear. Received practical expression to determine the number of teeth to provide the desired control accuracy.

Keywords: diesel-generator, automatic regulation, frequency, delay, stability, number of teeth, precision control, the measuring gear.

Введение и постановка проблемы в общем виде, ее связь с важными научными и практическими заданиями. Анализ последних исследований и публикаций. Рост затрат на тепловую и электрическую энергию у промышленных предприятий привел к появлению у последних автономных когенерационных установок на основе мощных стационарных дизель-генераторов. В качестве основы когенерационной установки часто используют стационарные промышленные или вспомогательные корабельные дизель-генераторы, которые по своей мощности полностью обеспечивают потребности в тепле и электроэнергии небольшие компактно расположенные промышленные объекты. Часто дизель-генераторные установки переводят на газовое топливо. Газопоршневые когенерационные установки (мини-ТЭЦ) в настоящих условиях зачастую являются оптимальным решением энергоснабжения небольших

предприятий, особенно в холодный период года [1].

В случае если дизель-генератор был переведен на газовое топливо, то качество регулирования при этом существенно определяется рабочими процессами дизеля с газовым топливом, рациональными схемами питания двигателя газовым топливом и для чего, очевидно, понадобится создание соответствующих элементов этих систем [2].

Стоимость дизель-генераторной установки мощностью 1,0 МВт и выше начинается от миллиона гривен и возрастет по мере увеличения мощности. Срок их эксплуатации, как правило, составляет десятки лет. Такие дорогие энергетические установки постоянно совершенствуются. Одним из эффективных направлений совершенствования является замена старых гидромеханических регуляторов частоты вращения коленчатого вала на современные микроконтроллерные регуляторы, которые

позволяют снижать эксплуатационный расход топлива [4,5], а также позволяют обеспечить жесткие требования по поддержанию частоты генерации автономной энергетической установки (50 Гц), которая в случае необходимости может работать параллельно с внешней сетью. Также необходимо учитывать особенности протекания рабочих процессов в двигателях [2].

Внедрение микроконтроллерных регуляторов предполагает применение датчиков частоты вращения импульсного типа, которые устанавливаются напротив зубьев вращающейся шестерни [3], которая должна максимально жестко соединяться с коленчатым валом двигателя. Такая установка датчика позволяет в процессе регулирования частоты не учитывать механические люфты, которые негативно сказываются на качестве самого процесса регулирования.

Использование в цепи измерения частоты импульсных датчиков, снимающих дискретно во времени информацию с зубьев вращающейся шестерни, приводит для систем регулирования частоты вращения дизель-генераторов к образованию звена запаздывания.

Отдельными вопросами регулирования и оптимизации различных гибридных энергетических установок (к которым относятся мощные дизель-генераторы) занимаются и зарубежные исследователи, в частности [9,10]. Однако их исследования проводятся в предположении, что основные показатели регулирования уже обеспечены существующей конструкцией регулятора. Поэтому в этих исследованиях вопросы, связанные с выбором конструктивных элементов как энергетической установки, так и модернизируемого регулятора, не освещаются.

Цель работы. Корректный выбор количества зубьев на измерительной шестерне представляет собой важную техническую задачу в процессе внедрения современных систем регулирования на

энергетических установках. Особенно это важно для энергетических установок, созданных на базе корабельных стационарных дизель-генераторов, у которых на маховике (общепринятом месте расположения импульсных датчиков частоты для подобных систем) отсутствует зубчатый венец, так как запуск морских дизелей осуществляется сжатым воздухом, а не стартером, как в дизелях промышленного и железнодорожного применения. Подобную венцу конструкцию для уверенной работы датчиков необходимо создавать в процессе ремонта дизеля или при установке системы непосредственно на дизельном агрегате перед пусконаладочными работами. Процесс этот достаточно затратный во времени и требует высокой квалификации исполнителей. Поэтому путем уменьшения числа зубьев (отметок) для считывания информации о частоте можно снизить трудозатраты на этом ответственном этапе работы. Эта техническая задача также актуальна при внедрении современных электронных систем регулирования частоты на некоторых типах дизель-генераторов резервного (аварийного) электропитания энергоблоков атомных электростанций, у которых имеет место пуск дизеля сжатым воздухом.

Таким образом, целью настоящей работы является исследование влияния числа зубьев Z на устойчивость процесса регулирования частоты.

Основная часть исследования. Наличие звеньев с запаздыванием часто встречается в различных технологических процессах. Но в случае использования измерения частоты с помощью импульсных датчиков для микроконтроллерных регуляторов частоты образование звена запаздывания – технологическая неизбежность. Характеристики этого звена запаздывания и степень его влияния на показатели процесса регулирования определяются частотой вращения коленчатого вала двигателя и количеством

зубьев измерительной шестерни z . Очевидно, что при фиксированном числе зубьев измерительной шестерни z с уменьшением частоты вращения величина времени запаздывания $\tau_{зан}$ будет увеличиваться, а это приведет к ухудшению показателей регулирования. И соответственно увеличение частоты вращения приводит к уменьшению времени запаздывания и улучшению показателей.

Для достижения поставленных целей при выполнении настоящей работы использованы методы теории нелинейных импульсных систем автоматического управления и моделирование переходных процессов системы регулирования.

Передаточная функция звена с запаздыванием имеет вид:

$$W_{зан}(p) = e^{-p\tau_{зан}} \quad (1)$$

Структурная схема одноконтурной САУ со звеном запаздывания в цепи

$$W(j\omega) \cdot e^{-j\omega\tau_{зан}} = A(\omega) \cdot e^{j\phi(\omega)} \cdot e^{-j\omega\tau_{зан}} = A(\omega) \cdot e^{j(\phi(\omega) - \omega\tau_{зан})} \quad (2)$$

где $A(\omega)$ – амплитудная составляющая АФЧХ,

$\phi(\omega) - \omega\tau_{зан}$ – фазовая составляющая АФЧХ.

Из выражения (2) видно, что звено запаздывания не меняет модуль $A(\omega)$ АФЧХ разомкнутой системы, а вносит дополнительный отрицательный фазовый сдвиг $\omega\tau_{зан}$, пропорциональный частоте ω с коэффициентом пропорциональности, равным времени запаздывания $\tau_{зан}$.

Критические условия устойчивости для фаз имеют вид:

$$\phi(\omega_{кр}) - \omega_{кр} \tau_{зан} = -\pi, \quad (3)$$

т.е. общий угол сдвига не должен превышать величину $-\pi$.

измерения частоты вращения может быть представлена в виде, как показано на рис. 1.

Как показал Цыпкин Я.З., для исследования устойчивости систем с запаздыванием удобно применять критерий устойчивости Найквиста [6]. Формулировка критерия устойчивости Найквиста для систем с чистым запаздыванием аналогична формулировке для систем без запаздывания, имеющих дробно-рациональные передаточные функции.

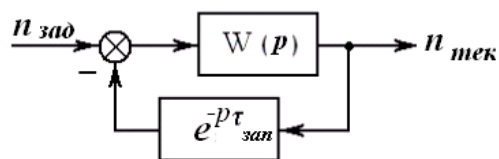


Рис. 1. Структурная схема одноконтурной САУ со звеном чистого запаздывания

Выражение для АФЧХ разомкнутой системы в этом случае:

Представим величины, входящие в выражения (2) и (3), через значения числа зубьев z и частоту вращения вала двигателя $n_{тек}$ (см. рис. 1), обычно измеряемую в оборотах за мин.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_{тек} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_{тек}}{60}, \quad (4)$$

$$\tau_{зан} = \frac{T_{мек}}{z} = \frac{60}{n_{мек} \cdot z}, \quad (5)$$

$$\phi_{зан}(\omega) = \omega \cdot \tau_{зан} = \frac{2 \cdot \pi}{z}. \quad (6)$$

Преобразования (4) – (6) показывают, что фазовый сдвиг, вносимый звеном запаздывания, зависит от числа зубьев z . Из выражения (6) следует, что существует

риск не обеспечить устойчивое управление при количестве зубьев 1 или 2 на шестерне, так как в этом случае звено запаздывания сразу же вносит сдвиг, равный согласно выражению (3) критическому значению - π или больше.

Необходимо при этом отметить, что измерять частоту вращения можно по любому количеству зубьев в шестерне (начиная с 1-го), а для устойчивого управления замкнутой системой (рис. 1) в шестерне должно быть не менее 3 зубьев.

Для иллюстрации полученных утверждений было проведено моделирование процессов регулирования частоты в системе на созданной в среде Simulinc модели [7]. Моделировались случаи переходных процессов в замкнутой системе для различного количества зубьев в измерительной шестерне. Моделирование показало, что устойчивое управление может быть обеспечено и при числе зубьев,

равном 2. Однако при этом необходимо перестроить (изменить) исходную передаточную функцию системы $W(p)$. Результаты моделирования при $z = 2$ представлены на рис. 2 и 3.

Подтвердился в процессе моделирования факт улучшения показателей регулирования как при увеличении частоты вращения, так и при увеличении числа зубьев в измерительной шестерне.

Количество зубьев Z в измерительной шестерне влияет также на частоту дискретизации по времени такого параметра, как частота вращения вала дизель-генераторной установки, а следовательно, от выбора числа зубьев зависит точность измерения текущего значения частоты $n_{тек}$. Частота следования импульсов с датчика определяется из выражения

$$f_{датч} = \frac{n_{тек} \cdot z}{60} \quad (7)$$

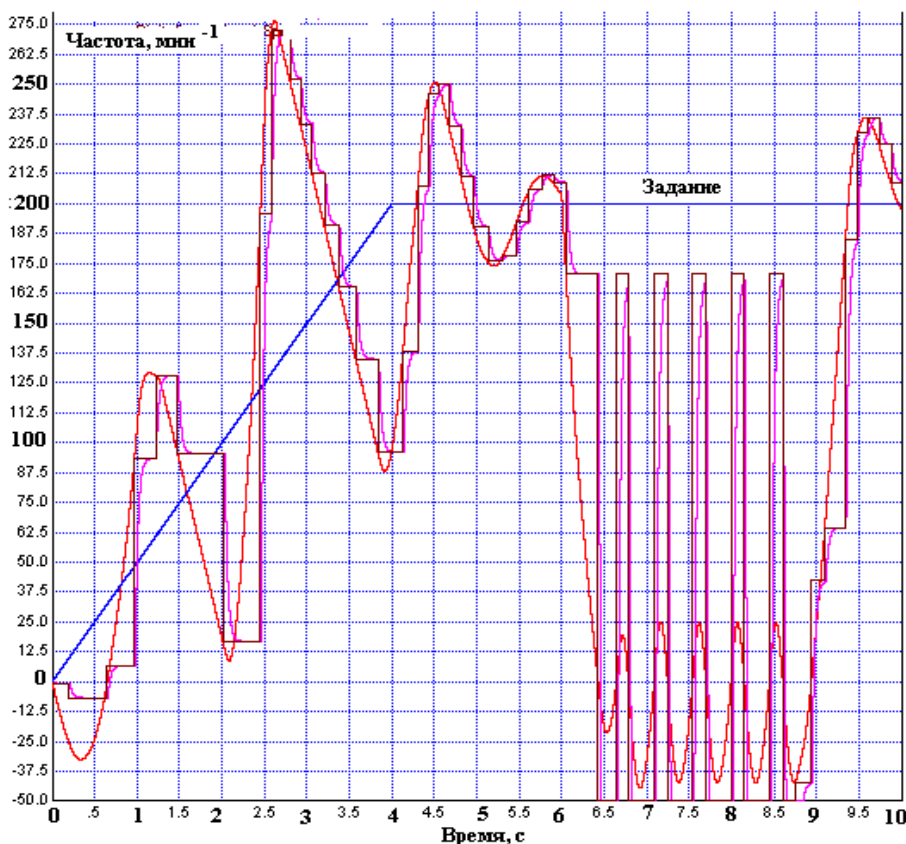


Рис. 2. Процессы в системе с $z=2$ без перестройки параметров

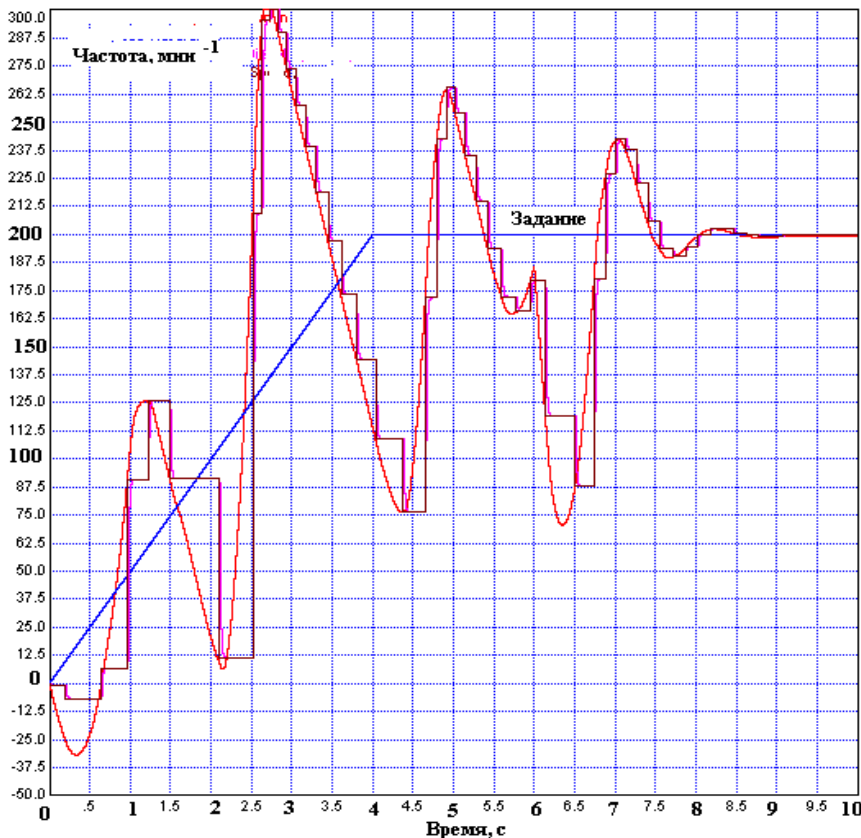


Рис. 3. Процессы в системе с $z=2$ с перестройкой параметров

Если диапазон регулирования частоты широк (что характерно для транспортных дизель-генераторных установок), то выбирать количество зубьев необходимо для минимальной частоты вращения $n_{мин}$. С увеличением частоты вращения вала частота следования импульсов с датчика возрастает и погрешность измерения из-за дискретизации по времени снижается.

Согласно теореме А.В. Котельникова частота вращения вала дизель-генератора, на котором установлены импульсный датчик с шестерней, должна быть минимум в 2 раза ниже, чем по выражению (7). На практике же для того, чтобы обеспечить достаточную точность измерения с помощью шестерни с числом зубьев z , частота согласно выражению (7) должна быть еще меньше. Для дальнейшей оценки примем это значение следующим:

$$f_{валаДГ} = \frac{n_{мин} \cdot z}{2 \cdot 60 \cdot 10} = \frac{n_{мин} \cdot z}{1200}, \quad (8)$$

где $n_{мин}$ – минимальная частота вращения вала дизель-генератора, $мин^{-1}$;

$f_{валаДГ}$ – частота вала дизель-генератора, Гц.

Угловая частота вращения вала дизель-генератора $\omega_{валаДГ}$ с учетом выражения (8) определится из выражения

$$\omega_{валаДГ} = \frac{2\pi \cdot n_{мин} \cdot z}{1200} \cong \frac{n_{мин} \cdot z}{200}. \quad (9)$$

Полученное выражение (9) фактически для электромеханической системы представляет собой частоту полосы пропускания. В этом случае через выражение частоты полосы пропускания, согласно [8], можно представить выражение для времени $t_{ин}$ переходного

процесса исполнительного механизма системы регулирования в следующем виде:

$$t_{nn} = \frac{4,5}{\omega_{\text{валаДГ}}} = \frac{900}{n_{\text{мин}} \cdot z}. \quad (10)$$

Для известных исполнительных механизмов (актуаторов) дизель-генераторных установок различного назначения время t_{nn} переходного процесса составляет величину в пределах от 0,05 до 0,2 с в зависимости от конструкции. Приняв значение t_{nn} равным, например, 0,1 с при реальной минимальной частоте вращения вала дизель-генераторной установки $n_{\text{мин}} = 200 \text{ мин}^{-1}$ из выражения (10) определим число зубьев $z=45$, при котором обеспечится

необходимая точность измерения текущей частоты вращения.

Многочисленные экспериментальные исследования на стендах и в эксплуатационных условиях, проведенные непосредственно при участии авторов, показали хорошее совпадение с теоретическими выкладками настоящей работы относительно практического выбора числа зубьев в измерительной шестерне.

Выводы. Полученные в исследованиях статьи выражения и результаты могут быть использованы при обосновании характеристик и алгоритмов функционирования микроконтроллерных систем управления в процессе их внедрения на стационарных дизель-генераторах.

Список использованных источников

1. Гудков, С.А. Когенерация, использование когенерационных установок [Электронный ресурс] / С.А. Гудков, Е.А. Лебедева. – Нижний Новгород, РФ, ННГАСУ. – Режим доступа: www.rae.ru/forum2012/pdf/2930.pdf.
2. Абрамчук, Ф.И. Опыт конвертации дизелей в газовые двигатели с искровым зажиганием [Электронный ресурс] / Ф.И. Абрамчук, А.М. Левтеров // Автомобильный транспорт. – 2007. – Вып. 21. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/opyt-konvertatsii-dizeley-v-gazovye-dvigateli-s-iskrovym-zazhiganiem>.
3. Щеглов, А.А. Регулирование частоты вращения судового двигателя внутреннего сгорания [Электронный ресурс] / А.А. Щеглов // Вестник МГТУ, 2006. – Т. 9, №2. – С. 312-317. – Режим доступа: http://www.vestnik.mstu.edu.ru/v09_2_n22/articles/21_shcheg.pdf.
4. Косов, Е.Е. Совершенствование режимов работы силовых энергетических систем тепловозов [Текст] / Е.Е. Косов, Е.М. Шапран, В.В. Фурман. – Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2006. – 278 с.
5. Моделювання перехідних процесів тепловозного дизеля в експлуатаційному циклі з метою встановлення шляхів зниження витрат палива [Текст]: наук.-техн. звіт. № 0199U003102. – Харків: ХарДАЗТ, 2001. – 96 с.
6. Цыпкин, Я.З. Теория нелинейных импульсных систем [Текст] / Я.З. Цыпкин, Ю.С. Попков. – М.: Гл. ред. физ.-мат. литературы издательства «Наука», 1973. – 416 с.
7. Богаевский, А.Б. Компьютерная модель мощного транспортного дизель-генератора с электронной системой управления [Текст] / А.Б. Богаевский // Открытые информационные и компьютерные интегральные технологии. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2008. – Вып. 38. – С. 150-169.
8. Воронов, А.А. Теория автоматического управления [Текст] / А.А. Воронов. – М.: Высшая школа, 1986. – Ч. 2. – 504 с.
9. Bansal, R.C. Automatic reactive-power control of isolated wind-diesel hybrid power systems / R.C. Bansal // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2006. – Issue 4(6). – P. 1116-1126.

10. Tang Q., Lin N., Zhang J. Optimal Operation Method for Microgrid with Wind/PV/Diesel Generator/Battery and Desalination / Q. Tang, N. Lin, J. Zhang // Hindawi Publishing Corporation Journal of Applied Mathematics Volume 2014, Article ID 857541, 12 p., <http://dx.doi.org/10.1155/2014/857541>.

Богаєвський Олександр Борисович, доктор технічних наук, професор, кафедра автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Тел. (057) 700-38-52. Осічев Олександр Васильович, кандидат технічних наук, професор, кафедра автоматизованих електромеханічних систем Національного технічного університету «ХПІ». Тел. (057) 707-64-45. E-mail: avo1957@yandex.ru.

Bogaevskiy Aleksandr Borisovich, d-r of techn. sciences, professor department of automotive electronics Kharkov National Automobile - Highway University. Tel.: (057) 700-38-52. Osichev Aleksandr Vasilevich, cand. of techn. sciences, professor department of automated electromechanical systems of the National Technical University "KhPI". Tel.: (057) 707-64-45. E-mail: avo1957@yandex.ru.

Принята 22.03.2016 р.

УДК 624.076.2

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИВУЧЕСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ПУТЕПРОВОДА

Кандидаты техн. наук А.Н. Гибаленко, А.С. Коваленко, Т.С. Трофимчук

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИВУЧОСТІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ШЛЯХОПРОВОДУ

Кандидати техн. наук А.Н. Гибаленко, А.С. Коваленко, Т.С. Трофимчук

DESIGN & EXPERIMENTAL DATA OF DURABILITY CHARACTERISTICS THE METAL STRUCTURES OF THE RAILWAY OVERBRIDGE

Cand. of techn. sciences O. M. Gibalenko, A. S. Kovalenko, T.S. Trofymchuk

Излагаются основные принципы обеспечения качества и надежности противокоррозионной защиты металлоконструкций по уровню коррозионной опасности. В работе показаны возможности применения стратегии DMAIC при робастном (устойчивом) проектировании противокоррозионной защиты эксплуатируемых железнодорожных путепроводов. Разработанная методика включает расчетно-экспериментальную оценку коэффициентов надежности и готовности противокоррозионной защиты. Представлены основные этапы выявления критически значимых показателей для обеспечения качества и надежности металлоконструкций и их защитных покрытий.

Ключевые слова: *металлические конструкции, процессный подход, качество, надежность, уровень коррозионной опасности, мониторинг коррозионного состояния.*

Викладаються основні принципи забезпечення якості і надійності протикорозійного захисту металоконструкцій за рівнем корозійної небезпеки. У роботі показані можливості

застосування стратегії DMAIC при робастному (стійкому) проектуванні протикорозійного захисту експлуатованих залізничних шляхопроводів. Розроблена методика містить розрахунково-експериментальну оцінку коефіцієнтів надійності та готовності протикорозійного захисту. Наведено основні етапи виявлення критично значущих показників для забезпечення якості та надійності металевих конструкцій і їх захисних покриттів.

Ключові слова: металеві конструкції, процесний підхід, якість, надійність, рівень корозійної небезпеки, моніторинг корозійного стану.

The paper sets out the main principles ensuring the corrosion protection of steel structures quality & reliability depending on the medium aggressiveness. It has been found out the back of design & experimental data for assessment of the corrosion damage results in difficulties in comparative analysis of the corrosion resistance & durability.

The paper shows the possibility of DMAIC strategy, the railway overbridge corrosion protection being robust. To be able to take precaution against corrosion, all the metal structures & their coatings were classified as to their liability for construction failures. The design factors of durability have been stated.

The worked out method comprises the design & experimental assessment of corrosion protection safety & operational readiness. The main stages of defining the crucial factors providing for the metal structures & the protection coatings quality & reliability have been shown.

The stated principles make it possible to substantiate the quality & reliability factors of corrosion protection at all the stages of the metal structures work.

Keywords: steel structures, process approach, quality, reliability, level of corrosion hazard monitoring corrosion condition.

Введение. Неудовлетворительное состояние строительных металлоконструкций по уровню коррозионной защищенности, долговечности и надежности создает угрозы проявления аварийных ситуаций для 15-40 % эксплуатируемых зданий и сооружений. Успешное управление и функционирование объектов транспортной инфраструктуры невозможно без дополнительных затрат, экономическая эффективность которых во многом определяется правильным выбором конструктивных и технологических решений противокоррозионной защиты [1, 12].

В настоящее время около 50 % металлофонда зданий и сооружений различных отраслей промышленности и сельского хозяйства эксплуатируется в условиях средне- и сильноагрессивных воздействий, что является усугубляющим фактором снижения технологической безопасности, при этом потери от коррозии составляют 10-15 % всего выработанного черного металла в стране [2].

Постановка проблемы. С позиции теории надежности важным интегральным свойством, характеризующим систему мер защиты металлоконструкций от коррозии, является живучесть. Живучесть определяет способность систем противокоррозионной защиты конструкций (СПЗК) сохранять свойства, необходимые для выполнения требуемых функций, при наличии неблагоприятных воздействий. При этом принципы проектирования по уровню коррозионной опасности включают обоснование последовательности этапов для оценки живучести строительных металлоконструкций на основе стратегии DMAIC (define, measure, analyze, improve, control): определения, измерения, анализа, совершенствования и контроля мер первичной и вторичной защиты от коррозии.

Надежная и безопасная эксплуатация зданий и сооружений на протяжении установленного срока эксплуатации T_{ef} определяется соблюдением требований

нормативных положений, обуславливающих выполнение объектами технологических и эксплуатационных функций на протяжении заданного промежутка времени [3].

Является актуальной необходимостью совершенствования требований к средствам и методам противокоррозионной защиты конструкций, что влечет уменьшение уровней риска – возможных потерь, причиненных случайными действиями, вызывающих разрушение конструкций при выходе из режима нормальной эксплуатации путем обеспечения первичной и вторичной противокоррозионной защиты [4].

Анализ исследований и публикаций. Неудовлетворительное коррозионное состояние конструкций, сооружений и инженерных сетей требует принятия неотложных мер, направленных на усиление надзора за требованиями безопасного уровня их механической прочности при нарушении режима нормальной эксплуатации в коррозионных средах [5].

Особенности работы сооружений, изменение характеристик технологических процессов и закономерностей нагрузок, состава факторов воздействий агрессивной среды оказывают существенное влияние на показатели коррозионной стойкости и долговечности конструктивных элементов, их защитных покрытий [6, 14]. Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует, что долговременная защита от коррозионного разрушения обеспечивается при условии согласования всеми заинтересованными сторонами состава спецификации по противокоррозионной защите в соответствии с требованиями ISO 12944:1998 «Лаки и краски – защита от коррозии стальных конструкций системами защитных покрытий» [7, 8].

Одной из основных составляющих промышленного потенциала являются конструкции мостов и транспортных сооружений, которые обеспечивают

функционирование транспортной инфраструктуры [9].

Актуальной является проблема моделирования стохастических процессов накопления повреждений в элементах металлоконструкций, которая особую актуальность приобрела в последние два десятилетия из-за стремительного роста числа физически устаревших сооружений. В сложившихся условиях безаварийная эксплуатация сооружений требует научных подходов к оценке технического состояния, которые обеспечат количественные критерии уровня надежности и прогнозирования остаточного ресурса [10, 15].

Определение целей и задач исследования. Задачей работы является анализ данных результатов экспертного обследования металлоконструкций сооружений транспортной инфраструктуры в условиях агрессивных воздействий с целью разработки аналитического метода технического диагностирования коррозионного состояния (ТДКР), описания расчетных ситуаций по признакам коррозионной опасности для формирования программ обеспечения надежности (ПОН) на основании данных оценки показателя живучести СПЗК.

Структура требований по надежности и условия оценки коррозионной опасности металлоконструкций. Понятие коррозионной опасности включает определенное состояние или ситуацию (угрозу), при которых увеличивается вероятность наступления ущерба в связи с тем, что данное коррозионное состояние или отклонение от нормальной эксплуатации являются потенциальной причиной (угрозой) наступления опасности или того, что может повлиять на размер ущерба.

Управление технологической безопасностью выполняется на основе анализа рисков с учетом коэффициента обратной связи при негативных внешних воздействиях и варьировании параметров первичной и вторичной защиты для

обеспечения заданной послеремонтной несущей способности конструкций зданий и сооружений. Установленные принципы обеспечивают возможность разработки единой методологической основы для

расчетно-экспериментального обоснования соответствия показателей качества и надежности СПЗК на всех стадиях жизненного цикла строительных металлоконструкций (рис. 1).

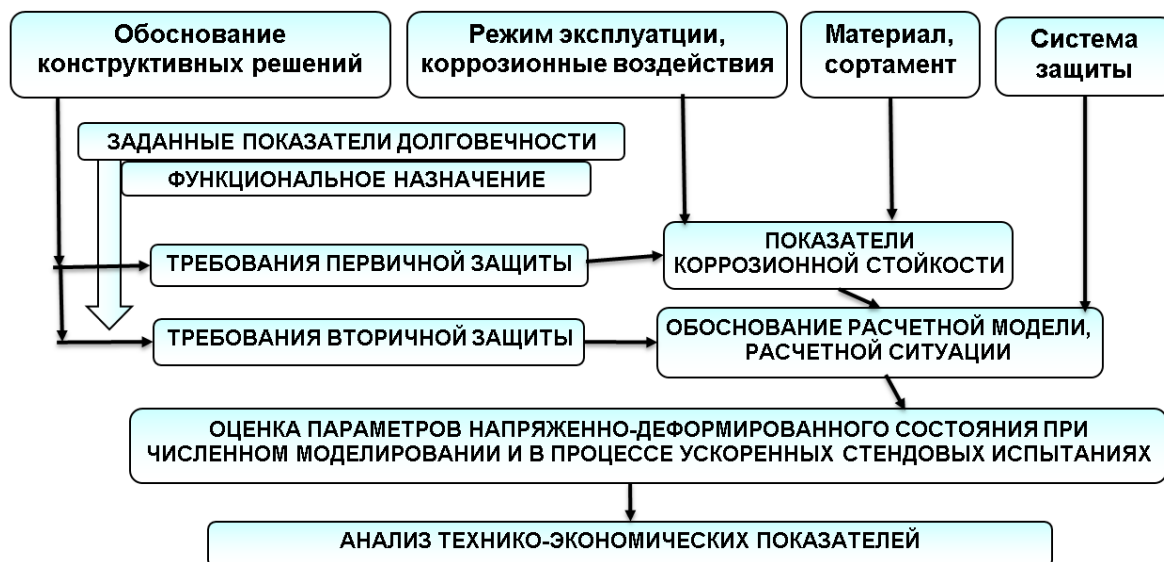


Рис. 1. Схема обоснования мер первичной и вторичной защиты стальных конструкций с гарантированными показателями долговечности

Основная часть исследования. В соответствии с разработанной методикой технического аудита коррозионного и технического состояния конструкций оборудования осуществлен комплекс работ по определению показателей долговечности для выявления остаточного ресурса по фактическому состоянию, выявления пригодности (или непригодности) к дальнейшей эксплуатации. Комплекс мероприятий включает процедуру оценки требований технологической безопасности по параметрам регламентированных типовых моделей эксплуатации и обеспечивает принятие решений для снижения определенной степени риска или опасности возникновения аварийной ситуации сооружений.

Планирование эксперимента и выявление критически значимых параметров качества и надежности. Использование методов физико-химического

моделирования показателей коррозионной стойкости и долговечности является обязательным инструментом для оценки качества и надежности проектных решений [1, 13].

Реакция сопротивления поверхностному разрушению $[\Phi(N), \text{г/м}^2]$ получена методом активного экспериментирования при использовании дробной реплики 2^{15-10} , отражающей программированные пробные воздействия при варьировании параметров конструктивной формы (j) и факторов коррозионных воздействий (i):

$$\Phi(N) = A_i + A_j + A_{i,j} + A_{i,j-1}; \quad (1)$$

$$A_{i,j} = a_0 \sum_{i=0}^{i=N} \sum_{j=0}^{j=L} a_{i,j} / T_k, \quad (2)$$

где $A_{i(j)}$ – системная переменная коррозионных потерь, г/м²год; а $i(j)$ – весовая характеристика параметров конструктивной формы (i, j);

a_0 – коррозионные потери стали С235, г/м², при ускоренных коррозионных испытаниях;

T_k – промежуток времени, соответствующий установившимся коррозионным потерям, год.

Экспертная оценка состояния обобщенного показателя защитных свойств покрытий (A_z) представлена в виде зависимости

$$A_z = \sum_{i=1}^{i=N} B_i X_i, \quad (3)$$

где B_i – коэффициент весомости вида разрушения;

X_i – относительная оценка i -того вида разрушения;

i – число видов разрушения.

Результаты оценивания показателей по формулам (2, 3) позволяют установить нормативный срок службы системы защитного покрытия (СЗП)

$$T_z = \Delta P(N) / A_n, \quad (4)$$

где $P(N)$ – коррозионные потери незащищенной стали, соответствующие количеству циклов ускоренных испытаний N до установленной характеристики отказа, г/м²; A_n – характеристическое значение годовых коррозионных потерь, г/м².

Качество защитных покрытий определяется на основе статистической оценки коэффициента надежности вторичной защиты γ_{zn} . Оценка результатов испытаний включает: статистический анализ отказов (предельных состояний); проверку контролируемых параметров для заданной области интервальной оценки γ_{zn} ; анализ соответствия расчетной ситуации требованиям обеспечения надежности с учетом экономических факторов.

Расчет на коррозионную стойкость, долговечность и ремонтпригодность стальных конструкций связан с учетом показателей качества мер первичной и вторичной защиты на основе признаков предельных состояний первой и второй группы (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики коррозионной стойкости материалов и конструкций при оценке соответствия по уровню коррозионной опасности

Шкала стойкости металлов и покрытий				Категория ответственности конструкций	Коэффициенты надежности	
Группа стойкости по ГОСТ 13819-68	Оценка стойкости, балл	Глубина поражения, мм/год	Класс первичной и вторичной защиты по СНиП (ДСТУ)		Первичной защиты, γ_{zk}	Вторичной защиты, γ_{zn}
Нестойкие (IV)	8	1 – 5	I	C4	От 0,80 до 0,85	От 0,85 до 0,90
	7	0,5 - 1				
Пониженно-стойкие (III)	6	0,1-0,5	II	C3	»0,85 » 0,90	»0,90 »0,95
	5	0,05-0,1				
Удовлетворительно-стойкие (II)	4	0,01-0,05	III	C2	»0,90 »0,95	»0,95 »0,99
	3	0,005-0,01				
Стойкие (I)	2	0,001-0,005	IV	C1	»0,95 »0,99	»0,99 »1,00
	1	Менее 0,001				

Данные контроля коррозионного состояния объектов (параметры «выхода» системы) позволяют произвести анализ качества и надежности (параметры «входа») для обоснования требований технологической безопасности с учетом показателей ремонтпригодности, живучести и послеремонтной несущей способности. Задание критериев предельных состояний при продлении ресурса по результатам оценки фактического состояния выполняется с помощью коэффициента обратной связи режима эксплуатации конструкций (ψ) на основании зависимости

$$N = \Phi / (\Gamma - \psi), \quad (5)$$

где N – наибольшее расчетное усилие в конструктивном элементе, кН;

Φ – предельное усилие, кН, которое может воспринять элемент с характеристикой повреждаемости Θ_f ;

Γ – отношение резерва надежности.

Предложенная характеристика коэффициента обратной связи режима эксплуатации (ψ) обеспечивает реализацию информационно-аналитического подхода к управлению технологической безопасностью, формированию программ обеспечения надежности (ПОН). При этом критерием технологической безопасности конструкций является характеристика живучести (η), определяющая уменьшение пропускной способности регулирования ресурса

$$\eta = 1 / (\Gamma - \psi). \quad (6)$$

При накоплении повреждений Θ_f и потере качества \bar{F}_e коэффициент обратной связи (ψ) характеризует снижение

эксплуатационных показателей стальных конструкций при установленном проектном значении отношения надежности (Γ). Возмущающие воздействия негативных внешних факторов $A(L, G, S, T, R)$ и внутренних параметров $A(f)$ вызывают коррозионное разрушение и появление признаков предельных состояний конструкций. Пропускная способность регулирования ресурса характеризует допустимое изменение проектного значения отношения резерва надежности (Γ) для восстановления работоспособного состояния и продления ресурса за счет конструктивно-технологических ограничений и методов обеспечения требуемой послеремонтной несущей способности.

Подтверждение соответствия показателей качества СМЗК требованиям конструктивной и технологической безопасности СПЗК производится расчетным или расчетно-измерительным методами на основе данных проектной спецификации.

Расчетно-экспериментальная оценка интегральной характеристики живучести позволит устранить неопределенность и субъективизм при установлении проектных решений противокоррозионной защиты металлоконструкций.

Мониторинг интегральных показателей качества и надежности металлоконструкций. В соответствии с разработанным подходом контроль коррозионного разрушения производился по приведенной характеристике потери качества \bar{F}_e в агрессивных средах, установленной по методу Г. Тагути [11]. Показатель качества \bar{F}_e пропорционален квадрату отклонений значений контролируемого показателя $\gamma_{zk}(\gamma_{zn})$ от его номинального значения

$$\bar{F}_e = \left[\frac{2}{\gamma_{zk}^{\max} - \gamma_{zk}^{\min}} (\gamma_{zf} - \frac{\gamma_{zk}^{\max} + \gamma_{zk}^{\min}}{2}) \right]^2, \quad (7)$$

Реализация подхода выполнена при рассмотрении условий соответствия требований противокоррозионной защиты для металлоконструкций пролетного строения железнодорожного путепровода, эксплуатация которого происходит в условиях предприятия металлургического

производства (рис. 2, 3, 4). Требования к контролю качества и надежности мер СПЗК позволяют выявлять признаки коррозионного разрушения на ранних стадиях послеремонтной готовности конструкций (рис. 5, 6).

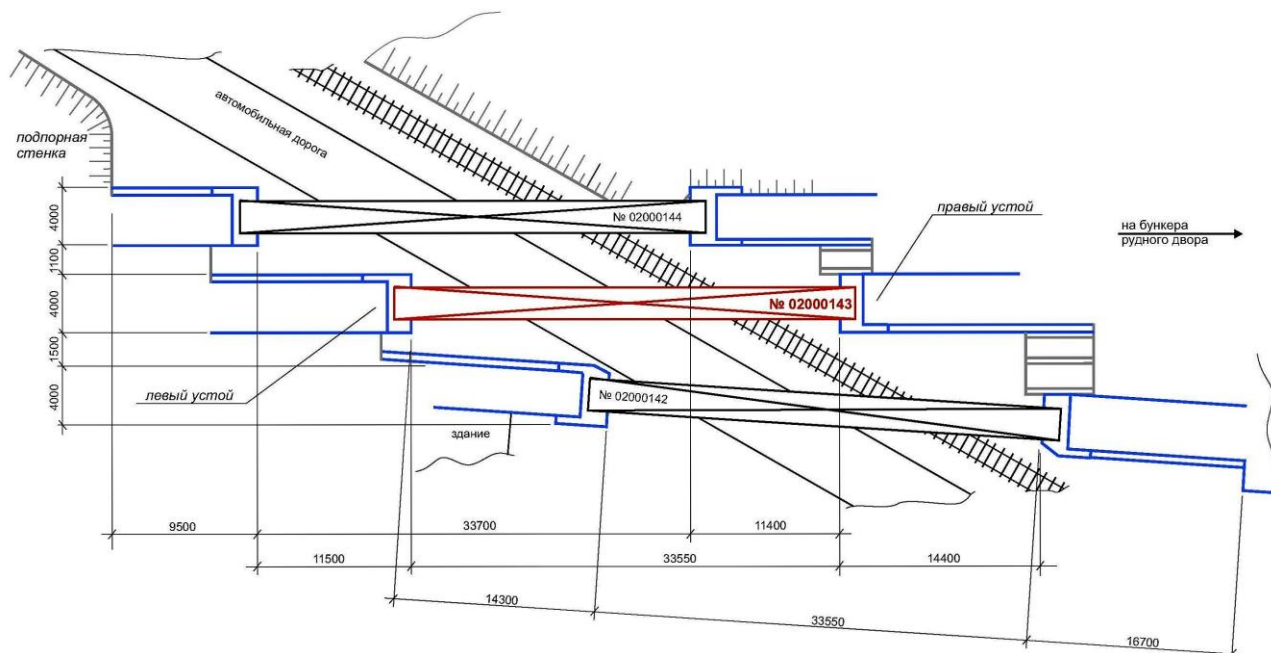


Рис. 2. Схема расположения путепровода в условиях заводской площадки

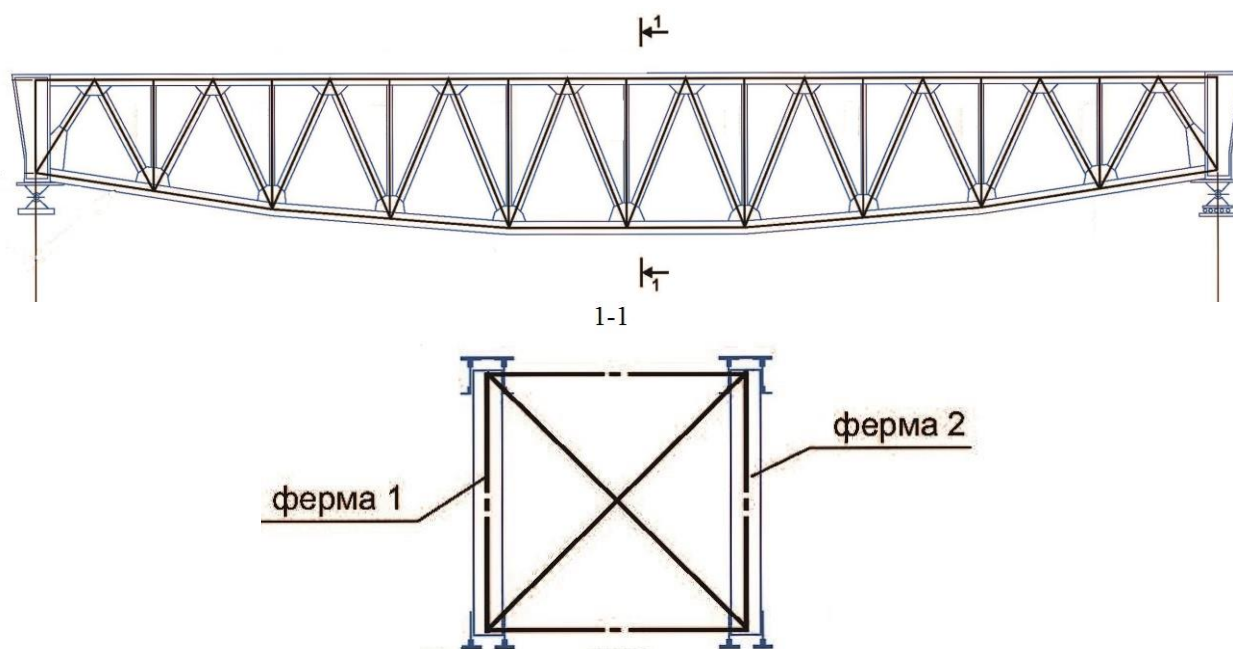


Рис. 3. Конструктивное решение сооружения железнодорожного путепровода



Рис. 4. Общий вид пролетного строения



Рис. 5. Ремонтное восстановление верхнего строения пути



Рис. 6. Коррозионное разрушение узлового соединения опорного участка

Рассмотрение результатов мониторинга технического состояния на этапе послеремонтного контроля спецификации вторичной защиты от коррозии (рис. 7), позволило выявить дефекты и повреждения, которые в период эксплуатации до выполнения ремонтно-восстановительных работ по объекту не превышали номинальных значений отклонений от проектных характеристик (табл. 2) [16].

Выводы. Рассмотрение результатов послеремонтного контроля спецификации вторичной защиты от коррозии позволило выявить дефекты и повреждения вторичной

защиты, которые в период ввода в эксплуатацию не превышали номинальных значений отклонений от проектных характеристик.

Отмечено, что представленные характеристики мер защиты от коррозии по критерию коррозионной опасности позволяют устанавливать требования проектных спецификаций к качеству и надежности металлоконструкций и их защитных покрытий на всех стадиях жизненного цикла строительных объектов. Использование норм, а также технических регламентов по противокоррозионной защите конструкций, внедренных на ряде предприятий

металлургического комплекса, создает благоприятные условия для обоснованной экономической оценки и управления рисками, увеличения межремонтных

сроков службы, своевременной диагностики коррозионного состояния и восстановления противокоррозионной защиты конструкций.

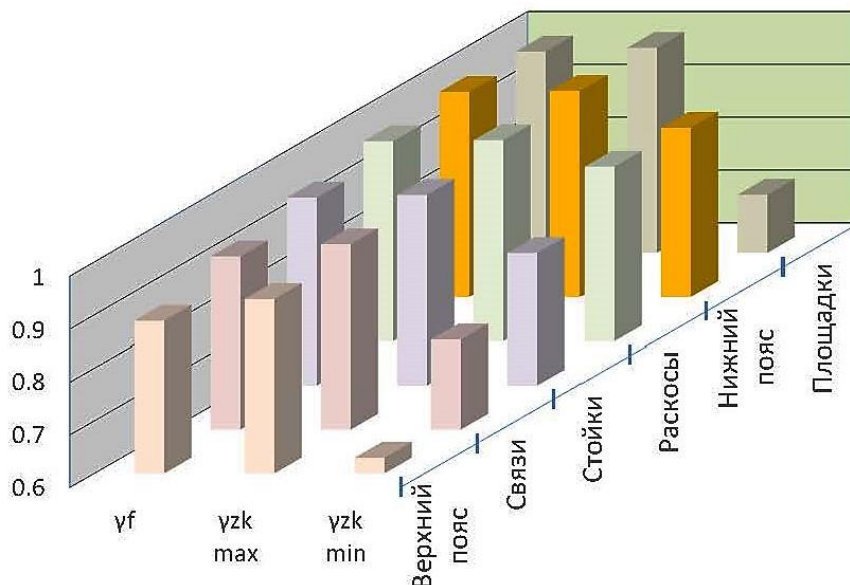


Рис. 7. Результаты мониторинга на этапе технической диагностики коррозионного состояния основных конструкций пролетного строения путепровода

Таблица 2
Требования к показателям надежности противокоррозионной защиты по критериям предельных состояний

Условия размещения	Конструктивное решение	Срок службы, год	Расчетные значения, γ_{zn}/γ_{zk}	Показатель потери качества, \bar{F}_e
Несущие фермы пролетного строения	Верхний пояс	60	0,93/0,63	0,528
	Связи	15	0,96/0,77	0,554
	Стойки	60	0,96/0,85	0,826
	Раскосы	60	0,98/0,93	0,846
	Нижний пояс	30	0,99/0,92	0,889
Верхнее строение пути	Площадки	10	0,99/0,71	0,902

Список использованных источников

1. Королёв, В.П. Теоретические основы инженерных расчетов стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность [Текст] / В.П. Королёв // Научн. труды. – Донецк: Донеччина, 1995. – Вып. 1-95. – С. 24.
2. Королёв, В.П. Реинжиниринг для обеспечения технологической безопасности конструкций зданий и сооружений [Текст] / В.П. Королёв, О.Б. Лотоцкий, Ю.В. Филатов // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2008. – № 2. – С. 26-33.

3. ДБН В.1.2-14-2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]. – К.: ВАТ "Укрінсталькон імені В.М. Шимановського". – 48 с.
4. Sørensen J. D. Codified Risk Based Inspection Planning. / Sørensen, John Dalsgaard; Faber, M.H. // *Structural Engineering International*. – Switzerland: International Association for Bridge and Structural Engineering. – Vol. 12, No. 3. – 2002. – p. 195-199.
5. Перельмутер, А.В. Стан та залишковий ресурс фонду будівельних конструкцій [Текст] / А.В. Прельмутер, В.М. Гордеев, Є.В. Горохов [та ін.]. – К.: Сталь, 2002. – 166 с.
6. Motoki Kato Development of Rational Design Technique for Frame Steel Structure Combining Seismic Resistance and Economic Performance / Motoki Kato, Masaki Shimono // *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*. – Vol. 52, No. 1. – 2015. – 14 p.
7. Vimani Y.P. Corrosion Inhibitors for New Bridges Members. / Y.P. Vimani // – Technical Note on Corrosion Protection Systems, Federal Highway Administration. Washington , DC, 1997. – 5 pp.
8. Korouš J. Probabilistic modelling of corrosion processes and inspections using SBRA concept. / Korouš Jan, Marek Pavel // In Proc. International Workshop: Risk based inspection and maintenance planning. Zurich : TU Zurich, 2001. – P. 67-74. – 2001.
9. Salmon, C.G. Steel Structures: Design and Behavior (5th Edition) / Salmon, C.G. and Johnson, J.E // U.S.A.: Prentice Hall. – 2008. – 888 p.
10. Лантух-Лященко, А.И Марковские модели накопления повреждений. Наука и искусство [Текст] / А.И Лантух-Лященко // *Промислове будівництво та інженерні споруди*. – 2009. – № 2. – С. 22-25.
11. Ealey L.A. Quality by Design: Taguchi Methods and Us Industry / L.A. Ealey. // *Industry 2nd ed.*, ASI Press and Irwin Professional Publishing. – 1994. – 298 p.
12. Cai F. Fatigue life analysis of crane k-type welded joints based on non-linear cumulative damage theory / Fuhai Cai, Xin Wang, Jiquan Liu, Fuling Zhao // *Strojníški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*. – 2014. – № 60(2014)2. – P. 135-144.
13. Korb, Lawrence J. Metals Handbook, Ninth Edition: Volume 13 - Corrosion / Lawrence J., Korb. – U.S.A: ASM International, 1997. – 3455 p.
14. Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection Volume 13A / Stephen D., Cramer, Bernard S., Covino// USA: ASM International. – 2006. – 1342 p.
15. Richardson, J. N. Robust topology optimization of truss structures with random loading and material properties: A multiobjective perspective / J. N. Richardson, Rajan Filomeno Coelho, Sigrid Adriaenssens // *Computers & Structures*. – Volume 154, 1. –USA: Elsevier. – 2015. – P. 41-47.
16. Holm, A. Inelastic Behavior of Materials and Structures Under Monotonic and Cyclic Load-ing / A. Holm, M. Brünig // *Advanced Structured Materials*. – Switzerland : Springer, 2015. – Vol. 57. – 261 p. – doi: 10.1007/978-3-319-14660-7.

Рецензент д-р техн. наук, професор В.П. Королёв

Гибаленко Олександр Миколайович, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри будівництва, технічної експлуатації та реконструкції, Приазовський державний технічний університет». Тел. (0629) 44-62-94. E-mail: alexgib@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2979-5225.

Коваленко Ганна Сергіївна, канд. техн. наук, доцент, кафедра будівництва, технічної експлуатації та реконструкції, Приазовський державний технічний університет». Тел. (0629) 44-61-94.

Трофимчук Тарас Сергійович, зав. лабораторією кафедри будівництва, технічної експлуатації та реконструкції, Приазовський державний технічний університет». Тел. (0629) 44-61-94. ORCID orcid.org/0000-0002-1051-4561.

Gibalenko Oleksandr Mykolayovych, CandSc, Head of Department, Department of Construction, Technical Operating and Reconstruction, Pryazovskyi State Technical University, vul. Universytets'ka 7, Mariupol 87500, Ukraine, tel.: +38 (0629) 44-62-94, email alexgib@yandex.ru, ORCID 0000-0003-2979-5225.

Kovalenko Anna Serhiyovna, CandSc, Department of Construction, Technical Operating and Reconstruction, Pryazovskyi State Technical University, vul. Universytets'ka 7, Mariupol 87500, Ukraine, tel.: +38 (0629) 44-61-94.

Trofymchuk Taras Serhiyovych, Head of Laboratory, Department of Construction, Technical Operating and Reconstruction, Pryazovskyi State Technical University, vul. Universytets'ka 7, Mariupol 87500, Ukraine, tel.: +38 (0629) 44-61-94.

Принята 24.03.2016 р.

УДК 666.63

**МЕТОД ЕЛЕКТРОКОНСОЛІДАЦІЇ (ЕЛЕКТРОСПІКАННЯ) ЯК
ВИСОКОЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД ДЛЯ КОМПАКТУВАННЯ НАНОПОРОШКІВ З
МЕТОЮ ОТРИМАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО
ТА КОНСТРУКЦІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Д-р техн. наук Е.С. Геворкян, канд. техн. наук В.О. Чишкала, асп. М.В. Кислиця

**МЕТОД ЭЛЕКТРОКОНСОЛИДАЦИИ (ЭЛЕКТРОСПЕКАНИЯ) КАК
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ДЛЯ КОМПАКТИРОВАНИЯ
НАНОПОРОШКОВ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО И КОНСТРУКЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Д-р техн. наук Э.С. Геворкян, канд. техн. наук В.А. Чишкала, асп. М.В. Кислиця

**ELECTROCONSOLIDATION METHOD (ELECTRIC SINTERING) AS A HIGHLY
EFFICIENT METHOD FOR THE COMPACTION OF NANOPOWDERS TO OBTAIN
COMPOSITE MATERIALS FOR INSTRUMENTAL AND STRUCTURAL PURPOSE**

Dr. of techn. sciences E.S. Gevorkyan, Ph.D. V.A. Chishkala, graduate st-t M.V. Kyslytsia

Надається опис способу отримання якісно нових композитних матеріалів інструментального та конструкційного призначення на основі нанопорошків оксиду алюмінію. Наводяться приклади створених нанокompозитних матеріалів, армованих волокнами (карбиду кремнію). Описуються переваги застосування електроспікання як методу для серійного виготовлення виробів з нанопорошків. Дається пояснення деяких особливостей процесу їх спікання.

Ключові слова: нанопорошки, сухе компактування, електроспікання, нанокераміки, розподіл щільності, графітова форма.

Приводится описание способа получения качественно новых композиционных материалов инструментального и конструкционного назначения на основе нанопорошков оксида алюминия. Приводятся примеры созданных нанокompозитных материалов, армированных волокнами (карбида кремния). Описываются преимущества применения электроспекания в качестве метода для серийного изготовления изделий из нанопорошков. Дается объяснение некоторых особенностей процесса их спекания.

Ключевые слова: нанопорошки, сухое компактирование, электроспекание, нанокерамики, распределение плотности, графитовая форма.

This paper describes a method for producing a qualitatively new composite materials for instrumental and construction purposes based on aluminum oxide nanopowders. The advantages of the use of ultrafine (nano) powders. Examples created nanocomposite materials which contain reinforcing elements in the form of fibers (silicon carbide). The advantages of using electroconsolidation direct passing current in the manufacture of ceramics for cutting and structural elements. The feasibility of using electroconsolidation by direct current passing, relying on its distinctive features. We describe the mass transfer processes, kinetics of growth since consolidation and direct current is passed through the compactability bulk. The advantages of hot-pressing by passing direct current compared with a conventional compression: decrease the sintering temperature, the density increase of up to 100% of the theoretical and the other. Presents the pictures derived nanocomposite structure containing reinforcing elements – fibers. An explanation of some of the features of the sintering process.

Keywords: nanopowders, dry compaction, electric sintering, nanoceramics, density distribution, the graphite form.

Вступ. Технологія створення нових керамічних матеріалів і нанокераміки включає розробку високоякісних порошків, в тому числі ультра- і нанодисперсних, для виробництва окисної і безкисневої кераміки зі стабільним хімічним, фазовим і гранулометричним складом, розробку нових видів армуючих елементів (ниткоподібних кристалів, волокон, мікросфер, дисперсних частинок); високоміцних термостійких композитних матеріалів, в тому числі нанокерамічних, на основі тугоплавких сполук нітридів, карбідів, оксидів і високопродуктивних екологічно чистих технологій отримання виробів, наукових основ проектування спеціалізованого технологічного обладнання з автоматизованою системою управління і контролю якості керамічних матеріалів і виробів і його виробництва. Нові керамічні матеріали, в тому числі нанокераміка і нанокомпозити, мають унікальні властивості і експлуатаційні характеристики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Провідні зарубіжні фірми протягом останніх років проводять великі НДДКР з розроблення і використання перспективних керамічних матеріалів в автомобільній, авіаційній, хімічній, електронній, металургійній промисловості,

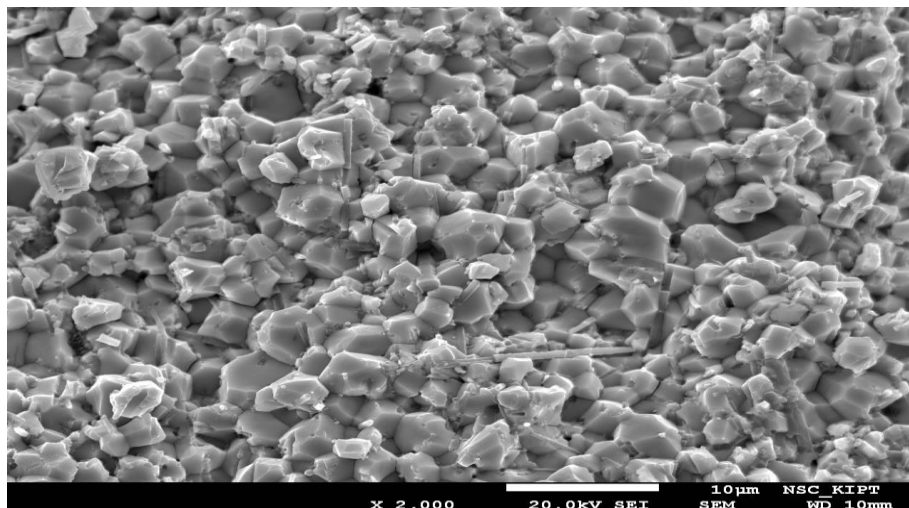
медицині. Багато робіт ведеться в рамках національних і міжнародних програм, значна частина яких фінансується відповідними державами (Аттар в США, "Місячне світло" в Японії, "Еврика" в Європі). Вже до 1995 року провідні фірми США, Японії, Німеччини вийшли на якісно новий рівень готовності до широкого впровадження керамічних деталей в серійні двигуни і організації їх масового виробництва. Якщо до 2000 року в США використовували 165 мільйонів керамічних деталей для автомобілів на суму 1 мільярд доларів, до 2020 року це число прогнозується до 800 мільйонів деталей на суму 12,5 мільярдів доларів. Основними напрямками розробок є хімічний синтез високочистої сировини, в тому числі ультра- і нанодисперсних порошків оксидів, карбідів, нітридів, а також армуючих елементів – волокон, ниткоподібних кристалів; ефективні технології формування, спікання, з'єднання і механічної обробки виробів.

Визначення мети та задачі дослідження. З огляду на перспективність створення виробів з нанокомпозитних матеріалів, нами проводяться дослідження з одержання виробів на основі різних нанопорошків оксиду алюмінію, оксиду

цирконію, карбїду вольфраму, карбїду кремнію. На жаль, в даний час поки немає вітчизняного серійного виробника подібного роду субмікронних і нанопорошків. Нами були проведені дослідження з гарячого пресування методом прямого пропускання струму порошків від різних виробників [1, с.162]. Проведені дослідження дозволили отримати матеріали з новим рівнем фізикомеханічних властивостей, при цьому знизити температуру спікання і час витримки, що дозволяє інтенсифікувати процес отримання матеріалів за рахунок швидкості підйому температури, самої температури спікання і часу витримки. При цьому пригнічується ріст зерна, що в кінцевому результаті сприятливо позначається на фізико-механічних характеристиках отриманих матеріалів. Численними дослідженнями встановлено, що наноструктурна кераміка має унікальні властивості і експлуатаційні характеристики внаслідок формування принципово іншої структурної ієрархії в порівнянні з крупнокристалічними аналогами [2, с. 41; 3, с. 4]. Нанометрові і субмікронні розміри структурних елементів (зерен, агрегатів) обумовлюють підвищену тріщиностійкість (ударну в'язкість), міцність і твердість кераміки, композитів і потенційно дозволяють досягти параметрів "керамічної сталі". У функціональній нанокераміці (п'єзо-, сегнето-, діелектричної, надпровідної і ін.) поліпшуються електрофізичні, магнітні та інші властивості. У зв'язку з цим досить актуальною є задача розробки конкурентоспроможних технологій виготовлення виробів різного призначення з наноструктурної кераміки. Найважливішою стадією технології виготовлення нанокераміки є формування якісних пресувань (компактів) заданої форми з керамічних нанопорошків. Нанопорошки керамічних складів (часто дуже складних) мають метастабільний структурно-фазовий стан, розвинуту питому поверхню і внаслідок цього високу

поверхневу активність, схильність до агломерування. Метод компактування нанопорошків електроспіканням забезпечує рівномірний розподіл щільності в пресуваннях складної форми без застосування будь-яких пластифікаторів, які є потенційними джерелами домішок і додаткової пористості в виробках, які спікаються. У пресуваннях мінімізуються внутрішні напруги і макродефекти (розшарування, тріщини і т.п.), тим самим виключаються зародки виникнення таких макродефектів і при спіканні пресувань нанокompозитів. Економічна ефективність результатів досліджень полягає в підвищенні якості та експлуатаційних характеристик виробів (пластичності і твердості разом з міцністю, зносостійкості, рівномірності щільності, електрофізичних властивостей і т. п.) внаслідок формування наноструктури в спеченій кераміці, виключення пластифікаторів в технології, в підвищенні економічності технологічного процесу за рахунок застосування серійного обладнання, скорочення числа операцій, енерго- і трудомісткості процесу. Застосування методу отримання виробів з ультрадисперсних порошків з розміром зерна 0,1-0,2 мкм прямим пропусканням струму дозволяє отримати високощільні матеріали, як з електропровідних порошків, так і з діелектричних.

Основна частина дослідження. Були проведені експерименти отримання інструментальних ріжучих пластин на основі ZrO₂-SiC (волокна) (рисунок). Спікання проводили в графітових формах при температурі 1600°C і тиску 30 МПа. Весь процес нагріву займає 8-10 хв, тобто швидкість підйому температури становила 150-200°C/хв. Твердість отриманих зразків HRA 91-94, тріщиностійкість $K_{Ic} = 8-10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, що говорить про те, що даний матеріал не поступається найбільш популярній інструментальній кераміці ВОК 71 (7% Al₂O₃; 21% TiC; 9% ZrO₂), яка отримується звичайним способом гарячого пресування індукційним нагріванням.



Структура кераміки, отриманої електроконсолідацією нанопорошків при температурі 1600°C і тиску 30 МПа

Були проведені дослідження ріжучих властивостей цих матеріалів при обробці сталі У8 з твердістю HRC 54-56. Як відомо, однією з особливостей спікання тугоплавких сполук є низька дифузійна рухливість, яка ускладнює досягнення необхідної для інструментальної кераміки нульової пористості [4, с.34]. Зазвичай для активації спікання тугоплавких сполук використовують різні активатори. У разі хімічного активування вводяться різні добавки, які створюють рідку фазу. Цей процес має ряд особливостей і не завжди доцільний при виготовленні інструментальної кераміки у зв'язку з тим, що рідка фаза знижує твердість і зносостійкість матеріалу. Застосування гарячого пресування при отриманні оксидної кераміки дозволяє знизити температуру спікання і отримати матеріал з щільністю, близькою до теоретичної. Наприклад, з глинозему різних марок без добавок і з добавкою 0,2-0,4 % MgO при тиску 50 МПа і температурах 1700°C можуть бути отримані зразки з щільністю 98,5-99,5 % [7, с. 52-67]. При звичайному спіканні така щільність виходить при температурі 1800-1900°C. У нашому ж

випадку електроспікання вже при 1400°C виходить 100 %-а щільність.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Відомо, що спікання оксиду алюмінію відбувається під впливом таких механізмів масопереносу: в'язкої течії, пластичної деформації, випаровування-конденсації, об'ємної, зернограничної і поверхневої дифузії [5, с. 56]. При гарячому пресуванні основними механізмами ущільнення кераміки на кінцевому етапі є пластична деформація і дифузія. У разі електроспікання (електроконсолідації) нанопорошків цей процес дещо відрізняється. Щільність електричного струму більше в районі великих пор. Це створює градієнт температури, що призводить до утворення градієнта вакансій. Там, де великі пори, відповідно і більше вакансій. Вакансії у свою чергу дифундують від великих пор у бік менших, що призводить до скорочення великих пор. Даний процес протилежний випадку звичайного спікання, коли великі пори ростуть за рахунок маленьких. Найважливішим параметром, що впливає до певної межі на процес спікання оксиду алюмінію, є температура. Електроспікання

дозволяє отримати щільний матеріал при більш низьких температурах, що перешкоджає росту зерна [6, с.1]. Зазвичай процес гарячого пресування супроводжується двома процесами: ущільненням і зростанням зерна. Тиск в цьому випадку сприяє значному прискоренню усадки, але практично мало впливає на кінетику росту зерна. Порошки неметалічних тугоплавких сполук мають деякі кристалохімічні особливості. Маючи переважно іонний або ковалентний хімічний тип зв'язку, вони утворюють енергетично міцні кристалічні структури, що визначають їх високу теплову стійкість, твердість, міцність, модуль пружності, низький температурний коефіцієнт розширення. Ця енергетична стабільність атомів в кристалічних решітках визначає їх низьку дифузійну рухливість. Ця обставина

дуже сильно впливає на процеси масопереносу при спіканні порошків, уповільнює усадку і перешкоджає формуванню міжчасткових контактів. При проходженні струму між частинками порошків виникають електричні розряди, це призводить до очищення їх поверхні від різних домішок і утворення міцного зв'язку між частинками порошків. Висока чистота порошку, його вузький гранулометричний склад підвищують однорідність мікроструктури, дозволяють спікатися матеріалу і підвищення температури призводить до катастрофічного зростання зерна. Таким чином, проведені експерименти з отримання зносостійких ріжучих матеріалів на основі нанопорошків оксиду алюмінію і цирконію дозволяють отримати інструментальний матеріал з високими ріжучими властивостями.

Список використаних джерел

1. Геворкян, Э.С. Некоторые особенности получения износостойких материалов на основе нанопорошков тугоплавких соединений [Текст] / Э.С. Геворкян // Вестник НТУ «ХПИ». Сб. научн. тр. Тем-й вып. Технология машиностроения. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2004. – №44. – С. 161-164.
2. Хасанов, О.Л. Построение кривых уплотнения керамических порошков на основе однопараметрического уравнения прессования [Текст] / О.Л. Хасанов, Э.С. Двилис, В.М. Соколов // Огнеупоры и техническая керамика. – 2001. – №1. – С. 40-44.
3. Хасанов, О.Л. Субмикроструктура и свойства конструкционной, пьезо- и сегнетокерамики, изготовленной методом сухого ультразвукового компактирования нанопорошков [Текст] / О.Л. Хасанов // Конструкции из композиционных материалов. – 2001. – №4. – С. 3-10.
4. Скороход, В.В. Порошковые материалы на основе тугоплавких металлов и соединений [Текст] / В.В. Скороход. – К.: Техника, 1982. – 166 с.
5. Тонкая техническая керамика [Текст] / под ред. Х. Янагида. – М.: Металлургия, 1986. – 278 с.
6. Melnik O. The obtaining of high-density specimens and analysis of mechanical strength characteristics of a composite based on ZrO_2 -WC nanopowders / O. Melnik, V. Chishkala // *Nanoscale Research Letters*. – 2014. – 9:355. – ISSN: 19317573, 1556276X.
7. Sirota V. Synthesis and consolidations of $(Zr_{0.94}Y_{0.06})O_{1.88}$ nanopowders / V. Sirota, V. Ivanisenko, I. Pavlenko, E. Gevorkyan, V. Chishkala, M. Kovaleva // *Ceramics International*. – 2015. – 41. – p. 5263-5269. – ISSN: 02728842.

Геворкян Едвін Спартакович, д-р техн. наук, професор кафедри якості, стандартизації, сертифікації та технології виготовлення матеріалів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)733-11-20.

Чишкала Володимир Олексійович, канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалів реакторобудування Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Тел.: (057)335-38-00. E-mail: vchishkala@ukr.net.
Кислиця Максим Валерійович, аспірант кафедри якості, стандартизації, сертифікації та технології виготовлення матеріалів Українського державного університету залізничного транспорту.
Тел.: (057)733-11-20.

Chyshkala Vladimir Alexeyevich Candidate of Techn. Sciences, docent oh the department of "Materials of reactor", V. N. Karazin Kharkiv National University. Tel.: (057)335-38-00. E-mail: vchishkala@ukr.net.
Gevorkyan Edvin Spartakovich Dr. Techn. Sciences, professor of the department of "Quality, standardization, certification and manufacturing techniques of materials", Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)733-11-20.

Kyslytsia Maksym Valeriyovych graduate student of the department of "Quality, standardization, certification and manufacturing techniques of materials", Ukrainian State University of Railway Transport.
Tel.: (057)733-11-20.

Прийнята 24.03.2016 р.

УДК 656.025.2

ЩОДО ВСТАНОВЛЕННЯ ВПЛИВУ СТОХАСТИЧНИХ КОЛИВАНЬ ОБ'ЄМІВ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ НА ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІСЬКОГО АВТОБУСНОГО МАРШРУТУ

Д-р техн. наук Ю.О. Давідіч, асист. О.Є. Доля

ОБ УСТАНОВЛЕНИИ ВЛИЯНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ОБЪЕМОВ ПЕРЕВОЗОК ПАССАЖИРОВ НА ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРОДСКОГО АВТОБУСНОГО МАРШРУТА

Д-р техн. наук Ю.А. Давидич, ассист. Е.Е. Доля

ABOUT SATTING OF THE INFLUENCE STOCHASTIC OSCILLATIONS VOLUME OFPASSENGER ON THE BASIC PARAMETERS EFFECIENCY OF FUNCTIONING OF CITI BUS ROUTES

Doctor of Technical Sciences Y. Davidich, research assistant O. Dolya

У статті досліджено питання щодо впливу стохастичності об'ємів перевезень пасажирів на міських маршрутах загального користування на основні показники ефективності маршруту із закупівлі автобусів. Викладено прогнозовані результати функціонування маршруту в періоді часу, що забезпечено створенням відповідного програмного продукту.

***Ключові слова:** пасажир, вірогідність, витрати, об'єми перевезень.*

В статье исследован вопрос о влиянии стохастичности объемов перевозок пассажиров на городских маршрутах общего пользования на основные показатели маршрута по закупке автобусов. Изложены прогнозируемые результаты функционирования маршрута в периоде времени, что обеспечено разработкой соответствующего программного продукта.

***Ключевые слова:** пассажир, вероятность, расходы, объемы перевозок.*

The paper studied the communication of stochastic volumes of transportation of passengers on city routes of common use and main performance indicators of the project for the purchase of buses. In the article sets out the expected results of the project functioning in the period of time that was ensured the by the corresponding software.

Keywords: passenger, likely costs, traffic volumes.

Вступ. Середовище має в собі сукупність факторів, які впливають на маршрут у часі й мають враховуватись у системі управління процесом [1].

Виникнення ризиків у системах управління пов'язують саме із нестабільністю зовнішнього середовища, що має свій прояв у згаданих маршрутних відхиленнях. Слід зазначити, що такі маршрутні відхилення не є постійними у часі [1, 2].

У детальнішому розгляді обставин виникнення ризиків із зовнішнього середовища науковці виділяють такі:

1. Неповна інформація (недостовірна).
2. Недостатня здатність керівників у сприйнятті та обробленні інформації.
3. Випадковість виникнення небажаних обставин.
4. Протидії конкурентів.

Також не хestують й ризиками, пов'язаними із ресурсами маршруту, а саме: фінансовий, матеріальний, трудовий й часовий ресурси [1].

Запропоновано вважати, що об'єктом системи управління ризиками є сам ризик, який втілює у собі поєднання вірогідності настання ризику та прогнозування його наслідків. При цьому науковці схильні розглядати ризик як підставу для настання небажаного відхилення від прогнозованого результату [3-5].

Однак термін «ризик» використовується для опису негативного впливу на показники від реалізації проекту, не враховуючи вірогідність настання стану середовища системи управління маршрутом, в якому показники здобудуть кращі від очікуваних результати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У маршруті із закупівлі

транспортних засобів одним із показників маршруту є дохід, отриманий від транспортної роботи [6]. На даному етапі для маршруту об'єм перевезених пасажирів є одним з фінансових ресурсів, який є обмеженим особливостями середовища, в якому функціонує маршрут. При цьому відсутність фінансового ресурсу у запланованих кількісних показниках може призвести до погіршення показників маршруту. У найгіршому випадку нестаток фінансового ресурсу може призвести до недоцільності провадження маршруту, це пов'язано із виходом часу настання періоду окупності за межі часового обмеження існування маршруту.

Автором [6] наведено загальні принципи інвестиційного процесу щодо маршруту автотранспортного підприємства, визначено можливість вибору моделі транспортного засобу за принципом порівнянь показників інвестиційних маршрутів для різних транспортних засобів.

Однак часовий ресурс маршруту в системі з надання послуг з перевезень транспортним засобом є обмежений максимальним періодом експлуатації самого транспортного засобу. У порівнянні із іншими видами транспортних засобів автомобільний має найменший ресурс використання, що призводить до найменших часових ресурсів маршруту саме на автомобільному транспорті. Тому при виборі марки транспортних засобів потрібне врахування впливу не тільки економічних показників маршруту, а й часового ресурсу.

Планування закупівлі транспортних засобів для обслуговування потреб населення із переміщення на маршрутах

загального користування потребує фінансового, трудового та часового ресурсів [6].

У системі міського пасажирського транспорту об'єми прогнозованих перевезень пасажирів й часовий розподіл цього об'єму є базою для прийняття низки першочергових рішень. Так, саме від об'єму пасажирів й його розподілу залежить показник кількості транспортних засобів, тип транспортних засобів та їх розклад руху [7].

Можливості в прогнозуванні об'ємів перевезень пасажирів надають змогу в проведенні розрахунків кількості транспортних засобів, а маршрути формуються за методами наведеними авторами [8-10]. За результатами опрацювання сучасних методик із розрахунку потрібної кількості транспортних засобів для обслуговування маршруту встановлено, що кількість транспортних засобів є залежністю від об'ємів перевезень, а самі об'єми перевезень встановлюються за допомогою методів, які припускають існування вірогідності зміни об'ємів перевезень як більш, так і в менший бік у кількісному відображенні [7].

При цьому в роботі [7] визначено, що об'єм перевезених пасажирів є показником, що прямо впливає на пробіг транспортного засобу за період часу. У цій праці також визначено, що загальний пробіг транспортного засобу прямо впливає на кількісний показник основних змінних витрат підприємства на виконання транспортної роботи.

Наведене доводить, що об'єм перевезених пасажирів за період часу є ресурсом маршруту, який впливає не лише на грошові потоки, а й відіграє важливу роль протягом реалізації маршруту в часі.

Визначення мети та задачі дослідження. З метою можливості прогнозування змін в основних показниках функціонування маршруту підприємства запропоновано застосовувати розроблення алгоритму розрахунку параметрів маршрутів міських пасажирських перевезень.

Використовуючи запропоновані підходи до розрахунку маршрутних параметрів міських пасажирських перевезень, забезпечити виконання таких основних етапів:

I етап – визначення параметрів закону розподілу обсягів перевезень;

II етап – визначення експлуатаційних характеристик роботи на маршруті;

III етап – визначення витрат, пов'язаних з роботою транспортних засобів на маршруті;

IV – визначення основних зборів, пов'язаних із перевізним процесом;

V – визначення оцінних показників функціонування пасажирського маршруту.

Основна частина дослідження. Для реалізації розробленого алгоритму розрахунку параметрів маршрутів міських пасажирських перевезень було написано програмний продукт у середовищі Borland C++.

При розробленні програми розрахунку параметрів маршрутів міських пасажирських перевезень (рис. 1) вихідні дані було розподілено на три групи:

1) характеристики маршруту (рис. 2);

2) параметри автотранспортного підприємства (рис. 3);

3) характеристики автобуса (рис. 4).

Для пояснення побудовання характеристик кожної із груп використовуємо табличну форму запису (див. таблицю).

Головною характеристикою маршруту є об'єм перевезень i , як з'ясувалося раніше, дуже важливим є його коливання протягом часу функціонування маршруту. Для врахування коливань об'єму перевезень у програмі було розроблено окремий модуль. Це дає змогу без зміни значення середнього об'єму перевезень, у межах $\pm 3\sigma$, проводити дослідження зміни параметрів маршрутів.

У свою чергу експериментальні дослідження показали, що середньоквадратичне відхилення об'ємів перевезень коливається в межах 1-10 %.

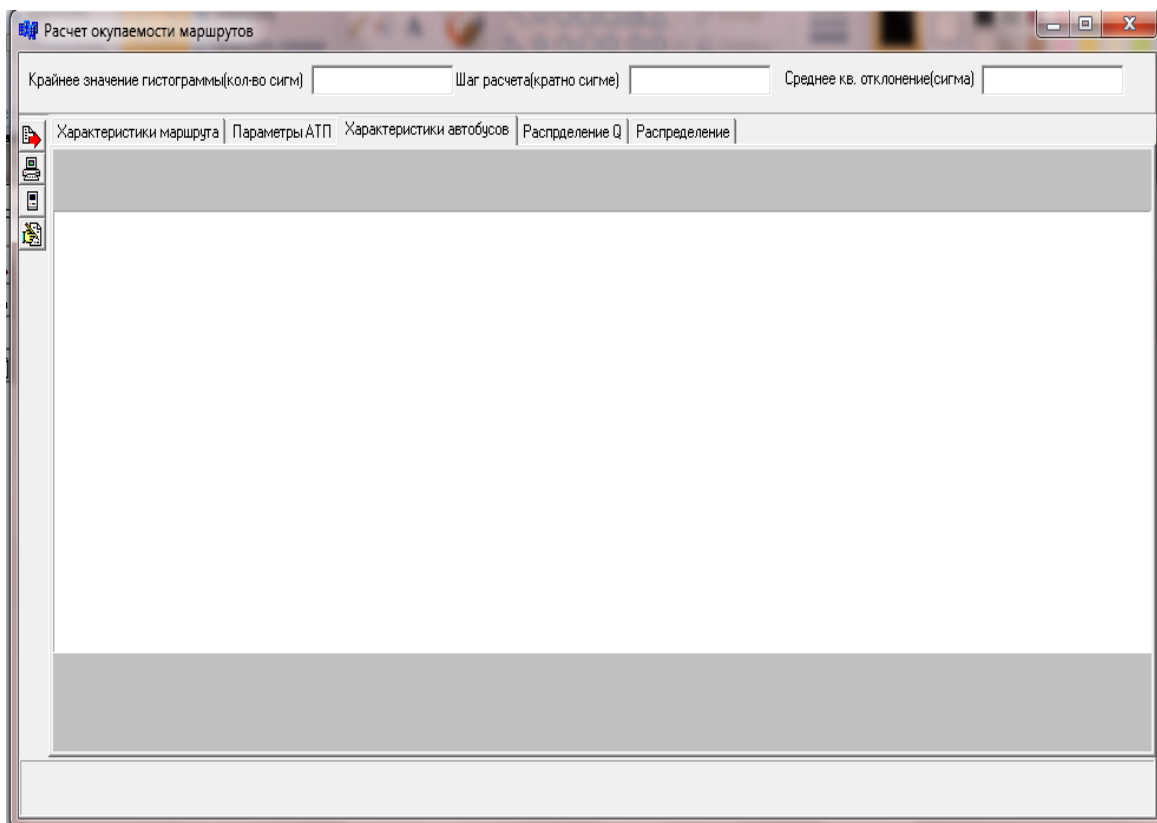


Рис. 1. Загальний вигляд програми розрахунку параметрів маршрутів міських пасажирських перевезень

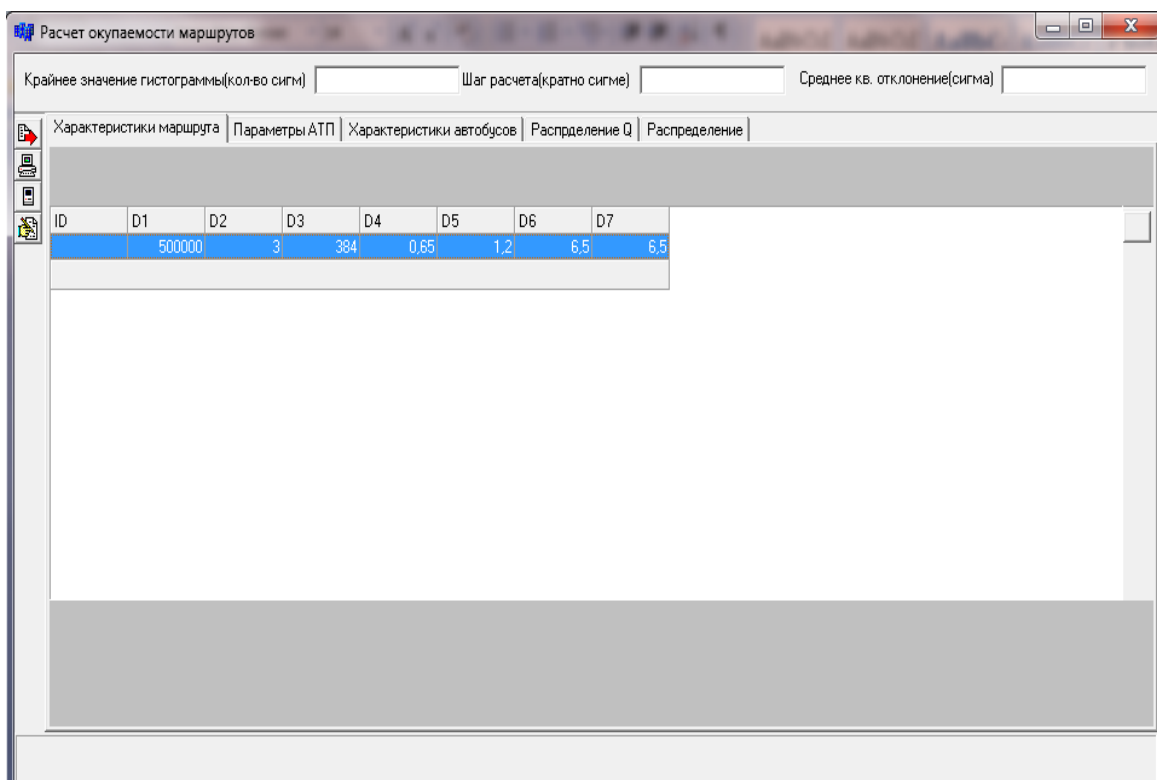


Рис. 2. Характеристики маршруту

ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17
	241	0,9	3000	100	5,6	1,03	1,02	15	10	1,5	2000	37,5	20	0,167	25	25	5,83

Рис. 3. Параметры автотранспортного підприємства

ID	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14
	18	2000	201000	1000	2000	12,4	0,01	0,001	84	1,06	550	6	25	60

Рис. 4. Характеристики автобуса

Таблиця

Кодування характеристик маршруту, автотранспортного підприємства та автобуса

Код	Назва характеристики	Одиниці виміру
D1	Об'єм перевезень	пас.
D2	Тариф	грн
D3	Максимальний пасажиропотік на перегоні	пас.
D4	Час обороту	год
D5	Коефіцієнт зміни доходів у вихідний день	-
D6	Сумарний нульовий пробіг	км
D7	Довжина маршруту	км

Зміна ймовірності очікуваного фінансового результату наведено на рис. 5.

При цьому розподіл очікуваного фінансового результату при середньоквад-

ратичному відхиленні $\sigma = 2\%$ наведено на рис. 6, де найбільший очікуваний фінансовий результат в 11385952,52 гривні очікується у 13 кварталі.

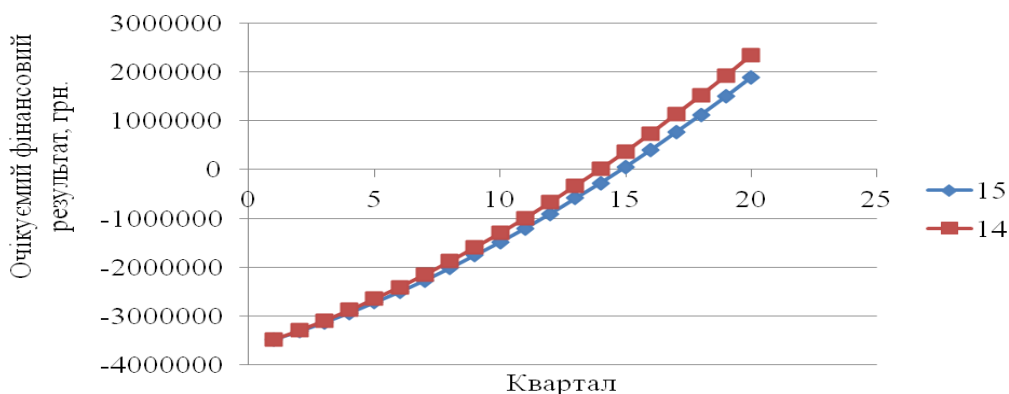


Рис. 5. Графік зміни очікуваного фінансового результату при середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 1\%$

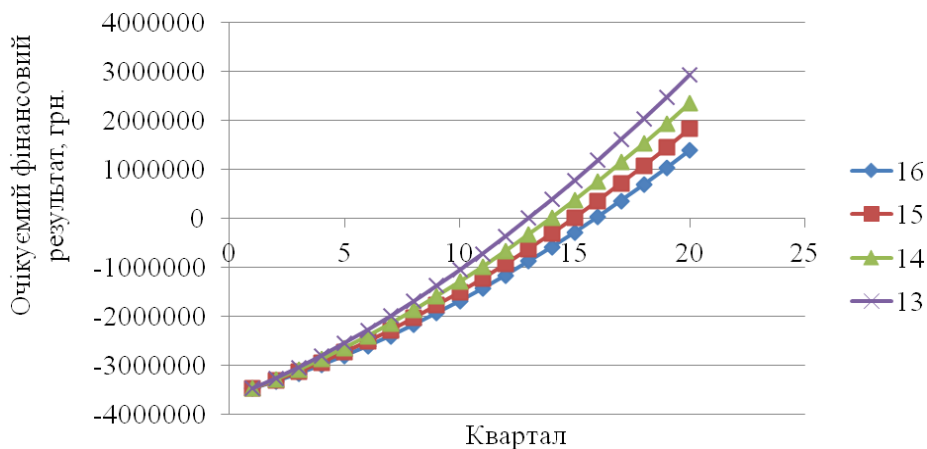


Рис. 6. Графік зміни очікуваного фінансового результату при середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 2\%$

Зміна середньоквадратичного відхилення $\sigma = 3\%$ призводить до розширення діапазону ймовірності окупності маршруту на 7 кварталів при цьому максимальне значення ймовірності у 14 кварталі становитиме 35 %, а найбільший

очікуваний фінансовий результат у сумі 15900325,49 гривні очікується у 18 кварталі (рис. 7).

Графік зміни очікуваного фінансового результату при середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 4\%$ наведено на рис. 8.

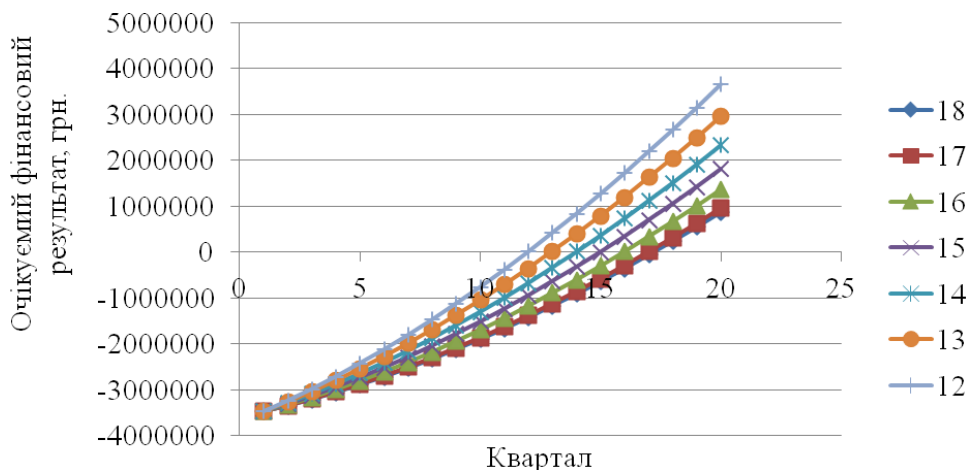


Рис. 7. Графік зміни очікуваного фінансового результату при середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 3\%$

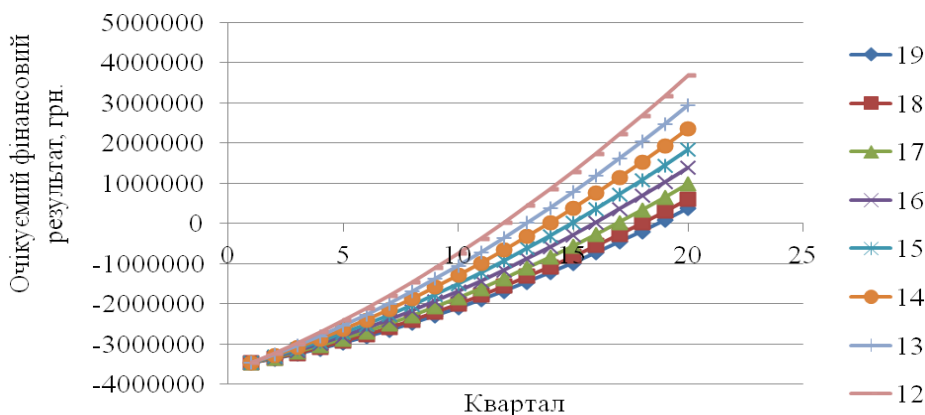


Рис. 8. Графік зміни очікуваного фінансового результату при середньоквадратичному відхиленні $\sigma = 4\%$

Таким чином, наведені закономірності впливу стохастичності об'ємів перевезень пасажирів на зміну ймовірності окупності маршруту та очікуваного фінансового результату дають змогу оцінити можливі ризики при експлуатації транспортного засобу на маршруті.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Використовуючи алгоритм розрахунку параметрів маршрутів міських пасажирських перевезень, було розроблено відповідний програмний продукт у середовищі Borland C++. Це дало змогу

отримати закономірності зміни таких оцінних показників, як ймовірність окупності маршруту та очікуваний фінансовий результат залежно від зміни параметрів маршруту, автотранспортного підприємства та автобуса.

Список використаних джерел

1. Балашов, А.И. Управление маршрутами: учебник для бакалавров [Текст] / А.И. Балашов, Е.М. Рогова, М.В. Тихонова; под ред. Е.М. Роговой. – М.: Изд-во «Юрай», 2013. – 383 с.
2. Ципес, Г.Л. Менеджмент маршрутов в практике современной компании [Текст] / Г.Л. Ципес, А.С. Товб. — М.: Олимп- Бизнес, 2006. – 29 с.
3. Королькова, Е.М. Риск-менеджмент: управление маршрутными рисками [Текст]: учеб. пособие для студ. экон. спец. / Е.М. Королькова. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 160 с.
4. Покровский, А.К. Риск-менеджмент на предприятиях промышленности и транспорта [Текст]: учеб. пособие / А.К. Покровский. – М. : КНОРУС, 2014. – 160 с.
5. Бугрова, С.М. Риск-менеджмент [Текст]: учеб. пособие / С.М. Бугрова, Н.М. Гук; [Кемеровский технологический институт пищевой промышленности]. – Кемерово, 2005. – 132 с.
6. Воркут, Т.А. Маршрутний аналіз [Текст]: навч. посібник / Т.А. Воркут. – К.: Укр. центр духовної культури, 2000. – 428 с.
7. Доля, В.К. Методы организации перевозок пассажиров в городах [Текст] / В.К. Доля. – Харьков: Основа, 1992. – 144 с.
8. Bellman, R. On a Routing Problem [Text] / R. Bellman // Quarterly of Applied Mathematics. 1958. – Vol. 16, No. 1. – P. 87-90.
9. Dijkstra, E.W. A note on two problems in connexion with graphs [Text] / E. W. Dijkstra // Numerische Mathematik. – 1959. – 1 №5. – P.269-271.
10. Ford L. R. Jr., D. R. Fulkerson. Flows in Networks [Text] / L. R. Ford Jr., D. R. Fulkerson. – Princeton : Princeton University Press. 1962. – 216 p.

Давідич Юрій Олександрович, д-р техн. наук, професор кафедри транспортних систем і логістики Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова.
Тел.: (057) 707-32-61.

Доля Олена Євгенівна, асистент кафедри управління маршрутами в міському господарстві і будівництві Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова.
Тел.: (057) 707-32-61. E-mail: E.Dolya@list.ru.

Davidich Yuri, Doctor of Technical Sciences, Professor of Transport Systems and Logistics department, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv.
Olena Dolya, research assistant of Project Management in Municipal Economy and Construction, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. E-mail: E.Dolya@list.ru.

Прийнята 25.03.2016 р.

УДК 656.13

МАТЕМАТИЧНА ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ МІСЬКИМ ТРАНСПОРТОМ

Д-р техн. наук І.В. Чумаченко, асп. Н.В. Давідіч

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ ГОРОДСКИМ ТРАНСПОРТОМ

Д-р техн. наук И.В. Чумаченко, асп. Н.В. Давидич

MATHEMATICAL FORMALIZATION OF PASSENGERS URBAN TRANSPORT PARAMETERS QUALITY

Doct. of techn. science I. Chumachenko, post-graduate student N. Davidich

Проведено аналіз параметрів якості транспортного обслуговування пасажирів міським транспортом. Математично формалізовано комплексний показник якості міського пасажирського транспорту. Визначено, що зміна часу простою пасажирів у транспортному засобі на зупинному пункті маршруту з достатньою точністю описується нелінійним регресійним рівнянням, в якому як змінні використовуються кількість та ширина дверей, пасажирообмін зупинок, коефіцієнт використання місткості.

Ключові слова: пасажир, перевезення, якість, модель, технологія, транспорт, час очікування, зупинний пункт.

Проведен анализ параметров качества транспортного обслуживания пассажиров городским транспортом. Математически формализован комплексный показатель качества городского пассажирского транспорта. Определено, что изменение времени простоя пассажиров в транспортном средстве на остановочном пункте маршрута с достаточной точностью описывается нелинейным регрессионным уравнением, в котором в качестве переменных используются количество и ширина дверей, пассажирообмен остановок, коэффициент использования вместимости.

Ключевые слова: пассажир, перевозка, качество, модель, технология, транспорт, время ожидания, остановочный пункт.

In this paper it is discussed the issues of assessing the public transport services quality. The main purpose of the research is mathematical formalization of transportation passengers' quality parameters. It is analyzed the transport service of public transport passengers' quality parameters. It has been found that the main indicator of the quality parameters of a trip passengers. Mathematically it is formalized a comprehensive index of quality of urban passenger transport, taking into account the importance of the quality indicators of the passengers when the trip itinerary. It is used the statistical methods to assess complex objects which allows take into account the stochastic transport process in the process of development of urban transport projects. It is demonstrated the technique of carrying out full-scale survey of passengers travel options. It has been determined that a change in downtime of the vehicle on the stopping point of the route with sufficient accuracy by the nonlinear regression equation which is used as a variable number and width of doors in a vehicle, the utilization rate of the vehicle capacity. This makes it possible to assess the various options for urban transport projects in the interests of transport companies and

passengers. The research results can be applied by experts in the field of passenger transportation in the urban project management report.

Keywords: passenger, freight, quality, model, technology, transportation, waiting time, the stopping point.

Вступ. Однією з найважливіших складових міської інфраструктури, без якої неможливе нормальне існування сучасного великого міста, є міська пасажирська транспортна система. Міський пасажирський транспорт загального користування є найважливішою складовою життєдіяльності міста, основною задачею якого є своєчасне, якісне та повне задоволення потреб у перевезеннях пасажирів. Він є одним з важливих чинників забезпечення життєдіяльності населення України. На його частку припадає більше 85-90 % усіх перевезень у містах [1]. Ефективна і надійна робота міського пасажирського транспорту є найважливішим чинником соціально-економічної стабільності. В кризовій ситуації сьогодення необхідним є підвищення швидкості сполучення і комфортності поїздок з урахуванням платоспроможності населення. Якість надання послуг міським пасажирським транспортом багато в чому визначає забезпечення трудової діяльності, культурного розвитку та відпочинку населення.

Існуючий рівень пасажирських перевезень не відповідає сучасним вимогам, що ставляться до якості перевезення пасажирів. При цьому часто не забезпечується передбачений нормами час поїздок, що пояснюється низькими швидкостями сполучення основними видами міського пасажирського транспорту, необхідністю виконувати пересадки з причини недосконалої маршрутної мережі та витратами часу на підходи до зупинних пунктів [2]. Перевезення пасажирів міським пасажирським транспортом має здійснюватися з найбільшими зручностями, безпечно і з можливо меншою витратою

часу на поїздки. Це потребує проектування якості транспортного обслуговування мешканців міста. Управління якістю складається з процесів, які гарантують, що продукт проекту, а також сам проект задовольнятимуть ті потреби учасників, заради яких він створювався. Управління якістю в сучасних проектах здійснюється на всіх стадіях і охоплює всі його сторони [3]. Якість обслуговування пасажирів, які користуються міським пасажирським транспортом, є важливою соціальною і економічною задачею для кожного міста.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення якості пасажирських перевезень у системі міського пасажирського транспорту – один з найважливіших напрямків, поставлених перед потребами суспільства у галузі транспорту [4-6]. Оцінку якості пасажирських перевезень на міському пасажирському транспорті, на думку дослідників, необхідно проводити для того, щоб можна було вирішити такі задачі, як визначення та уточнення вимог до якості перевезень для даного міста на основі систематичного вивчення підвищення вимог до якості та досягнення у галузі управління якістю, розроблення організаційно-технічних заходів з удосконалення транспортного виробництва на усіх ділянках з метою досягнення установлених нормативів якості, контроль за реалізацією розроблених заходів та залучення системи управління якістю перевезень пасажирів на міському пасажирському транспорті.

На думку дослідників, одним з найбільш суттєвих критеріїв оцінки якості транспортного обслуговування населення є загальні витрати часу жителів на пересування від початкового пункту до кінцевого [7]. Інші дослідники додатково

характеризують якість роботи міського пасажирського транспорту коефіцієнтом випуску засобів транспорту на лінію, коефіцієнтом наповнення, коефіцієнтом використання часу в наряді, швидкістю сполучення, інтенсивністю руху, інтервалом руху, коефіцієнтом регулярності, показником ефективності обслуговування, коефіцієнтом ефективності витрат, узагальненим показником якості роботи [2, 4, 8, 9]. Також науковці враховують тяжкість дорожньо-транспортних пригод [10].

До середини 90-х років минулого століття дослідниками як основний показник якості використовувався коефіцієнт якості, який визначається як відношення величини витрат часу на поїздку за заданих теоретично абсолютно комфортних умов поїздки до фактичних витрат часу на поїздку в реальних умовах [11]. На додаток до цього науковці у своїх роботах [12] рекомендують визначати показник якості транспортного обслуговування в містах з урахуванням нормативу часу, що витрачається пасажиром на поїздку; часу, що фактично витрачається пасажиром на поїздку; нормативного коефіцієнта наповнення; фактичного значення коефіцієнта наповнення; показника регулярності руху. Інші дослідники в роботі [13] розвивають поняття комплексного або інтегрованого показника якості, що враховує різні фактори обслуговування пасажирів.

Для оцінки комплексним показником якості пасажирських автотранспортних послуг, на думку дослідників, доцільно використовувати середнє арифметичне зважене одиничних показників [14]. При цьому планування якості процесу перевезення на маршрутах міського пасажирського транспорту базується на визначенні вагомості окремих показників якості. Загальне керування якістю в широкому розумінні, зазначають науковці, найкраще можна зрозуміти, розглянувши почуття покупця, який є споживачем послуг. Тут одним з головних факторів

може бути час виконання послуги. Щодо споживачів, то якість – це ступінь відповідності системи обслуговування вимогам, специфікаціям і очікуванням споживачів [15]. Існуючі методи оцінки якості в проектах міського пасажирського транспорту не повністю враховують суб'єктивну оцінку пасажирами умов обслуговування [16, 17].

Затвердження якості проекту відбувається за допомогою таких процедур, як гарантія якості, аудити проекту і його продукту. Там, де це доречно, дослідники використовують автоматизоване проектування та створення необхідних моделей [3]. Однак у науковій літературі щодо оцінки якості міського пасажирського транспорту ще не знайшло достатнього відображення моделювання параметрів якості перевезення пасажирів для планування цього показника. Як вказують науковці, основним параметром якості є загальні витрати часу пасажирів, які складаються з часу на підхід до зупинки, часу очікування пасажиром транспортного засобу, тривалості посадки та руху в ньому, а також часу руху пішки до кінцевого пункту [11]. При цьому час руху в транспортному засобі складається з часу руху в ньому на перегонах маршруту та часу простою на зупинних пунктах.

Визначення мети та задачі дослідження. Проведені дослідження ставили за мету провести математичну формалізацію комплексного показника якості міського пасажирського транспорту і тривалості часу простою пасажирів у транспортному засобі на зупинних пунктах.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі задачі:

- проведення натурального обстеження з метою фіксації значущості для пасажирів критеріїв якості роботи міського пасажирського транспорту;
- формалізація комплексного показника якості міського пасажирського транспорту з урахуванням суб'єктивної оцінки пасажирами умов обслуговування;

- проведення натурального обстеження з метою фіксації тривалості та умов простою пасажирів у транспортному засобі на зупинних пунктах;

- статистична обробка отриманих даних з метою визначення залежності між значенням часу простою пасажирів у транспортному засобі на зупинних пунктах та умовами його виконання.

Основна частина дослідження.

Значущість для пасажирів параметрів якості транспортного обслуговування міським транспортом визначалася на підставі даних натурального обстеження. Воно полягало в опитуванні пасажирів щодо параметрів перевезення, якими вони оцінюють якість виконання пересування. При цьому пасажирів повинні були оцінити ці параметри за значущістю. Загалом пасажирами було виділено тринадцять показників. Для оцінки узгодженості думок експертів було використано коефіцієнт конкордації Кендела. Для перевірки статистичної ваги коефіцієнта конкордації було розраховано емпіричне значення критерію Пірсона.

Було виявлено, що при оцінці якості міського пасажирського транспорту для пасажирів у першу чергу важливим є час руху. Другим за значущістю чинником є час очікування транспорту. Менш значущими виявилися критерії: поїздка без пересадки, час руху до зупинного пункту, комфортабельність, місткість, наповнюваність, безпека руху, зовнішній вигляд транспорту та чистота салону, час простою на проміжних зупинках, культура обслуговування, зручність висадки-

посадки, технічне обладнання транспортного засобу, наявність альтернативних способів пересування, наявність пілг та екологічність транспортного засобу.

Для оцінки якості транспортного обслуговування пасажирів з тринадцяти факторів було відібрано чотири основних показники, які можна використовувати при плануванні якості проектів міського пасажирського транспорту:

- час пішохідної складової транспортних пересувань, який включає час підходу та відходу від зупинки;
- час очікування транспортного засобу;
- час поїздки;
- динамічний коефіцієнт використання місткості транспортного засобу.

Враховання ступеня значущості для пасажирів визначених параметрів проводилося з використанням величини їх рангів. Допускаючи, що максимальне значення коефіцієнта якості дорівнює одиниці, було розраховано відповідні коефіцієнти вагомості одиничних показників якості при виконанні маршрутної поїздки:

- пішохідна складова транспортних пересувань $x_{nu} = 0,137$;
- час очікування $x_{oc} = 0,262$;
- час поїздки $x_{nozd} = 0,465$;
- динамічний коефіцієнт використання місткості $x_{k.v.m} = 0,136$.

Внаслідок цього, комплексний показник якості міського пасажирського транспорту може мати такий вигляд:

$$K_{я}^{маршр} = \left(\frac{t_{nu_{min}}}{t_{nu_{\phi}}} \right)^{0,137} \cdot \left(\frac{t_{oc_{min}}}{t_{oc_{\phi}}} \right)^{0,262} \cdot \left(\frac{t_{n_{min}}}{t_{n_{\phi}}} \right)^{0,465} \cdot \left(\frac{\gamma_{\delta_{min}}}{\gamma_{\delta_{\phi}}} \right)^{0,136}, \quad (1)$$

де 0,137; 0,262; 0,465; 0,136 – коефіцієнти вагомості одиничних показників при виконанні маршрутної поїздки;

$t_{n_{min}}$ – мінімально можливий час поїздки, хв;

$t_{n_{\phi}}$ – фактичний час поїздки, хв;

$\gamma_{\partial_{\min}}$ – динамічний коефіцієнт використання місткості з урахуванням міст для сидіння;

$\gamma_{\partial_{\phi}}$ – фактичний динамічний коефіцієнт використання місткості транспортного засобу;

$t_{nu_{\min}}$ – мінімальний час пішоїдної складової транспортного пересування, хв;

$t_{nu_{\phi}}$ – фактичний час пішоїдної складової транспортного пересування, хв;

$t_{oc_{\min}}$ – мінімальний час очікування, хв;

$t_{oc_{\phi}}$ – фактичний час очікування, хв.

При проектуванні параметрів технологічного процесу можна планувати якість транспортного обслуговування. Для цього необхідне визначення фактичних

значень показників моделі (1). Для вирішення цієї задачі доцільно використовувати методи моделювання. Необхідним є розроблення моделей зміни складових комплексного показника якості міського пасажирського транспорту. Даний етап дослідження включав розроблення моделі зміни складової часу поїздки – часу простою пасажирів у транспортному засобі на зупинному пункті маршруту.

Вирішення цієї задачі проводилося з використанням даних натурального обстеження. При його проведенні фіксувалися пасажирообмін зупинних пунктів, пасажиронаповнення транспортних засобів при прибутті на зупинні пункти і їх параметри.

Опис зміни часу простою пасажирів у транспортному засобі на зупинному пункті проводився з використанням методів кореляційного і регресійного аналізу [18]. Отримана модель має такий вигляд:

$$t_{np} = 10,505 \cdot \frac{\sqrt{k_{ex}}}{\sqrt{(n_{\partial e} \cdot S_{\partial e})}} + 5,715 \cdot \frac{\sqrt{k_{vix}}}{\sqrt{(n_{\partial e} \cdot S_{\partial e})}} + 23,611 \cdot \frac{\sqrt{\gamma}}{\sqrt{(n_{\partial e} \cdot S_{\partial e})}}, \quad (2)$$

де k_{ex} – кількість пасажирів, що увійшли до транспортного засобу, пас.;

k_{vix} – кількість пасажирів, що вийшли з транспортного засобу, пас.;

$n_{\partial e}$ – кількість дверей у транспортному засобі, од.;

$S_{\partial e}$ – ширина дверей транспортного засобу, м;

γ – коефіцієнт використання місткості транспортного засобу.

Параметри моделі зміни часу простою пасажирів у транспортному засобі на зупинних пунктах маршруту наведено в табл. 1-2.

З усіх досліджуваних факторів значущими виявилися три, про що свідчать розрахункові значення критерію Стьюдента кожного коефіцієнта моделі, які перевищують табличне значення, і відсутність нуля в довірчих інтервалах коефіцієнтів моделі.

Таблиця 1

Межі вимірювання факторів моделі зміни часу простою пасажирів у транспортному засобі на зупинному пункті

Фактор	Межі вимірювання
Кількість дверей транспортного засобу	1-3
Ширина дверей транспортного засобу	0,82-1,2
Кількість пасажирів, які увійшли	0-70
Кількість пасажирів, які вийшли	0-80
Коефіцієнт використання місткості транспортного засобу	0-1,3

Таблиця 2

Характеристика моделі зміни часу простою пасажирів у транспортному засобі на зупинному пункті

Фактор	Коефіцієнт	Стандартна помилка	Критерій Стьюдента	
			розрахунковий	табличний
$\frac{\sqrt{k_{вх.}}}{\sqrt{(n_{дв.} \cdot S_{дв.})}}$	10,505	0,606	17,307	2,02
$\frac{\sqrt{k_{вих}}}{\sqrt{(n_{дв.} \cdot S_{дв.})}}$	5,715	0,489	11,672	
$\frac{\sqrt{\gamma}}{\sqrt{(n_{дв.} \cdot S_{дв.})}}$	23,611	3,018	7,821	

Оцінка статистичної значущості моделі проводилася за допомогою критерію Фішера, коефіцієнта множинної кореляції та середньої помилки апроксимації, значення яких подано у табл. 3. Значення статистичних показників відповідає допустимим межах.

Для оцінки фізичної адекватності та аналізу отриманої моделі було розроблено графіки зміни часу простою пасажирів у транспортному засобі на зупинному пункті (рис. 1-5).

Таблиця 3

Результати статистичної оцінки моделі зміни часу простою пасажирів у транспортному засобі на зупинному пункті

Показники		Значення
Критерій Фішера	розрахунковий	522,73
	табличний	1,39
Коефіцієнт множинної кореляції		0,95
Середня помилка апроксимації, %		8,07

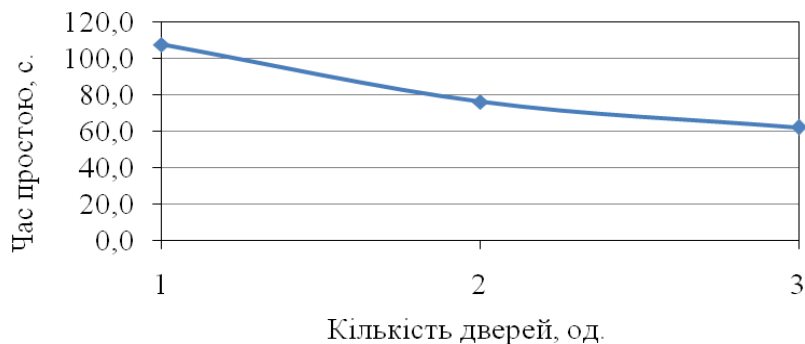


Рис. 1. Зміна часу простою пасажирів у транспортному засобі залежно від кількості дверей транспортного засобу

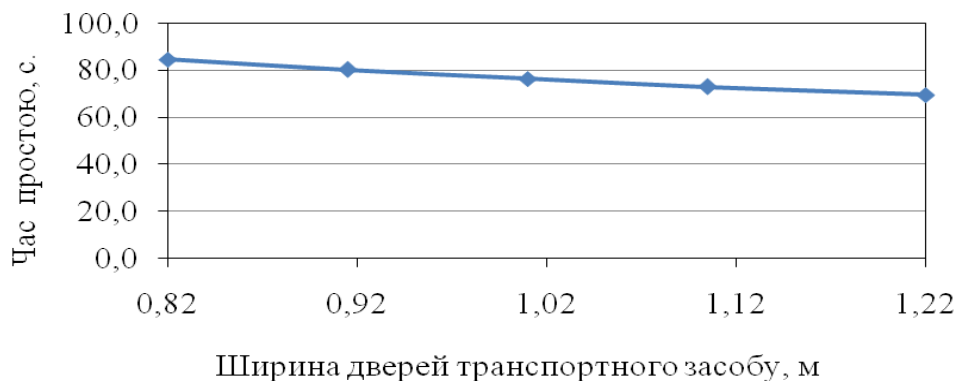


Рис. 2. Зміна часу простою пасажирів у транспортному засобі залежно від ширини дверей транспортного засобу

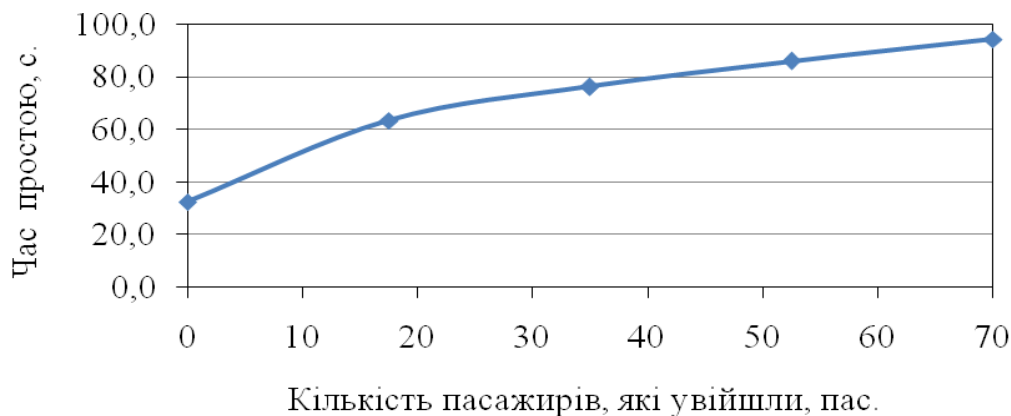


Рис. 3. Зміна часу простою пасажирів в транспортному засобі залежно від кількості пасажирів, які увійшли до транспортного засобу

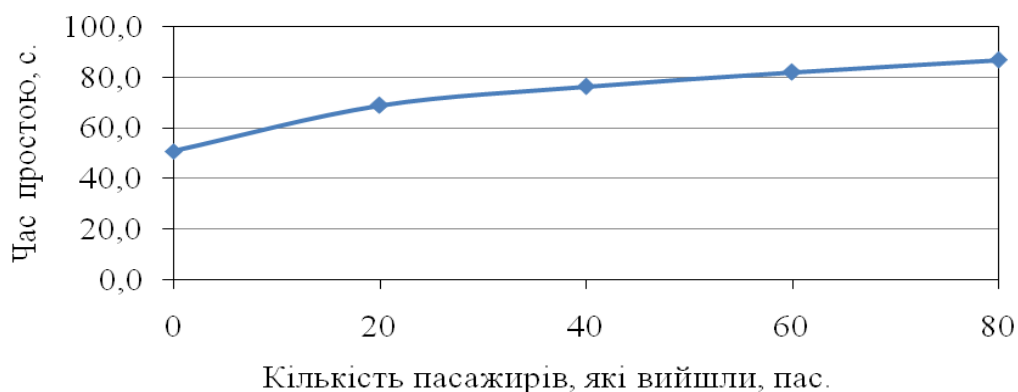


Рис. 4. Зміна часу простою пасажирів у транспортному засобі залежно від кількості пасажирів, які вийшли з транспортного засобу

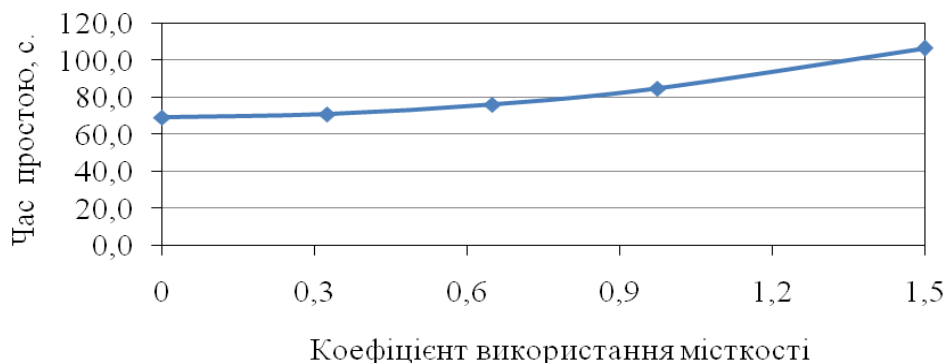


Рис. 5. Зміна часу простою пасажирів у транспортному засобі залежно від коефіцієнта використання місткості транспортного засобу

При побудові графіків усі фактори моделі, крім того, який досліджувався, відповідали середнім значенням. З аналізу моделі можна зробити такі висновки.

За рахунок збільшення кількості дверей у транспортному засобі поліпшуються умови входу і виходу пасажирів. Це дає змогу значно скоротити час на посадку і висадку пасажирів на зупинних пунктах.

Ширина дверей транспортного засобу дає можливість швидше робити висадку та посадку пасажирів, що у свою чергу впливає на час простою на зупинках маршруту міського пасажирського транспорту.

Кількість пасажирів, які увійшли до транспортного засобу, також впливає на час простою транспортного засобу на зупинках. Це пояснюється тим, що більша кількість пасажирів, які входять до транспортного засобу, збільшує час посадки. Це, у свою чергу, впливає на час простою транспортних засобів на зупинках міського пасажирського транспорту.

Час простою на зупинках міського пасажирського транспорту буде збільшуватися при збільшенні кількості пасажирів, які виходять з транспортного засобу. Вихід з транспортного засобу кожного пасажирів займає певний період. Це призводить до збільшення часу простою.

Збільшення коефіцієнта використання місткості також впливає на час простою, збільшуючи його. Така залежність пояснюється тим, що посадка та висадка

пасажирів при великому наповненні салону забирає певний час, оскільки пасажирам необхідно обійти тих пасажирів, що перебувають всередині салону і на сіддях транспортного засобу.

В результаті проведення статистичних розрахунків можна зробити висновок про допустимість використання розробленої моделі зміни простою пасажирів у транспортному засобі на зупинках маршруту міського пасажирського транспорту для оцінки якості проектів міського пасажирського транспорту.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Запропонований комплексний показник якості перевезення пасажирів придатний для оцінки якості транспортного обслуговування пасажирів міським транспортом. Зміна часу простою пасажирів у транспортному засобі на зупинному пункті маршруту з достатньою точністю описується нелінійним регресійним рівнянням, в якому як змінні використовуються кількість та ширина дверей, пасажирообмін зупинки, коефіцієнт використання місткості. Подальший розвиток досліджень у даному напрямку полягає у визначенні закономірностей зміни інших показників якості перевезення пасажирів та використання їх для планування якості в проектах міського пасажирського транспорту.

Список використаних джерел

1. Аулін, В.В. Удосконалення роботи міського пасажирського транспорту впровадженням центральної диспетчерської системи [Текст] / В.В. Аулін, Д.В. Голуб // Вісник СевНТУ. Сер. Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2011. – С. 95-98.
2. Логистика: общественный пассажирский транспорт [Текст]: учеб. Доп. УМО вузов РФ по образ. в обл. транспортных машин / Л.Б. Миротин, Ы.Э. Ташбаев, В.А. Гудков [и др.]; под ред. Л.Б. Миротина; МАДИ (ГТУ). – М.: Экзамен, 2003. – 224 с.
3. Лapidус, В.А. Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях [Текст] / В.А. Лapidус; Гос. ун-т управления; Нац. фонд подготовки кадров. – М.: ОАО "Типография "Новости", 2000. – 432 с.
4. Віниченко, В.С. Аналіз факторів і умов, які впливають на якість пасажирських перевезень на міському пасажирському транспорті [Текст] / В.С. Віниченко, І.Ю. Тарасюк // Наук.-техн. збірник. – 2011. – № 99. – С. 369-374.
5. Cronin, J.J. Measuring service quality: a reexamination and extension / J.J. Cronin, S.A. Taylor // Journal of Marketing. –1992. – 56(3). – P. 55 – 68.
6. Parasuraman, A. SERVQUAL: a multiple item scale for measuring consumer perceptions of service quality / A. Parasuraman, V. A. Zeithaml, L. L. Berry // Journal of Retailing. – 1988. – 64(1). – P. 12-37.
7. Гудков, В.А. Теория транспортных процессов и систем [Текст] / В.А. Гудков, А.В. Вельможин, Л.Б. Миротин. – М.:Транспорт, 1998. – 218 с.
8. Gabriella Mazzulla. A Service Quality experimental measure for public transport / Laura Eboli, Gabriella Mazzulla. – European Transport /Trasporti Europein, 2006. – №34. – P. 42-53.
9. Prioni, P. Measuring service quality in scheduled bus services / P. Prioni, D.A. Hensher // Journal of Public Transportation . – 2000. – №3(2). – P. 51 – 74.
10. Marcucci E. Local public transport, service quality and tendering contracts in Venezia [Текст] / E. Marcucci, E. Valeri, A. Stathopoulos, V. Gatta // Urban Sustainable Mobilità. – Milano, 2011. – P. 1-14.
11. Гудков, В.А. Технология, организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками [Текст]: учеб. для вузов / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин; под ред. Л.Б. Миротина. – М.: Транспорт, 1997. – 312 с.
12. Большаков, А.М. Повышение уровня обслуживания пассажиров автобусами на основе комплексной системы управления качеством [Текст]: дис... канд. экон. наук / А.М. Большаков. – М., 1981. – 174 с.
13. Тарханова, Н.В. Анализ показателей качества пассажирских перевозок [Текст] / Н.В. Тарханова // Совершенствование организации дорожного движения и перевозка пассажиров и грузов: сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф. – Минск: БНТУ, 2009. – С. 33-38.
14. Gabriela Beirão. Enhancing service quality in public transport systems [Текст] / Gabriela Beirão, JoséSarsfield Cabral // Faculty of Engineering. XII: Urban Transport and the Environment in the 21-st Century. – 2006. – P.837 – 845.
15. Гамула, П.Р. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація [Текст] / П.Р. Гамула. – Львів: Видавн. нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2004. – 506 с.
16. Margareta Friman. Service supply and customer satisfaction in public transportation: The quality paradox / Margareta Friman, Markus Fellesson / Karlstad University, Sweden. Journal of public transportation, 2009. – vol. 12, no. 4. – P. 57-69.

17. Friman, M. Implementing quality improvements in public transport / Friman M. // Journal of Public transportation. – 2004. – P. 49-65.

18. Галушко, В.Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте [Текст] / В.Г. Галушко. – К.: Вища школа, 1976. – 232 с.

Чумаченко Ігор Володимирович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри управління проектами в міському господарстві і будівництві Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (057) 707-31-32. E-mail: pmkaf@kname.edu.ua.

Давідіч Наталія Василівна, аспірант кафедри управління проектами в міському господарстві і будівництві Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (057) 707-31-32. E-mail: pmkaf@kname.edu.ua.

Chumachenko Igor Vladimirovich, d-r of Technical Sciences, Full Professor, head project management in urban economy and construction department, O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy. Tel.: (057) 707-31-32. Email: pmkaf@kname.edu.ua.

Davidich Natalia Vasylivna, post-graduate student, O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy. Tel.: (057) 707-31-32. E-mail: pmkaf@kname.edu.ua.

Прийнята 25.03.2016 р.

УДК 656.025.4

ФОРМУВАННЯ РОЗВІЗНИХ МАРШРУТІВ ТАРНО-ШТУЧНИХ ВАНТАЖІВ У МІСТАХ

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

ФОРМИРОВАНИЕ РАЗВОЗОЧНЫХ МАРШРУТОВ ТАРНО-ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ В ГОРОДАХ

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

CREATING THE MULTI-DROP ROUTES BREAK-BULK CARGO IN CITIES

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

У статті запропоновано алгоритм формування розвізних маршрутів тарно-штучних вантажів, що враховує параметри вантажів, транспортної мережі, взаємне розміщення одержувачів і відправників вантажів, транспортних засобів. Алгоритм може бути використаний для вирішення завдань оперативного управління перевізним процесом, а саме для формування розвізних маршрутів за умови випадкового виникнення замовлень на перевезення в реальному режимі часу.

Ключові слова: алгоритм, розвізний маршрут, тарно-штучний вантаж, транспортна мережа, транспортний засіб, транспортний процес.

В статье предложен алгоритм формирования развозочных маршрутов тарно-штучных грузов, учитывающий параметры грузов, транспортной сети, взаимное расположение получателей и отправителей грузов, транспортных средств. Алгоритм может быть использован для решения задач оперативного управления перевозочным

процессом, а именно для формирования развозочных маршрутов при случайном возникновении заказов на перевозку в реальном режиме времени.

Ключевые слова: алгоритм, развозочный маршрут, тарно-штучный груз, транспортная сеть, транспортное средство, транспортный процесс.

This article deals with the development of the algorithm of break-bulk cargo's routes formation in cities. In the article it is analyzed the methods of formation of break-bulk cargo's routes. As a result, it has been found that for the solution of constructing the matrix of the shortest distance problem it is advisable to use the Dijkstra method. To determine the sequence of arrival points it was selected Clarke and Wright method in the formation multi-drop routes. The initial data for the formation of multi-drop route it was suggested to use the transport network parameters (length of the arc, delays at intersections, traffic conditions arcs, speed of movement on the edges), participants in the transport process (volume of importation and exportation, location, quantity) of goods (volume, size, physical properties, conditions of transport), vehicles (carrying capacity, body dimensions, specifications). As the result it has been created an algorithm of forming multi-drop routes of break-bulk cargo which takes into account these parameters. It has been described the modeling process, indicating its results which the routes and their settings. The proposed algorithm can be used to solve problems of operational management of transportation process, namely the formation of an operational multi-drop route in terms of accidental orders for transportation. Results of the study can be used by the organization for traffic and transport management.

Keywords: algorithm, multi-drop route, break-bulk cargo, transportation network, vehicle transport process.

Вступ. Ринок транспортних послуг характеризується, з одного боку, динамічним розвитком за рахунок збільшення номенклатури вантажів, а з іншого, частими коливаннями попиту. Розвиток міст, проектування нових доріг, зміни схем організації дорожнього руху призводять до зміни транспортних умов і потребують від експедиторів реагування при визначенні маршрутів руху вантажних автотранспортних засобів. Крім того, заявки на перевезення, місце дислокації одержувачів вантажів і їх обсяг мають, у більшості випадків, стохастичний характер. Через це визначення довгострокової стратегії обслуговування тієї або іншої логістичної системи просування вантажів досить важке.

Практика роботи автомобільного транспорту показує, що в міських умовах перевезення тарно-штучних вантажів займає перше місце в загальному обсязі перевезень через велику кількість магазинів, підприємств громадського харчування, навчальних закладів та ін., що

обслуговуються здебільшого розвізними маршрутами [1]. Зростання конкуренції призводить до постійного пошуку автотранспортними підприємствами економічно-обґрунтованих маршрутів доставки з використанням транспортних засобів оптимальної вантажопідйомності. Формування раціональних розвізних маршрутів є значним резервом підвищення ефективності перевізного процесу та якості обслуговування споживачів транспортних послуг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенням задачі формування оптимальних розвізних маршрутів займалися багато як вітчизняних, так і закордонних вчених. Внаслідок цього були розроблені різні підходи до вирішення цієї проблеми як з використанням точних, так і приблизних методів [2]. До них відносяться метод "гілок і границь", "мітли", Кларка-Райта, сумування за стовбцями, Рена-Холідея, інверсій, Літгла, Данцига, Рена-Холідея, алгоритм "мурашиної колонії", вибору за

найкоротшою зв'язуючою мережі та інші [2-4]. Кожен з них має свої переваги і недоліки.

Для вирішення задачі розвезення вантажів у місті найбільшого поширення набув "економізуючий" метод Кларка-Райта [5]. Дослідниками цей метод використовується при вирішенні поставленої задачі за критерієм мінімуму пробігу [5]. Сутність його полягає в поєднанні двох маятникових маршрутів в один з обов'язковим визначенням "економії" ("функції вигоди") від цієї дії [3, 4]. Розраховані для всіх варіантів поєднання маршрутів "економії" дають матрицю економії. Після чергового кроку, на якому відбувається поєднання двох маршрутів, з матриці викреслюються "економії", котрі вже не можуть бути реалізовані. Процес закінчується, коли викреслені всі "економії" або вони менше нуля [3, 4].

Процес формування розвізних маршрутів базується на попередньо-визначеній матриці найкоротших відстаней між учасникам транспортної мережі. Задачу її визначення можливо вирішити декількома способами: з використанням методу Флойда [6], Дейкстри [7], Данцига [8, 9] Беллмана-Форда [10] або методу впорядкованої черги [11] та ін. Оптимальний за швидкістю розрахунків і найбільш економічний з точки зору розходу оперативної пам'яті і дискового простору комп'ютера [12] є метод Дейкстри, який знаходить найкоротші відстані від однієї з вершин графа до інших. Метод можна подати у вигляді послідовності однотипних кроків, під час яких покроково перебираються усі вершини графа і призначаються ним мітки, котрі є відомими мінімальними відстанями від вершини джерела до конкретної вершини. Алгоритм працює тільки для графів без ребер з від'ємною вагою [7, 11].

Найбільш поширеним критерієм вирішення завдання побудови розвізних маршрутів є мінімум пробігу

транспортного засобу [2-4]. Але за сучасних ускладнених умов дорожнього руху у містах використання даного критерію є не цілком виправданим. Це пов'язано з тим, що маршрут, який є мінімальним за відстанню, не завжди забезпечує найменші витрати часу, а отже, може бути не вигідний за витратами на перевезення.

Реалізація методу формування розвізних маршрутів тарно-штучних вантажів потребує наявності інформації про обсяги завезення до одержувачів вантажів. Процес формування заявок на поставку може мати як стохастичний, так і детермінований характер. У випадку довгострокових угод між відправником і одержувачами перевезення вантажів відбувається з визначеною періодичністю, що полегшує управління даним процесом. Але якщо потреба у поставках відбувається імовірно у просторі і часі, то завдання формування розвізних маршрутів виконується в режимі оперативного управління [13].

Існуючі алгоритми формування розвізних маршрутів не достатньо повно враховують стохастичність процесу перевезення вантажів. Тому актуальним є вирішення задачі оперативного управління процесом перевезення тарно-штучних вантажів, яку можливо вирішити з використанням методів Кларка-Райта і Дейкстри на основі заздалегідь сформованого графу транспортної мережі, враховуючи параметри транспортної мережі, учасників транспортного процесу, вантажів і транспортних засобів.

Визначення мети та задачі дослідження. Проведене дослідження направлене на досягнення мети – формування алгоритму розвізних маршрутів тарно-штучних вантажів в містах для оперативного управління транспортним процесом в умовах імовірного характеру даного процесу.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі задачі:

- встановити вихідні дані для формування розвізних маршрутів тарно-штучних вантажів;
- розробити алгоритм формування розвізних маршрутів тарно-штучних вантажів в містах для оперативного управління транспортним процесом.

Основна частина дослідження. Для досягнення поставленої мети на першому етапі дослідження було сформовано групи вихідних даних для формування розвізних маршрутів, які можна подати у вигляді схеми (рис. 1).

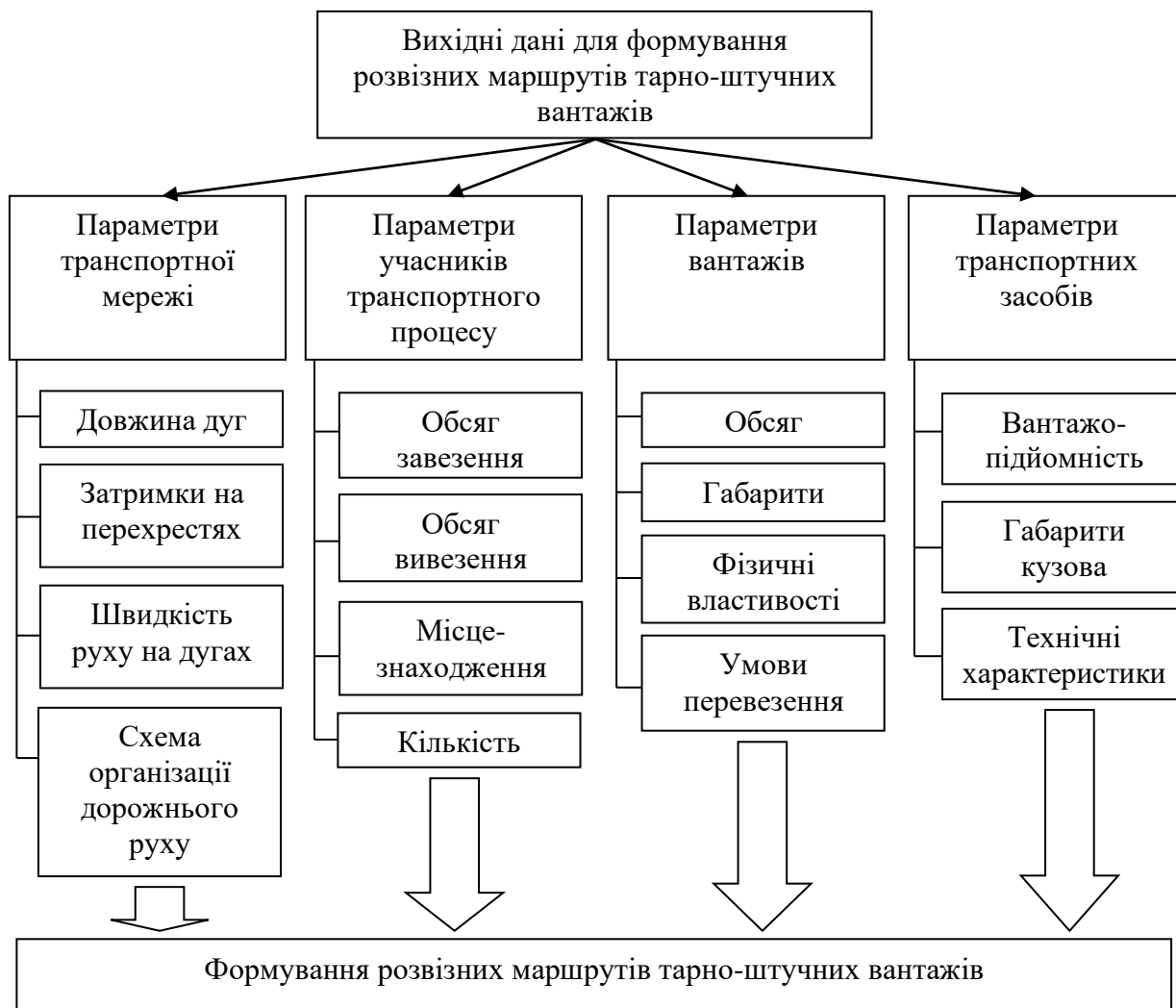


Рис. 1. Вихідні дані для формування розвізних маршрутів перевезення тарно-штучних вантажів

Процес формування розвізних маршрутів базується на матриці найкоротших відстаней або найменшого часу руху між учасниками транспортного процесу. Характеристики транспортної мережі визначають умови і час руху транспортних засобів по ній. У випадку, якщо будується матриця найкоротших за

пробігом транспортних засобів відстаней, у ролі вхідних даних достатньо інформації щодо довжин дуг і заборону напрямків руху на перехрестях. Якщо постає задача побудови матриці за критерієм мінімуму часу руху, то потрібні такі характеристики, як затримки на перехресті і швидкість руху на дугах.

Заборонені напрямки руху визначаються згідно з існуючою схемою організації дорожнього руху на мережі. Крім цього враховуються умови руху транспортних засобів за повною масою або навантаженням на вісь, що обмежуються заборонними знаками правил організації дорожнього руху.

Умови руху вулично-дорожньою мережею змінюються протягом доби, що зумовлено зміною інтенсивності руху транспортних потоків. Через це швидкість руху дугами мережі також змінюється протягом доби. Отже, при одних і тих же незмінних параметрах в залежності від того, в який час виконується перевезення, можуть бути сформовані різні маршрути.

Параметри учасників транспортного процесу, що характеризуються їх місцезнаходженням і обсягами завезення до вантажоодержувача та вивезення у вантажовідправника, впливають на процес формування розвізних маршрутів. Збільшення кількості одержувачів і обсягу завезення до них призводить до необхідності побудувати більше розвізних маршрутів або задіяти для роботи на маршруті транспортні засоби більшої вантажопідйомності. Місцезнаходження відправників і одержувачів вантажів визначає довжину маршрутів і їх кількість.

Характеристики вантажів визначають транспортні засоби для їх перевезення. Обсяг перевезення впливає на кількість вантажних автомобілів і їх вантажопідйомність. Габарити вантажів визначають потрібні габарити кузова транспортного засобу і впливають на коефіцієнт використання вантажопідйомності. Фізичні властивості формують умови перевезення, і отже, впливають на доцільність використання того чи іншого виду транспортного засобу.

Транспортні засоби впливають на процес формування розвізних маршрутів через такі їх характеристики, як вантажопідйомність, габарити кузова,

технічні характеристики. Чим більша вантажопідйомність автомобіля, тим менше розвізних маршрутів необхідно побудувати для задоволення потреб одержувачів вантажів. Габарити кузова визначають можливість перевезення того чи іншого вантажу і впливають на коефіцієнт використання вантажопідйомності. Технічні характеристики транспортного засобу визначають швидкість руху маршрутом, а отже, впливають на кількість одержувачів, що можуть бути обслуговані протягом визначеного періоду часу. Крім того, їх технічні характеристики впливають на економічні показники маршруту.

Кожна з груп вихідних даних, що характеризується відповідними параметрами, впливає на процес формування розвізних маршрутів тарно-штучних вантажів. Врахування взаємозв'язку між ними можливо з використанням наступного алгоритму (рис. 2).

На першому етапі моделювання проводиться ініціалізація даних (рис. 2, блок 2).

Далі виконується уведення вихідних даних (рис. 2, блок 3). До них відносяться:

- параметри вулично-дорожньої мережі;
- інформація про замовлення;
- параметри вантажів;
- параметри транспортних засобів.

Вулично-дорожня мережа може бути описана такими показниками, як географічні координати вузлів вулично-дорожньої мережі, довжини дуг мережі, швидкості руху транспортного потоку на дугах мережі залежно від години доби і напрямку руху, затримки на перехрестях, характеристики організації дорожнього руху на дугах мережі, координати пунктів відправників і завезення тарно-штучних вантажів. Фрагмент карти з зазначенням вершин, дуг мережі і дорожніх знаків, що вказують заборонені напрямки руху на перехрестях, наведено на рис. 3.

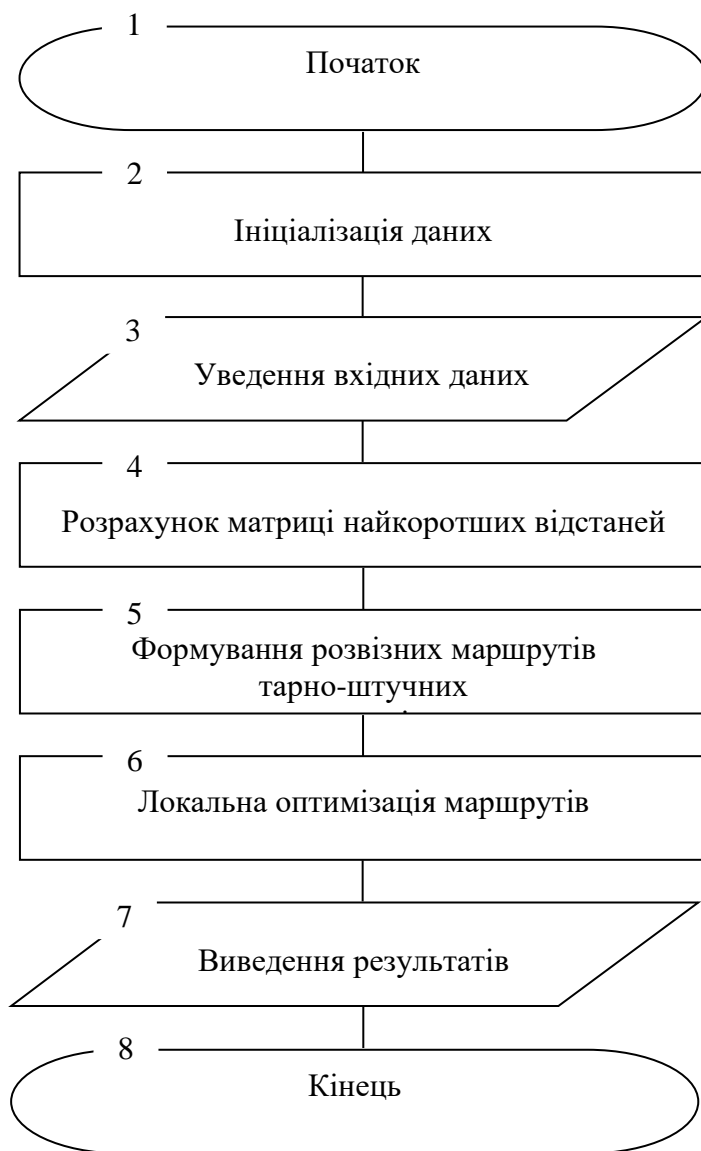


Рис. 2. Алгоритм формування розвізних маршрутів тарно-штучних вантажів

Інформація про замовлення може містити потрібний обсяг завезення тарно-штучних вантажів, періодичність завезення, час, в який необхідно здійснити поставку.

До параметрів вантажів можна віднести вид вантажу, масу, габарити, час на навантаження і розвантаження, умови перевезення.

До інформації про транспортні засоби відносяться марка, вид транспортного засобу, тип двигуна, габарити, ширина, довжина і висота кузова, навантажувальна висота, тип двигуна, вантажопідйомність.

На наступному етапі моделювання проводиться розрахунок матриці найкоротших відстаней (рис. 1, блок 4) з використанням методу Дейкстри.

Формування розвізних маршрутів тарно-штучних вантажів проводиться із застосуванням методу Кларка-Райта (рис. 1, блок 5). На цьому етапі формуються розвізні маршрути, встановлюються транспортні засоби для здійснення перевезень та відбувається їх закріплення за вантажоодержувачами.

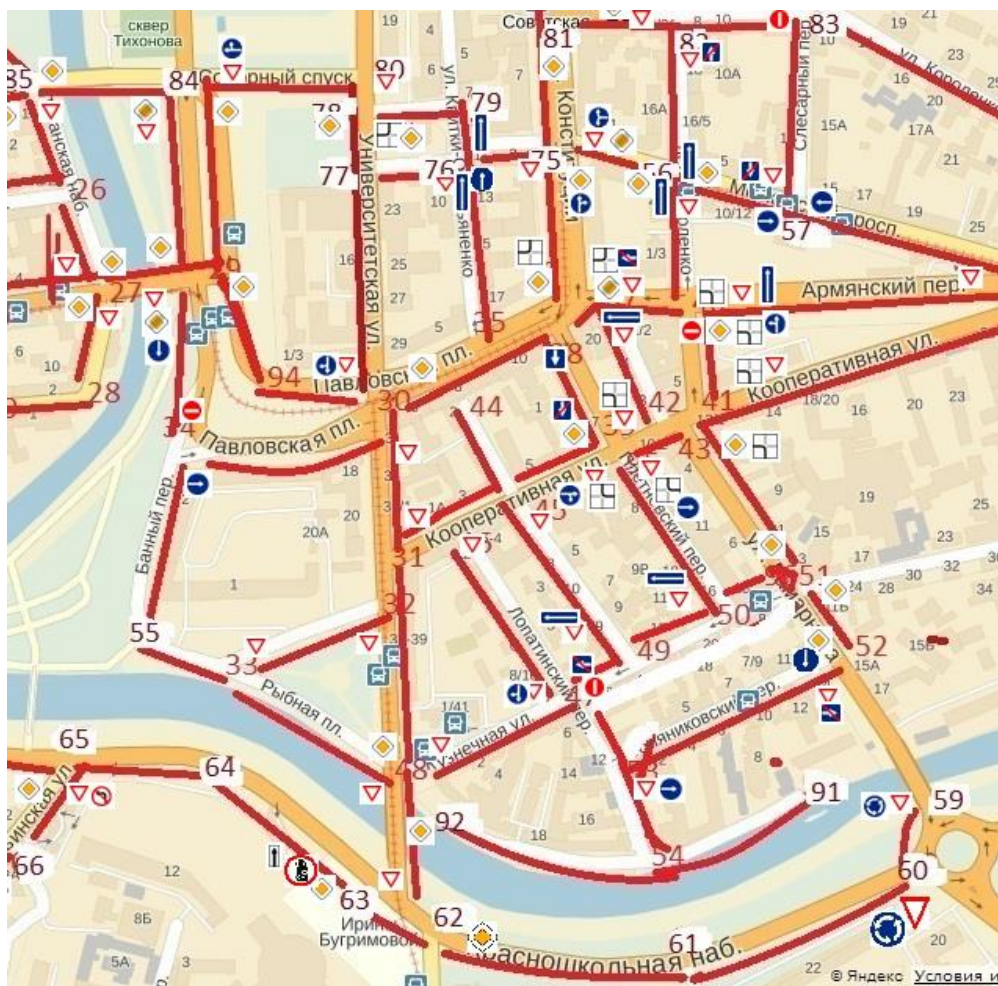


Рис. 3. Фрагмент карти з зазначенням вершин, дуг мережі і дорожніх знаків

Далі проводимо локальну оптимізацію отриманих маршрутів (рис. 1, блок 6). Цей процес передбачає аналіз черговості завантаження вантажів в пункти маршруту з метою його оптимізації за критерієм мінімуму пробігу або часу перевезення.

На наступному етапі алгоритму відбувається виведення результатів (рис. 1, блок 7) моделювання – маршрут перевезення тарно-штучних вантажів і його параметри:

- час початку руху маршрутом;
- час закінчення руху маршрутом;
- час обороту на маршруті;
- графік руху транспортних засобів маршрутом;
- довжина маршруту;
- довжина їздки з вантажем;

- обсяг завантаження в кожний пункт маршруту;
- транспортна робота;
- час навантаження-розвантаження в кожному пункті маршруту;
- коефіцієнт використання вантажопідйомності;
- коефіцієнт використання пробігу;
- технічна швидкість руху на маршруті.

В результаті моделювання формуються розвізні маршрути тарно-штучних вантажів, параметри яких залежать від вантажопідйомності транспортних засобів і характеристик транспортної мережі. Критерієм ефективності формування маршрутів може виступати мінімум пробігу або мінімум часу доставки.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. У статті запропоновано алгоритм формування розвізних маршрутів тарно-штучних вантажів, що враховує параметри вантажів, транспортної мережі, взаємне розміщення одержувачів і відправників вантажів, транспортних засобів. Він може бути використаний для

вирішення завдань оперативного управління перевізним процесом, а саме для оперативного формування розвізних маршрутів в умовах випадкового виникнення замовлень на перевезення.

У наступних дослідженнях передбачається програмна реалізація розробленого алгоритму.

Список використаних джерел

1. Нагорный, Е.В. Стратегия формирования городских развозочных маршрутов на оперативный период с учетом неравномерности распределения спроса на специфические грузы [Текст] / Е. В. Нагорный, Д. А. Музылев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – 6/4 (42). – С. 27-30.
2. Подшивалова, К.С. Повышение эффективности перевозок мелкопартионных грузов автомобильным транспортом [Текст]: дисс... канд. техн. наук / К.С. Подшивалова. – Волгоград, 2007. – 156 с.
3. Просов, С.Н. Повышение эффективности планирования перевозок по сборно-развозочным маршрутам [Текст]: дисс... канд. техн. наук / С.Н. Просов. – М., 1985. – 125 с.
4. Шептура, А.Н. Повышение эффективности автомобильных перевозок партионных грузов при переменном спросе на перевозки [Текст]: дисс... канд. техн. наук / А.Н. Шептура. – Харьков, 2004. – 162 с.
5. Pichpibul T., Kawtummachai R. A heuristic approach based on clarke-wright algorithm for open vehicle routing problem [Text] //The Scientific World Journal. – 2013. – Т. 2013.
6. Zhang Y. et al. Floyd-A* Algorithm Solving the Least-Time Itinerary Planning Problem in Urban Scheduled Public Transport Network //Mathematical Problems in Engineering. – 2014. – Т. 2014
7. Alwan N. A. S. Performance analysis of Dijkstra-based weighted sum minimization routing algorithm for wireless mesh networks // Modelling and Simulation in Engineering. – 2014. – Т. 2014. – С. 32.
8. Майника, Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах [Текст] / Э. Майника. – М.: Мир, 1981. – 324 с.
9. De Smith, M.J. Geospatial Analysis: A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools [Text] / M. J De Smith, M. F. Goodchild, P. Longley. – Leicester : Matador, 2007. – 394 p.
10. Desrochers M., Desrosiers J., Solomon M. A new optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows // Operations research. – 1992. – Т. 40. – №. 2. – С. 342-354.
11. Аникеич, А.А. Сменно-суточное планирование работы грузовых автомобилей на ЭВМ [Текст] / А.А. Аникеич, А.Б. Грибов, С.С. Сурин. – М.: Транспорт, 1976. – 152 с.
12. Алгоритмы: построение и анализ [Текст] / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн; пер. с англ. – 3-е изд. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2013. – 1328 с.
13. Завадський, Й.С. Менеджмент [Текст]: підруч. для студентів економічних спеціальностей вищих навч. закладів. В 3-х т. Т.2 / Й.С. Завадський. – К.: Вид-во Європейського університету, 2002. – 635 с.

Рецензент д-р техн наук, професор Ю.О. Давідіч

Куш Євген Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (057) 707-32-61.

E-mail: kush_bush@mail.ru.

Скрипін Василь Сергійович, аспірант кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (057) 707-32-61.

E-mail: skrypinvs@gmail.com.

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

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

Прийнята 25.03.2016 р.

УДК 629.4.027

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДОВИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ КОГНІТИВНИХ КАРТ

Канд. техн. наук Ю.М. Дацун

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЛОКОМОТИВОРЕМОНТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ НА ОСНОВЕ КОГНИТИВНЫХ КАРТ

Канд. техн. наук Ю.Н. Дацун

RESEARCH OF THE ELEMENTS OF THE ORGANIZATIONAL-TECHNICAL LEVEL OF LOCOMOTIVE REPAIR PRODUCTIONS BASED ON COGNITIVE MAPS

Cand. of techn. sciences Y. Datsun

Локомотиворемонтне виробництво, що організоване у виробничих підрозділах публічного акціонерного товариства, є частиною складної організаційно-виробничої системи, яка характеризується великою кількістю процесів різної природи. Для дослідження взаємозв'язку цих процесів у роботі застосовуються когнітивні карти. В результаті дослідження виявлено, що складові організаційно-технічного рівня локомотиворемонтних виробництв залізниць України мають ієрархічну структуру. Найбільш значимими є зовнішні керівні фактори.

Ключові слова: локомотиворемонтне виробництво, вплив, зв'язок, фактори, система, когнітивна карта.

Локомотиворемонтное производство, организованное в производственных подразделениях публичного акционерного общества, является частью сложной организационно-производственной системы, которая характеризуется большим количеством процессов различной природы. Для исследования взаимосвязи этих процессов в работе применяются когнитивные карты. В результате исследования выявлено, что составляющие организационно-технического уровня локомотиворемонтных производств железных дорог Украины имеют иерархическую структуру. Наиболее значимыми факторами определены внешние руководящие факторы.

Ключевые слова: локомотиворемонтное производство, влияние, связь, факторы, система, когнитивная карта.

Locomotive repair production which is organized in production units of public joint stock company is part of a complex of organizational-production system which is characterized by a large number of processes of different nature. Modeling of organizational-production systems with the use of traditional approaches based on analytical description or statistical observation of dependences between input or output parameters is difficult and in many cases impossible. In this paper we use cognitive maps to explore the relationship between these processes. During the research we found that the components of the organizational-technical level of locomotive productions of the Railways of Ukraine have a hierarchical structure. The most significant factors are certain external guiding factors: "Leadership standards", "Production unit", "Technology" and "Senior management". At the level of the depot next factors influence: "Equipment and tools", "Staff", "Production", "Measurement", "Technical documentation". The obtained data will allow us to correct the programs of examination of locomotive repair productions and to evaluate them more objectively.

Keywords: locomotive repair production, influence, relationship, factors, system, cognitive map.

Вступ. Відомо, що основним фактором, що визначає ефективну роботу тягового рухомого складу, є якість його технічного обслуговування та ремонту. З метою комплексного підвищення рівня локомотиворемонтних виробництв проводиться процедура їх атестації, що складається з кількох етапів. Найбільш важливим та відповідальним етапом атестації є експертне обстеження виробництва для визначення його організаційно-технічного рівня. Комплексний характер організаційно-технічного рівня виробництва обумовлює системний підхід до забезпечення обліку та виділення найбільш важливих факторів, що впливають на нього.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При визначенні та впорядкуванні факторів, що впливають на об'єкт дослідження, найбільш часто використовують «діаграми Ісікави», що дозволяють виявляти взаємозв'язок між різними факторами і встановлювати ступінь їх впливу на загальний результат [1, 2, 3, 4].

Однак останні дослідження доводять ряд серйозних недоліків такого підходу. В моделі Ісікави системні зв'язки між різними причинами і процесами штучно розірвані за

допомогою поділу всіх причин на окремі, автономні групи («кістки риб'ячого скелета»). При цьому у таких моделях кожен фактор впливає на один процес, хоча в дійсності один і той же фактор часто впливає на кілька процесів або всі процеси відразу. Подання взаємопов'язаних процесів у спрощеному – «розрізаному» вигляді підміняє системний аналіз механістичним, веде до неправильних стратегічних висновків і рішень [5, 6].

Це вимагає пошуку більш ефективних інструментів при дослідженні факторів, що впливають на організаційно-технічний рівень локомотиворемонтного виробництва

Метп статті. Дослідити складові організаційно-технічного рівня локомотиворемонтного виробництва із застосуванням методів, що дозволяють комплексно врахувати системні зв'язки між ними.

Виклад матеріалу. В основі виробничих систем лежить взаємодія процесів різної природи: технологічних, кадрових, процесів управління, забезпечення технологічним обладнанням, запасними частинами та матеріалами. Для дослідження таких систем необхідно визначити взаємозв'язок та взаємодію внутрішніх і зовнішніх процесів з

виявленню основних причинно-наслідкових відношень.

Важливим аспектом при оцінці рівня виробництва є форма його власності та підпорядкованості. В теперішній час локомотиви залізниць загального користування України проходять технічне обслуговування та ремонт в локомотивних депо, що є виробничими підрозділами публічного акціонерного товариства «Українська залізниця». Це унеможлиблює застосування підходів оцінки локомотивного депо як окремого підприємства та доводить доцільність дослідження складових його організаційно-технічного рівня з урахуванням особливостей структурного підпорядкування.

Моделювання складних організаційно-виробничих систем з використанням традиційних підходів, заснованих на аналітичному описі або статистичному спостереженні залежностей між вхідними або вихідними параметрами, ускладнене, а в багатьох випадках неможливе. Це вимагає застосування суб'єктивних моделей, заснованих на експертній інформації, що оброблюється із залученням мислення, логіки «здорового глузду», інтуїції і евристик [7, 8]. Основну роль при цьому відіграє людина, що характеризується усією гамою потреб, мотивів і цілей, недоступних для повного аналізу навіть їй самій. Тому все частіше в моделюванні організаційно-виробничих систем звучить термін когнітивність – пізнання (англ. cognition) [9].

В основі технології когнітивного аналізу і моделювання лежить когнітивна (пізнавально-цільова) структуризація знань про об'єкт і його зовнішнє середовище, причому об'єкт і зовнішнє середовище розмежовуються «нечітко». Мета такої структуризації полягає у виявленні найбільш істотних (базисних) факторів, що характеризують граничний шар взаємодії об'єкта і зовнішнього середовища, встановлення якісних (причинно-наслідкових) зв'язків між ними. Взаємодія

факторів при цьому відображається когнітивною картою, яка являє собою зважений орієнтований граф

$$G = \langle V, E \rangle,$$

де V – множина вершин, що є факторами системи;

E – множина дуг, що відображають відношення між факторами.

Створення когнітивної карти організаційно-технічної системи локомотиворемонтного виробництва проводилося із застосуванням програмної системи підтримання прийняття рішень «ИГЛА» [7] за такими етапами:

1. Формування експертами списку концептів, найбільш значущих для даної задачі. Для створення об'єктивної картини, крім факторів, поданих в [4], до списку концептів були внесені «Керівна нормативна документація», «Вище керівництво», «Інші структури».

2. Встановлення причинно-наслідкових зв'язків між концептами із зазначенням для кожного зв'язку їх характеру.

3. Вибір методики редагування зв'язків (парних порівнянь чи множин рівня).

4. Формування когнітивної матриці (табл. 1).

5. Побудова когнітивної карти (див. рисунок).

Аналіз системних показників когнітивної карти (табл. 2) дозволяє виявити концепти, що здійснюють найбільш сильний вплив на систему.

Найбільш сильний вплив на систему здійснюють керівні концепти: «Керівна нормативна документація» (0,4863), «Керівництво виробничого підрозділу» (0,31221), «Технологія» (0,2917) та «Вище керівництво» (0,2604). Ступінь впливу виробничих концептів на систему значно нижчий та варіюється від значення 0,0833 для «Матеріалів та запасних частин» до 0,0333 для «Технологічної документації».

Таблиця 1

Когнітивна матриця факторів, що впливають на організаційно-технічний рівень локомотиворемонтного виробництва

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Персонал	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
Обладнання та інструмент	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
Технологія	0,5	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	0	0
Матеріали і запасні частини	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
Вимірювання	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
Виробниче середовище	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
Технологічна документація	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0
Керівництво виробничого підрозділу	0,5	0,5	0	0	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	0	0
Організаційно-технічний рівень	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Керівна нормативна документація	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0,5	0,5
Вище керівництво	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0,5
▶ Інші підрозділи	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0

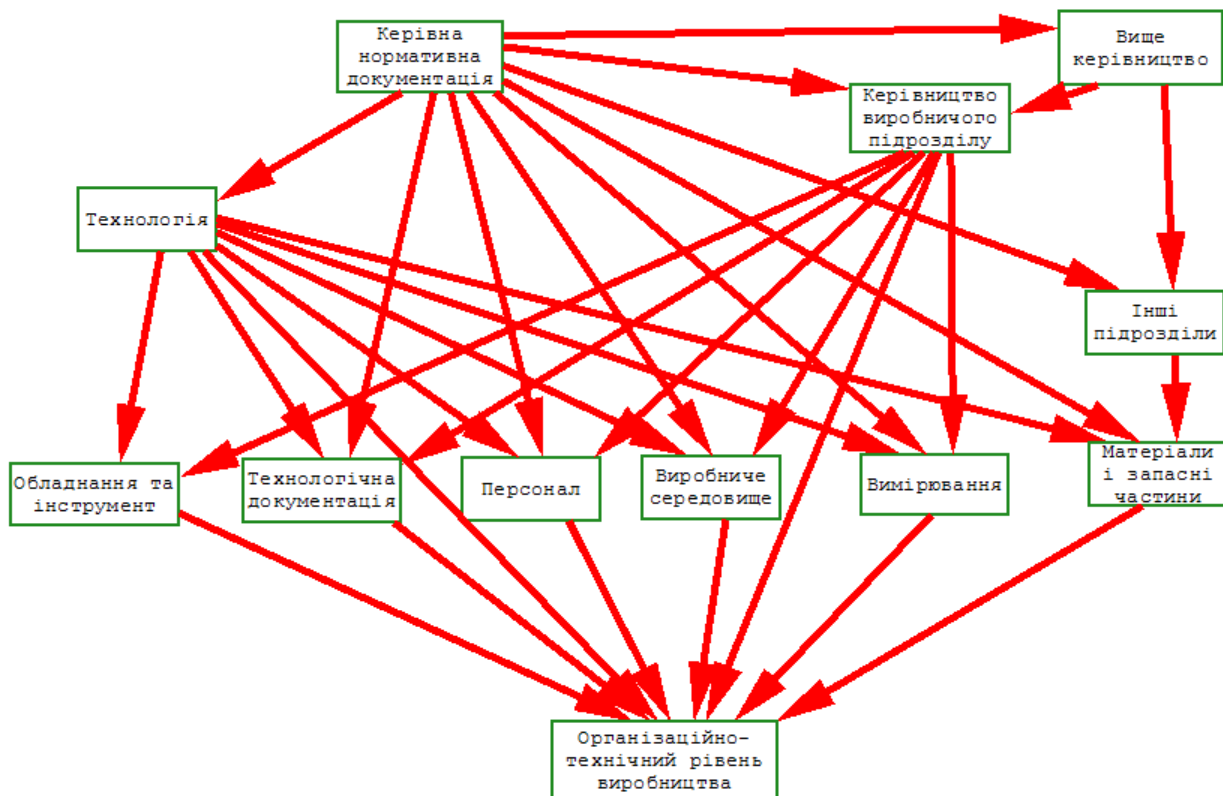


Рис. Когнітивна карта факторів, що впливають на організаційно-технічний рівень локомотиворемонтного виробництва

Системні показники когнітивної карти

	Воздействие концепта на систему	Воздействие системы на концепт	Показатель централизации воздействия
▶ 1.Персонал	0,0583	0,1708	-0,1125
2.Обладнання та інструмент	0,0708	0,1313	-0,0604
3.Технологія	0,2917	0,0542	0,2375
4.Матеріали і запасні частини	0,0833	0,1458	-0,0625
5.Вимірювання	0,0458	0,1458	-0,1000
6.Виробниче середовище	0,0542	0,1458	-0,0917
7.Технологічна документація	0,0333	0,1771	-0,1438
8.Керівництво виробничого підрозділу	0,3125	0,0833	0,2292
9.Організаційно-технічний рівень виробництва	0,0000	0,6008	-0,6008
10.Керівна нормативна документація	0,4863	0,0000	0,4863
11.Вище керівництво	0,2604	0,0417	0,2188
12.Інші підрозділи	0,0833	0,0833	0,0000

Виходячи з цього можна зазначити, що при визначенні організаційно-технічного рівня локомотиворемонтних виробництв локомотивних депо, як виробничих підрозділів ПАТ УЗ, недостатньо проведення обстеження самого виробництва, оскільки базову роль в його забезпеченні відіграють саме зовнішні підрозділи, структури та чинники.

Оцінка виробництва на рівні депо доцільна за концептами: «Обладнання та інструмент», «Персонал», «Виробниче середовище», «Вимірювання», «Технологічна документація». Це підтверджується статистичними даними з обстеження локомотиворемонтних виробництв депо Укрзалізниці [10], згідно з якими найбільша кількість невідповідностей локомотиворемонтних виробництв виявляється по обладнанню та технологічній документації.

Висновки. На основі застосування когнітивних карт виявлено, що складові організаційно-технічного рівня локомотиворемонтних виробництв залізниць України мають ієрархічну структуру. Найбільш значимими виявились зовнішні керівні фактори: «Керівна нормативна документація», «Керівництво виробничого підрозділу», «Технологія» та «Вище керівництво». На рівні депо вплив здійснюють такі фактори: «Обладнання та інструмент», «Персонал», «Виробниче середовище», «Вимірювання», «Технологічна документація». Отримані дані дозволять скорегувати програми обстеження локомотиворемонтних виробництв та дозволять більш об'єктивно проводити їх оцінку.

Список використаних джерел

1. Ishikawa, K. What is Total Quality Control? The Japanese Way [Text] / K. Ishikawa. – London: Prentice Hall, 1985. – 240 p.

2. Tague Nancy R. The Quality Toolbox [Text] / R. Tague Nancy. - ASQ Quality Press, 2005. – 557 p.
3. Watson, G. The Legacy Of Ishikawa [Text] / G. Watson // Quality Progress. – 2004. – 37(4). – P. 54-47.
4. Тартаковский, Э. Применение экспертных методов для оценки организационно-технического уровня локомотиворемонтных предприятий [Текст] / Э. Тартаковский, В. Пузырь, Ю Дацун // Transport Problems. – 2014. – Т. 4, № 1. – С. 717-721.
5. Маленков, А. Причинно-следственные модели в стратегическом планировании [Текст] / А. Маленков // Вестн. С.-Петербур. ун-та. – 2011. – Сер. 5. Экономика. – Вып. 2. – С. 116-129.
6. Козицына, А.В. Инструменты качества как эффективный способ повышения уровня качества продукции // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 4 [Электронный ресурс] / А.В. Козицына, Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/33360> (дата обращения: 27.02.2016).
7. Коростелев, Д.А. Система поддержки принятия решений «ИГЛА» [Текст] / Д.А. Коростелев, Д.Г. Лагерева, А.Г. Подвесовский // Компьютерные учебные программы и инновации. – 2007. – № 6. – С. 23.
8. Дацун, Ю.М. Визначення ступеня впливу технологічних процесів ремонту на справність вузлів тягового рухомого складу [Текст] / Ю.М. Дацун // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. - №1/7 (79). – С 56-61.
9. Гинис, Л.А. Применение технологии когнитивного анализа для выработки тарифной политики [Текст] / Л.А. Гинис, А.Г. Чернов // Искусственный интеллект. – 2005. - №3. – С. 360-369.
10. Дацун, Ю.Н. Определение уровня оснащенности локомотиворемонтных производств на основе экспертных оценок [Текст] / Ю.Н. Дацун // Сборник материалов III междунар. науч.-техн. конф. «Локомотивы XXI век». – СПб., 2015. – С. 227-228.

Рецензент д-р техн. наук В.Г. Пузир

Дацун Юрій Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-19-99. E-mail: remlocomot@gmail.com.

Datsun Yurii, cand. of techn. sciences, associate professor department of maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-19-99. E-mail: remlocomot@gmail.com.

Прийнята 25.03.2016 р.

УДК 624.015.5

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ ПІСЛЯ ПОЖЕЖІ

Канд. техн. наук Ю.А. Отрош

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ ПОСЛЕ ПОЖАРА

Канд. техн. наук Ю.А. Отрош

METHOD OF DETERMINING TECHNICAL CONDITIONS OF BUILDING STRUCTURES OF INDUSTRIAL BUILDINGS AFTER FIRES

PhD, Associate Professor Y.A. Otrosh

Незадовільний технічний стан багатьох будівельних об'єктів внаслідок впливу високих температур потребує вжиття заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій.

Запропоновано методика визначення технічного стану будівельних конструкцій виробничих будівель після високотемпературних впливів внаслідок пожежі. Методика базується на відомих пропозиціях і дає змогу враховувати специфіку впливу високих температур на зміну фізико-механічних властивостей матеріалів конструкцій. Розроблені рекомендації щодо забезпечення тривалої та безпечної експлуатації будівельних конструкцій, які зазнали впливу пожежі.

Ключові слова: виробничі будівлі, пожежа, високотемпературні впливи, технічний стан, регулювання, безпечна експлуатація.

Неудовлетворительное техническое состояние многих строительных объектов в результате воздействия высоких температур требует принятия мер по предотвращению возникновения чрезвычайных ситуаций.

Предложена методика определения технического состояния строительных конструкций промышленных зданий после высокотемпературных воздействий в результате пожара. Методика базируется на известных предложениях и позволяет учесть специфику влияния высоких температур на изменение физико-механических свойств материалов конструкций. Разработаны рекомендации по обеспечению длительной и безопасной эксплуатации строительных конструкций, подвергшихся воздействию пожара.

Ключевые слова: промышленные здания, пожар, высокотемпературные воздействия, техническое состояние, регулирование, безопасная эксплуатация.

Unsatisfactory technical condition of industrial constructions due to the high temperature impact requires taking precautions to prevent emergencies. The method of determining the technical conditions of building constructions of industrial buildings after fire high temperature impact is represented. The technique is based on the known proposals and takes into account the specific character of high temperature impact on physical and mechanical properties change of structures. Recommendations to prolonged and safe operation of building structures after fire are developed.

The proposed method was created and tested for evaluation of technical conditions of industrial buildings damaged after fire. Under fire impact building structures get damages that are

established by visual and instrumental examination. The most typical damages of building structures are established. Inconsistencies identification can cause structures reinforcement or replacement, not affected by fire, but has dangerous defects for further operation and damages. Technical condition evaluation is performed by comparing the monitored parameters identified during the inspections, due to relevant design parameters or determinable calculations.

According to the analysis of technical documentation, visual and tool inspection the preliminary technical evaluation of building constructions in general is done. The necessity about mathematical modeling of stress-strain state or simplified calculation of constructions is analyzed

Keywords: *industrial buildings, fire, high-temperature impact, technical condition, safe operation.*

Вступ. Незадовільний технічний стан багатьох будівельних об'єктів виникає внаслідок їхнього зносу, а також з інших причин, серед яких може бути вплив високих температур. Така обставина потребує вжиття захисних заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій. Висока температура в будівлі або споруді при пожежі призводить до часткового або повного руйнування будівельних конструкцій. Специфіка стану конструкцій після пожежі вимагає проведення додаткових робіт з метою підготовки висновку про технічний стан, можливість і методи відновлення.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Віднесення окремих конструкцій, будівель і споруд у цілому до кожного із технічних станів базується на методі експертних оцінок і має розпливчастий характер. Віднесення до того чи іншого технічного стану здійснюється не на підставі формалізованих розрахунків, а на аналізі сукупності певних (визначених нормативними документами) дефектів та пошкоджень (або їх відсутності). Такий підхід досить примітивний, має необґрунтований характер і не може служити достовірним критерієм оцінювання технічного стану будівельних конструкцій. Визначення технічного стану будівель і споруд у цілому нормативні документи [1-4, 11, 12] рекомендують виконувати за найгіршим технічним станом окремих несучих чи огорожувальних конструкцій.

Це часто призводить до необґрунтованого заниження експлуатаційних властивостей будівлі чи споруди у цілому та передчасного припинення її експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз проведених в Україні та за кордоном досліджень, які направлено на оцінювання технічного стану та його прогнозування, показує, що в даний час є досить багато напрацювань у даному напрямку [13, 14]. Нормами встановлено кількість технічних станів та критерії віднесення конструкцій до кожного з них. Однак для конструкцій із різних матеріалів і навіть для різних видів конструкцій технічні стани визначаються по-різному. Норми не дають рекомендацій щодо прогнозування технічного стану.

Перелік додаткових робіт, які необхідно виконати після ліквідації пожежі, регламентовано чинними нормами [5]. Ще за часів СРСР на допомогу організаціям і фахівцям, які проводять обстеження будівельних конструкцій, НДІЗБ розроблені відповідні «Рекомендації щодо обстеження будівель та споруд, які пошкоджені пожежею» [6].

Детальне обстеження будівельних конструкцій рекомендується проводити у такій послідовності:

- вивчити всю наявну документацію;
- ознайомитися з постраждалим об'єктом;
- виконати обстеження конструкцій з метою з'ясування їхнього технічного стану після пожежі;

– виконати обстеження конструкцій, які найбільш постраждали від високотемпературного впливу під час пожежі;

– скласти та передати адміністрації підприємства, де відбулася пожежа, висновок і рекомендації щодо усунення дефектів та пошкоджень конструкцій.

Визначення мети та задачі дослідження. Мета роботи – для конструкцій виробничих будівель удосконалити методика визначення технічного стану і розробки рекомендацій щодо забезпечення їхньої тривалої та безпечної експлуатації після пожежі, доповнивши їх сучасними розрахунковими процедурами, що врахують специфіку впливу високих температур на зміну фізико-механічних властивостей матеріалів конструкцій. Розроблена методика дозволить на основі аналізу технічної та нормативної документації встановити параметри та критерії технічного стану, проаналізувати можливі відмови та пошкодження, провести обстеження конструкцій і зробити висновок про технічний стан обстежуваних конструкцій.

Основна частина дослідження. Для вирішення поставленої задачі за результатами досліджень [7-10] було удосконалено методика визначення технічного стану будівельних конструкцій після пожежі і розробки рекомендацій щодо забезпечення їх подальшої тривалої та безпечної експлуатації. Методика включає комплекс робіт, виконуваних у такій послідовності:

➤ аналіз наявної проектної, виконавчої й експлуатаційної документації;

➤ попередній огляд об'єкта обстеження;

➤ візуальне обстеження стану будівельних конструкцій перекриття, покриття і прилеглих стін, оцінка їхнього технічного стану за зовнішніми ознаками і вибір конструкцій для інструментального обстеження;

➤ інструментальне обстеження стану будівельних конструкцій (вимірювання

геометричних параметрів будівлі та конструктивних елементів, визначення міцності бетону та цегляної кладки);

➤ аналіз результатів візуального й інструментального обстеження стану вище зазначених будівельних конструкцій;

➤ виконання перевірних розрахунків;

➤ підготовлення висновку про технічний стан вищезазначених будівельних конструкцій;

➤ розроблення рекомендацій щодо забезпечення тривалої і безпечної експлуатації вищезазначених будівельних конструкцій, а також технічних рішень щодо підсилення конструкцій.

Методика апробовано на прикладі будівель, які розташовані на території ДО Комбінат “Прогрес” за адресою бульвар Івана Лепсе, 24, м. Київ, що зазнали впливу пожежі (рис. 1).

Визначення технічного стану здійснювалось на основі обстеження стану конструкцій перекриття та покриття, прилеглого стінового огороження приміщень першого та другого поверхів. Обстеження проводилось на підставі чинних нормативних документів з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд [1-4]. При детальному обстеженні будівельних конструкцій необхідно було визначати не тільки дефекти та руйнування конструкцій, які стали наслідком пожежі, а також будь-які невідповідності конструкцій вимогам чинних нормативних документів. Виявлення всіх невідповідностей служить основою для прийняття рішення щодо підсилення або заміни конструкцій, які не постраждали під час пожежі, але мають небезпечні для подальшої експлуатації дефекти та пошкодження.

Оцінку технічного стану конструкцій цієї будівлі визначено на основі аналізу технічної документації та візуально-інструментального обстеження. Двоповерхова будівля і холодильник побудовані на початку 50-х років ХХ століття. За час експлуатації виконувалися ремонтні та

оздоблювальні роботи. Стіни будівлі цегляні товщиною 510 мм, перегородки до пожежі були дерев'яні. Переkritтя над першим поверхом згідно з проектом ребристе залізобетонне. Товщина плити мала бути 70 мм. Розміри ребер становили 250x400 мм з урахуванням товщини плити. Крок ребер – 2000 мм. За результатами виконаного обстеження було встановлено, що насправді виконано сталезалізобетонне переkritтя з несучими металевими балками, які встановлено з кроком 920-950 мм. Як балки використано рейку КР-38 згідно з ГОСТ 3542-47. Між металевими балками виконано монолітне залізобетонне

переkritтя товщиною 50-80 мм. Зверху плити встановлено дерев'яні лаги з брусу та виконано дерев'яну підлогу.

У приміщеннях другого поверху прибудованої будівлі між рядами 7-8 та осями В-Е сталася пожежа (рис. 1), під час якої згоріли дерев'яні перегородки, заповнення віконних прорізів, підлога, оздоблювальні матеріали, офісне обладнання (меблі, комп'ютери), документи. Внаслідок пожежі та її гасіння водою найбільших пошкоджень зазнали цегляні стіни другого поверху, несучі конструкції та елементи переkritтя і покриття.

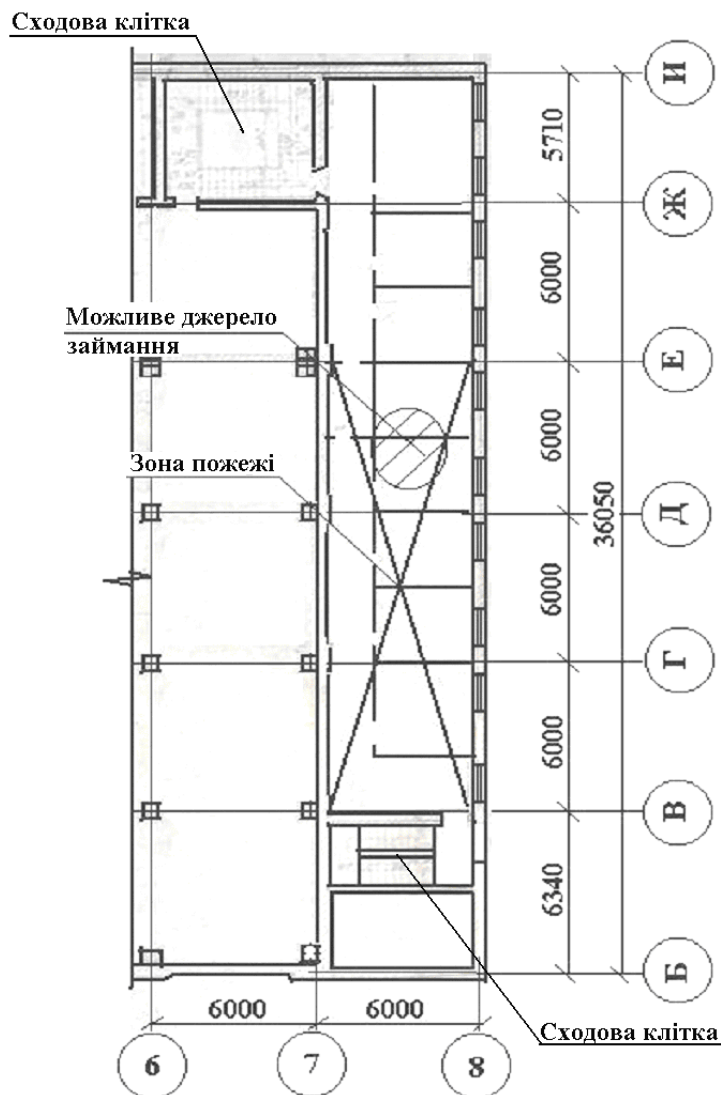


Рис. 1. Схема розвитку пожежі у приміщеннях другого поверху

Під час виконання роботи було проведено візуально-інструментальне обстеження будівельних конструкцій, у ході якого проводились фотофіксація виявлених дефектів, вимірювання геометричних параметрів будівлі та конструктивних елементів, визначення міцності бетону та цегляної кладки. Візуальним методом виявлено видимі дефекти будівельних конструкцій, а також визначено явні та передбачувані причини їхньої появи. Остаточні причини появи дефектів уточнено після вивчення технічної документації, а також у ході інструментального обстеження.

Під час обстеження виявлено найбільш характерні пошкодження конструкцій у приміщеннях другого поверху:

➤ згоріли поперечні та поздовжня дерев'яні перегородки у приміщеннях, які розташовані між осями В-Е;

➤ мають руйнування цегляна кладка та шар штукатурки (шар штукатурки майже весь зруйновано); зруйновано зовнішній шар цегли на глибину до 30 мм; виникли порушення зв'язку зовнішнього шару кладки з основним матеріалом; цегляна стіна холодильника по ряду 7 має вигин у бік прибудованого приміщення; є тріщини

у місцях спирання балок на стіну, що межує з холодильником (рис. 2, 3);

➤ прогин окремих залізобетонних балок покриття має величину 170 мм, що складає 1/35 частки прогону (рис. 2, 3);

➤ наявність вертикальних та похилих тріщини в залізобетонних балках покриття (рис. 2, 3);

➤ є тріщини у залізобетонних плитах покриття у поздовжньому та поперечному напрямках, відколи бетону, оголення арматури (рис. 3, 4);

➤ руйнування шару штукатурки і захисного шару бетону в залізобетонних балках покриття, місцями з повним оголенням арматури (рис. 3, 4);

➤ тріщини в поперечній стіні біля входу у приміщення (рис. 5).

Найбільш характерні пошкодження у приміщеннях першого поверху, які утворилися внаслідок замочування водою під час гасіння пожежі водою:

➤ тріщини у перекритті між металевими двотавровими балками і залізобетонними плитами, сліди намокання;

➤ деструктивні ділянки у залізобетонній плиті перекриття на стелі першого поверху.



Рис. 2. Вигляд тріщин у місцях спирання балок на стіну по ряду 7



Рис. 3. Тріщини в місцях спирання балок на стіни



Рис. 4. Порушення захисного шару бетону із оголенням робочої арматури

Інструментальне обстеження проводилося з метою збору інформації для остаточної оцінки технічного стану конструкцій. Під час інструментального обстеження стану будівельних конструкцій використовувалися лінійка вимірвальна (ГОСТ 427-75), штангенциркуль (ГОСТ 166-89), прилад ультразвуковий УК-14ПМ.

Вимірювалися:

- у залізобетонних балках покриття – розміри перерізу та діаметр робочих арматурних стержнів;
- на стелі першого поверху – відстань між тріщинами та ширина їх розкриття.

Проводилися ультразвукові випробування:

➤ бетону в ребрах залізобетонного ребристого покриття;

➤ бетону плити покриття на стелі першого поверху.

Були відібрані зразки цегли та розчину з кладки для механічних випробувань.

Результати вимірювань:

➤ у середньому розміри перерізу балок покриття: ширина – 230 мм; висота до низу плити – 260 мм; діаметр робочих арматурних стержнів – 18 мм;

➤ у середньому крок сталевих балок покриття становить 900 мм;

➤ відстань між тріщинами на стелі першого поверху – 750 мм і 1500 мм; ширина розкриття тріщин – 1,5-2 мм.



Рис. 5. Тріщини в поперечній стіні біля входу у приміщення другого поверху

За результатами аналізу технічної документації, візуального й інструментального обстеження виконано попередню оцінку технічного стану конструкцій, будівель та споруд у цілому та зроблено висновок про необхідність проведення математичного моделювання напружено-деформованого стану або спрощених розрахунків конструкцій. Попередню оцінку технічного стану проведено на основі критеріїв оцінки. Прогноз зміни технічного стану при подальшій експлуатації виконано на основі

аналізу деградаційних процесів і виявлення відповідності фактичних параметрів технічного стану вимогам проектної та нормативної документації.

Оцінку технічного стану проведено шляхом зіставлення контрольованих параметрів, які визначено в ході проведення обстежень, з відповідними проектними параметрами або визначеними в результаті розрахунків. Перехід конструкцій у граничний стан можливий, якщо досягли граничних величин такі параметри, як геометричні розміри (зменшення внаслідок

корозійного зносу арматури та бетону), міцність бетону, а вузли сполучення, закладні деталі й елементи кріплення зруйновано або пошкоджено.

Оцінку технічного стану будівельних конструкцій оформлено у вигляді висновку про технічний стан будівельних конструкцій. На основі проведених досліджень розроблено проект реконструкції будівлі з підсиленням пошкоджених конструкцій.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку

1. Запропоновано методику визначення технічного стану конструкцій виробничих будівель та споруд після пожежі. Методика базується на відомих пропозиціях і дає змогу враховувати специфіку впливу високих температур на зміну фізико-механічних властивостей матеріалів конструкцій.

2. Під час апробації методики на будівлях ДО Комбінат «Прогрес» встановлено, що утворення пошкоджень у будівельних конструкціях зумовлено такими причинами:

– незадовільною якістю виконання

будівельних робіт з бетонування конструкцій;

– заміною конструкції перекриття;

– дією високої температури, що виникла внаслідок пожежі;

– різким охолодженням конструкцій, що були у зоні пожежі, під час гасіння.

3. Технічний стан будівельних конструкцій покриття та стін обстеженої будівлі після пожежі, відповідно до [4], визначено як непридатний до експлуатації. Подальшу експлуатацію конструкцій без виконання робіт з підсилення визнано неможливою.

4. Для забезпечення надійної та безпечної експлуатації конструкцій прибудованої до холодильника двоповерхової будівлі розроблено проект реконструкції та виконано підсилення конструкцій перекриття і стін шляхом влаштування монолітної залізобетонної плити та посилення конструкцій покриття шляхом улаштування металевої балкової клітки, яку було підведено під залізобетонні несучі конструкції. Виконано підсилення стін шляхом нанесення шару штукатурки з цементно-піщаного розчину по металевій сітці.

Список використаних джерел

1. СОУ ЖКГ 75.11–35077234.0015:2009. Правила визначення фізичного зносу житлових будинків [Текст]: стандарт житлово-комунального господарства України. – К.: ЖКГ України, 2009. – 49 с.

2. ДБН В.1.2-5:2007. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів. Норми проектування [Текст] / Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 16 с.

3. ДБН В. 2.6-98:2009. Державні будівельні норми України. Конструкції будинків і споруд. Бетонні і залізобетонні конструкції. Основні положення [Текст] / Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.

4. ДБН В.2.6-162:2010. Державні будівельні норми України. Конструкції будинків і споруд. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення [Текст] / Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 98 с.

5. ДБН В.1.2-1-95. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Положення про розслідування причин аварій (обвалень) будівель, споруд, їх частин та конструктивних елементів [Текст]. – К.: Держбуд, 1995. – 23 с.

6. Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром [Текст] / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1987. – 80 с.

7. Голоднов, А.И. Определение остаточного ресурса железобетонных конструкций в условиях действующих предприятий [Текст] / А.И. Голоднов // Буд. конструкції: міжвідом. наук.-техн. зб. / НДІБК. – К.: НДІБК, 2005. – Вип. 62. – Т. 2. – С. 138-143.

8. Голоднов, А.И. Обоснование продления эксплуатации конструкций бескаркасных зданий [Текст] / А.И. Голоднов, К.А. Голоднов // Вісник Одеської держ. акад. будівництва та архітектури: зб. наук. праць. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2007. – Вип. 28. – С. 90-96.

9. Отрош, Ю.А. Актуальність забезпечення безпеки об'єктів будівництва [Текст] / Ю.А. Отрош, В.Г. Дагіль, Г.О. Малигін // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, 2012. – Вип. 70. – С.457-462.

10. Отрош, Ю.А. Комплекс взаємопов'язаних заходів щодо визначення параметрів напружено-деформованого і технічного стану конструкцій при різних впливах [Текст] / Ю.А. Отрош, А.П. Іванов, О.І. Голоднов // Зб. наук. праць Укр- ін-ту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – К. : Вид-во «Сталь», 2011. – Вип. 8. – С. 98-109.

11. Design of composite steel and concrete structures – Part 1-2: General rules - Structural fire design. EN 1994-1-2 (2005): Eurocode 4: – Brussels. – 2004, November. – 109 p.

12. Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design EN 1992-1-2 (2004): Eurocode 2: – Brussels. – 2004, June. – 97 p.

13. Ding, J. Realistic modelling of thermal and structural behaviour of unprotected concrete filled tubular columns in fire / J. Ding, Y.C. Wang // Journal of Constructional Steel Research, 2008 – Vol.64. – pp. 1086-1102.

14. Dai, X.H. A numerical study on the effect of concrete infill and intumescent coating to fire-resistant behaviour of stub elliptical steel hollow sections under axial compression / X.H. Dai, D. Lam // Advanced Steel Construction, 2014 –Vol. 10, No. 3. – pp. 310-324.

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

Отрош Юрій Анатолійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних конструкцій Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України. Тел.: (098) 214-63-75. E-mail: otrosh@i.ua.

Otrosh Yuriy Anatolievych PhD, Associate Professor department of building structures Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes National University of Civil Protection of Ukraine. Tel.: (098) 214-63-75. E-mail: otrosh@i.ua.

Прийнята 25.03.2016 р.

УДК 65.015.11:656.2.007.1

ЕРГОНОМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ МАШИНІСТІВ У ШВИДКІСНОМУ РУСІ

Доктори техн. наук В.Г. Брусенцов, М.І. Ворожбіян, В.Г. Пузир,
асист. О.В. Брусенцов

ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАШИНИСТОВ В СКОРОСТНОМ ДВИЖЕНИИ

Доктора техн. наук В.Г. Брусенцов, М.И. Ворожбян, В.Г. Пузырь,
ассист. О.В. Брусенцов

ERGONOMIC ENFORCEMENT OF DRIVER ACTIVITIES WORKING IN A HIGH-SPEED TRAFFIC

Doctors of technical sciences V.G. Brusentsov, M.I. Vorozhbiyan, V.G. Puzyr,
assist. O.V. Brusentsov

Впровадження швидкісного руху є пріоритетним напрямком розвитку залізничного транспорту, і при цьому посилюються фактори діяльності працівників локомотивних бригад. Їх можна поділити на інформаційні та функціональні. Перші пов'язані з ущільненням інформаційного потоку, що змушує функціонувати на межі психофізіологічних можливостей, другі – з підвищеними вимогами до функціональної надійності. Пропонується комплекс заходів ергономічного характеру для їх компенсації.

Ключові слова: швидкісний рух, працівники локомотивних бригад, ергономічна підтримка.

Внедрение скоростного движения является приоритетным направлением развития железнодорожного транспорта, но при этом ужесточаются факторы труда работников локомотивных бригад. Их можно разделить на информационные и функциональные. Первые связаны с уплотнением информационного потока, что заставляет функционировать на грани психофизиологических возможностей, вторые – с повышенными требованиями к функциональной надежности. Предлагается комплекс мероприятий эргономического характера для их компенсации.

Ключевые слова: скоростное движение, работники локомотивных бригад, эргономическая поддержка.

The introduction of high-speed service is a priority for the development of rail transport but labor factors of locomotive workers brigades are more difficult.. They can be divided into information and functionality. The first are related to the sealing of information flow that causes an employee to operate on the verge of psychophysiological features, the second are with high requirements for functional reliability. One of the main reliability activity indicator of locomotive workers brigades is timely action. For its implementation proper temporal redundancy is required, while increasing the movement speed is reduced or even disappeared. The load factor is also the driver control actions beyond the optimum driver job in a high-speed requires a high level of stress analyzer body systems, as well as the functions of memory and attention, which leads to their rapid exhaustion. It also increases the likelihood of such danger to the operator's status as a monotone, which leads to decrease of vigilance. These factors show that the provision of the required

reliability level and professional drivers in a high-speed movement is possible with the use of a number of additional measures for the ergonomic compensation nature.

Keywords: *high-speed service, locomotive workers brigades, ergonomic compensation nature.*

Вступ. Впровадження швидкісного руху є пріоритетним напрямком розвитку залізничного транспорту в усьому світі, в тому числі і в Україні, оскільки дає змогу досягати значного економічного і соціального ефекту [1]. При цьому виникає багато нових проблем і загострюються старі, мова йде перш за все про «людський фактор».

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Відомо, що останнім часом саме «людський фактор» є причиною переважної більшості порушень безпеки транспортного процесу. На залізницях України його частка доходить до 80 % [2]. Це відбувається при надзвичайно високому рівні зносу матеріально-технічної бази і природно, що в міру її поновлення співвідношення причин порушень у системі «людина - техніка» буде змішуватися ще більше в бік людини. Істотна частка цієї статистики припадає на працівників локомотивних бригад – велику професійну групу, що безпосередньо впливає на безпеку руху. Це пояснюється комплексом факторів, які знижують рівень їх професійної надійності і значимість яких посилюється в умовах швидкісного руху [3, 4].

Мета і завдання дослідження. Слід виявити фактори трудової діяльності працівників локомотивних бригад, які спричинюють зниження рівня їх професійної надійності в умовах швидкісного руху, і запропонувати засоби захисту від них.

Основна частина. Фактори, що знижують рівень професійної надійності працівників локомотивних бригад, значимість яких посилюється в умовах швидкісного руху, можна поділити на інформаційні та функціональні.

Інформаційні. Відомо, що діяльність машиніста – це процес переробки

безперервно одержуваної інформації. В цьому випадку одним з основних показників надійності діяльності працівників локомотивних бригад є своєчасність дії. Несвоєчасні дії часто призводять до того самого результату, що і явна помилка.

Висока надійність вимагає належного запасу надлишку часу, яка характеризується коефіцієнтом Кнад,

$$Кнад = Tв / Tз ,$$

де $Tз$ – тривалість вирішення даного завдання;

$Tв$ – час, який мають для вирішення даного завдання.

При підвищенні швидкості руху відповідно зменшується $Tв$, що ставить працівника в істотно ускладнені умови. Одним із шляхів досягнення достатнього Кнад є зниження $Tз$, що можливо, зокрема, шляхом тренажерної підготовки.

Інформаційну завантаженість машиніста також можна розглянути з позицій відомого в психології «закону Міллера», за яким обсяг безпосереднього сприйняття не залежить від кількості інформації в окремому стимулі, а визначається довжиною ряду пропонованих одиниць, межа якого становить 7 ± 2 . На думку інших авторів, цей ряд оцінюється у 5 ± 2 . Робота машиніста швидкісного руху у безаварійному режимі включає в себе 7 одиниць одночасного спостереження:

- 1) стан колії та простору навколо колій;
- 2) стан состава за бічними дзеркалами;
- 3) дані внутрішньої і зовнішньої світлової сигналізації;

4) інформація щодо обмежень швидкості і небезпечних місць з регламентної документації;

5) фактична швидкість руху за швидкостеміром, допустима швидкість і прискорення;

6) тиск у пневматичній системі потяга за манометрами;

7) сила струму тягових двигунів і напруга мережі живлення.

В окремі моменти цей ряд збільшується до 9 за рахунок необхідності сприйняття і оцінки даних додаткових контрольних-вимірювальних приладів. Таким чином, обсяг безпосереднього сприйняття машиніста швидкісного руху завантажений до верхньої фізіологічної межі і, безумовно, потребує оптимізації наданих даних і полегшення їх зчитування [5]. Це можливо шляхом використання інтегративних індикаторів, відомих в авіації та на військовому флоті.

Коефіцієнт завантаження машиніста керуючими діями становить у середньому 0,88 од., у той час як оптимальним рівнем завантаження для операторської діяльності вважається інтервал від 0,3 до 0,6 од. При роботі на звичайних за складністю ділянках колії завантаженість машиніста знижується до 0,78 од., що також не потрапляє в межі оптимуму [5].

Функціональні. Дослідження показують, що робота машиніста в умовах швидкісного руху передбачає високий рівень напруги нервових аналізаторів, а також функцій пам'яті та уваги, що призводить до їх швидкого стомлення. Як в прямому, так і зворотному рейсах відбувається виражене зниження акомодатії кришталіка. Разом зі зниженням функціонального стану периферичної ланки зорового аналізатора зафіксовані виражені зміни і його центральної ланки [5].

Суттєве значення має підвищена втомлюваність від роботи в такому режимі. Після тривалого нічного відпочинку в пункті обороту у машиністів реєструється

залишкове стомлення, що виражається не в повному відновленні рівня розумової працездатності, а також функціонального стану центральної ланки зорового аналізатора, що вказує на глибину післярейсового стомлення [5].

Особливості швидкісного руху, пов'язані із втомою та інформаційними факторами, підвищують ймовірність настання такого небезпечного для машиніста стану, як монотонія. Відомі випадки засинання машиніста під час руху зі швидкістю 300 км/год за наявності сотень пасажирів у потязі [6]. Ефективним засобом боротьби з накопиченою втомою може бути моніторинг рівня функціональної надійності працівника [7, 8].

Висновки. Зазначені фактори показують, що забезпечення необхідного рівня професійної надійності працівників локомотивних бригад в умовах швидкісного руху можливо при застосуванні ряду додаткових заходів ергономічного характеру:

1) посилення вимог психофізіологічного професійного відбору з огляду на динамічні характеристики вищої нервової діяльності і монотоностійкість;

2) об'єктивної оцінки та моніторингу рівня функціональної надійності, що включає рівень здоров'я і біологічний вік, у тому числі контроль залишкового стомлення;

3) застосування більш досконалих пристроїв контролю пильності, в тому числі таких, які допомагають машиністу боротися зі станом монотонії;

4) застосування інтегральних індикаторів, які знижують рівень інформаційного завантаження;

5) застосування в пунктах обороту засобів, які допомагають відновленню і якісному засинанню, зокрема пристроїв біологічного зворотного зв'язку;

6) посилення тренажерної підготовки для вироблення стійких навичок, що дають змогу знизити час прийняття рішень і одночасно знизити рівень емоційного стресу;

7) широкого впровадження профілактичних заходів, перш за все фізкультурного плану для боротьби з професійною гіподинамією.

Список використаних джерел

1. Фадеева, Г.Д. Развитие скоростного железнодорожного транспорта [Текст] / Г.Д. Фадеева, Л.А. Железняков // Молодой ученый. — 2014. — №8. — С. 297-298.
2. Аналіз стану безпеки руху в структурі Укрзалізниці у 2014 році [Текст] / Державна адміністрація залізничного транспорту України. Департамент безпеки руху. – К., 2015.
3. Брусенцов, В.Г. Дослідження структури функціональної надійності працівників локомотивних бригад [Текст] / В.Г. Брусенцов, В.Г. Пузир, М.І. Ворожбіян, І.І. Бугайченко, О.В. Брусенцов // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 99. – С.117-119.
4. Брусенцов, В.Г. Внедрение системы контроля функциональной надежности железнодорожных операторов [Текст] / В.Г. Брусенцов, В.Г. Пузырь // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2012. – № 5 (176). – Ч. 2. – С. 167-169.
5. Живаев, А.С. Физиологические аспекты обеспечения безопасности движения в высокоскоростном движении [Текст] / А.С. Живаев // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2008. – № 1 (11). – С. 76-81.
6. Машинист скоростного поезда заснул в пути [Электронный ресурс] // Информационная система News Vpn By. - 10.05.2010. – Режим доступа: news.vpn.by/world/Mashinist-skorostnogo-poezda-zasnul-v-puti.html.
7. Брусенцов, В.Г. Метод оценки функциональной надежности человека-оператора [Текст] / В.Г. Брусенцов, О.В. Брусенцов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2009. – №3/4 (39). – С. 42-45.
8. Самсонкин, В.Н. Исследование особенностей деятельности машиниста поезда в современных условиях: взгляд изнутри профессии [Текст] / В.Н. Самсонкин, Я.П. Петин // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 6/3(78). – С. 40-45.

Брусенцов Віталій Гаврилович, д-р техн. наук, доцент, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-56.

Ворожбіян Михайло Іванович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри охорони праці та навколишнього середовища Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-57.

Пузир Володимир Григорович, д-р техн. наук, професор, професор кафедри експлуатація та ремонт рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-20-79.

Брусенцов Олег Віталійович, асистент кафедри охорони праці та навколишнього середовища, Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 730-10-56 speedyjet@ua.fm.

Brusentsev Vitaly G., Ph.D. associate professor, professor of health and safety and the environment, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-56.

Vorozhbiyan Mikhail, Ph.D. Professor, Head of Occupational Safety and Environmental Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-57.

Puzyr Vladimir G., Ph.D. Professor, Professor of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-20-79.

Brusentsov Oleg V., assistant of the department of labor and the environment, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 730-10-56. E-mail: speedyjet@ua.fm.

Прийнята 25.03.2016 р.

УДК 629.4.027

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, ДІЮЧИХ НА ХОДОВІ ЧАСТИНИ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

Асп. В.О. Шовкун

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ХОДОВЫЕ ЧАСТИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Асп. В.А. Шовкун

ANALYSIS OF THE DYNAMIC LOADS ACTING ON THE RUNNING GEAR OF FREIGHT CARS

Graduate V.A. Shovkun

Розглянуто результати ходових динамічних випробувань та проаналізовано випадкові процеси зміни коефіцієнта вертикальної та горизонтальної динаміки. В результаті були отримані відповідні статичні характеристики, побудовані кореляційні функції для всіх процесів і отримані апроксимуючі залежності.

Ключові слова: буксовий вузол, підшипникові вузли, напіввагон, колісна пара.

Рассмотрены результаты ходовых динамических испытаний и проанализированы случайные процессы изменения коэффициента вертикальной динамики. В результате были получены соответствующие статические характеристики, построены корреляционные функции для всех процессов и получены аппроксимирующие зависимости.

Ключевые слова: буксовый узел, подшипниковые узлы, полувагон, колесная пара.

The results of dynamic tests are considered, and the casual processes of change the coefficient of vertical dynamics. Obviously, this depends obtained are the random process with sinusoidal component whose properties inherent significant scattering. Therefore, his research is necessary to use methods of probability theory and the theory of random functions. Loading axle unit is a random process. Experimental studies indicators of the dynamic quality cars performed using measuring equipment laboratory car-using strain gauges methods. For measuring and recording the dynamic processes in the course of running dynamic tests used mobile measuring-car computer system laboratory. The proper static descriptions were as a result got, and cross-correlation functions are built for all processes and approximating dependences are got.

Keywords: axle box, bearing assemblies, a pair of wheels.

Вступ. Буксовий підшипниковий вузол є одним з найважливіших елементів ходових частин вагона, від технічного стану якого значною мірою залежить надійність вагона в цілому. Важливим завданням, що стоїть перед науковцями у сфері вагонобудування, є підвищення експлуатаційної надійності рухомого складу з метою забезпечення безпеки руху

поїздів, поліпшення габаритно-масових характеристик, підвищення безремонтних пробігів вагонів.

Аналіз попередніх досліджень. Вагон як одиниця рухомого складу складається з великої кількості елементів. З аналізу причин відчеплень видно, що значна частина потрапляння вагонів у поточний ремонт відбувалась через

несправність буксових вузлів [2, 3]. Окрім статичних навантажень, що діють постійно від маси вагона бруто, буксовий вузол зазнає значних ударів при проходженні коліс по стиках рейок, від поштовхів під час гальмування поїзда, від дії відцентрової сили при проходженні кривих ділянок колії [1]. Також буксовий вузол вантажного вагона жорстко сприймає динамічні навантаження, що виникають при русі вагона. Це пов'язано, головним чином, з конструктивними особливостями ходових частин вантажних вагонів та наявністю навантажень, що діють уздовж осі колісної пари, які виникають під час експлуатації рухомого складу [4, 5].

Методи оцінки та прогнозування надійності роботи буксових вузлів не досконалі [6] і не повністю враховують природу дії всіх сил [9], вони базуються на досить простих положеннях, що в епоху сучасного розвитку обчислювальної техніки вимагає роботи над їх удосконаленням. Авторами в роботі [7] виконано аналіз динамічних навантажень, діючих на вагон, проте при розрахунках були враховані лише вертикальні динамічні сили. Підшипниковий вузол вантажного вагона являє собою складну механічну систему, на яку діють радіальні і осьові динамічні сили, і дія осьових сил викликає значні напруження в елементах підшипника. Тому при розрахунках довговічності слід враховувати їх сумісну дію.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження характеристик випадкових процесів зміни вертикальних та горизонтальних динамічних навантажень, які діють на колісні пари та буксові вузли вантажних вагонів під час руху поїзда.

Виклад основного матеріалу. Під час руху на колісну пару діють динамічні горизонтальні та вертикальні сили, дія яких враховується коефіцієнтами вертикальної та горизонтальної динаміки.

Для визначення характеристик випадкових процесів навантажень, діючих на буксові підшипникові вузли, ДП

УкрНДІВ були проведені динамічні випробування напіввагонів моделі 12-7023.

Експериментальні дослідження показників, що характеризують динамічні якості вагонів, виконувалися за допомогою вимірювального обладнання вагона-лабораторії з використанням методів тензометрії. Для вимірювань та реєстрації динамічних процесів під час проведення ходових динамічних випробувань застосовувався мобільний вимірювально-обчислювальний комплекс вагона-лабораторії ДП УкрНДІВ.

Обробка результатів динамічних випробувань здійснювалася методами математичної статистики. Залежність зміни коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки необресорених мас для колісної пари в завантаженому режимі показана на рис 1.

Очевидно, що ці отримані залежності являють собою випадковий процес із синусоїдальною складовою, параметрам якого властиве значне розсіювання. Тому для його дослідження необхідно застосовувати методи теорії імовірності і теорії випадкових функцій. Процес навантаження буксових вузлів являє собою випадковий процес.

Для стаціонарних випадкових процесів визначальними є математичне сподівання та дисперсія процесу. При цьому основні статистичні характеристики суми двох випадкових процесів зміни вертикальних та горизонтальних навантажень x_1 і x_2 відповідно будуть дорівнювати:

$$\bar{y} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2; \quad (1)$$

де $\bar{y}, \bar{x}_1, \bar{x}_2$ – математичне сподівання відповідно сумарного, вертикального та горизонтального випадкових процесів.

$$D_y = D_{x_1} + D_{x_2} + 2r\sqrt{D_{x_1} D_{x_2}}; \quad (2)$$

де D_y, D_{x_1}, D_{x_2} – дисперсії відповідно сумарного, вертикального та горизонталь-

ного випадкових процесів;
 r – коефіцієнт кореляції процесів x_1 і x_2 .

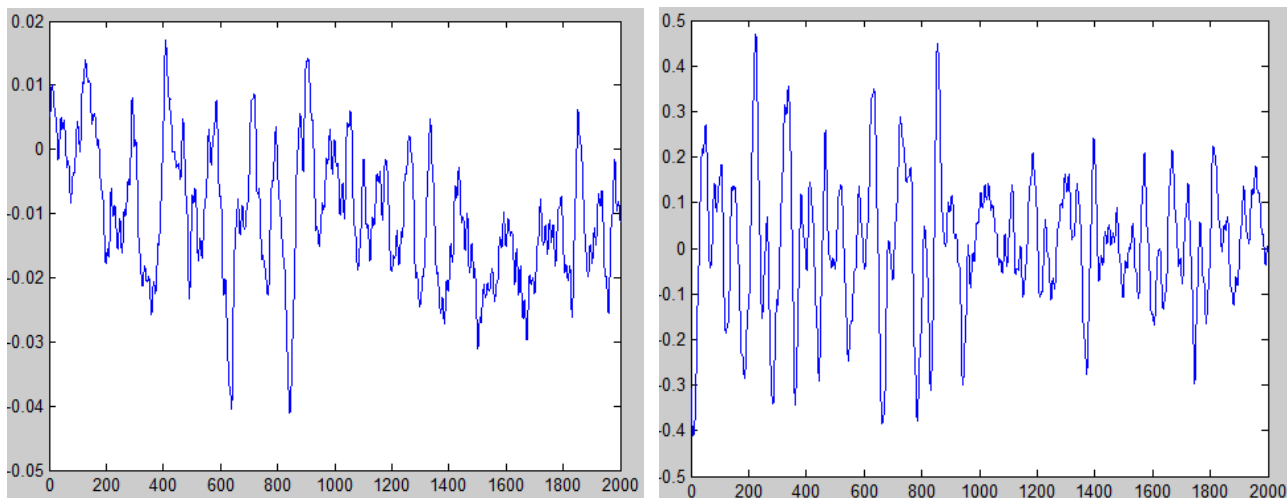


Рис. 1. Залежність зміни коефіцієнта вертикальної та горизонтальної динаміки для колісної пари на прямій ділянці колії при швидкості 120 км/год

Однією з найважливіших характеристик випадкових процесів зміни динамічних навантажень є кореляційна функція.

$$R_{(y)} = R_{x_1} + R_{x_2} + 2R_{x_1x_2}; \quad (3)$$

де R_y, R_{x_1}, R_{x_2} – кореляційні функції відповідно сумарного, вертикального та горизонтального випадкових процесів;

$R_{x_1x_2}$ – взаємна кореляційна функція процесів x_1 і x_2 .

За допомогою програмного комплексу «MATLAB» обчислені кореляційні функції для випадкових процесів, що характеризують сумісну дію зміни коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки вагона (рис. 2). Побудовані кореляційні функції дають змогу виконати оцінку надійності буксового вузла.

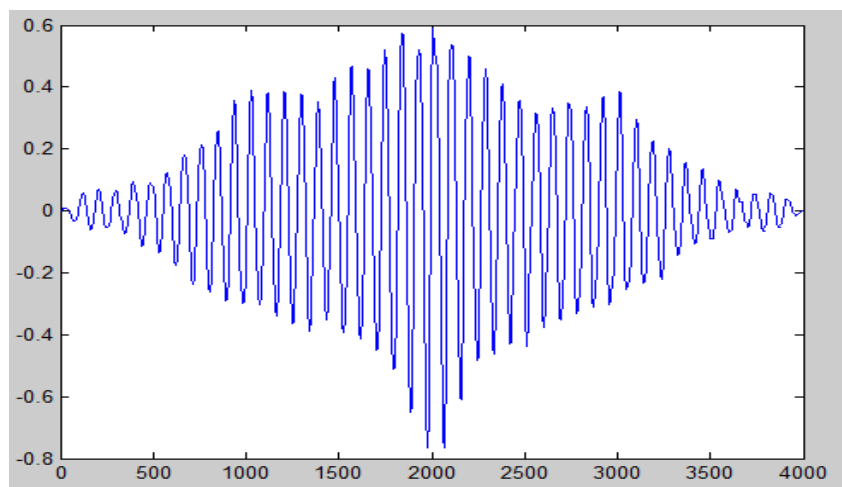


Рис. 2. Сумарні кореляційні функції для випадкових процесів зміни навантажень

Висновки. Доведено, що цей процес має стаціонарний та ергодичний характер. Проведений аналіз дав можливість стверджувати, що випадковий процес зміни коефіцієнтів вертикальних та горизонтальних динамічних навантажень

необресорених мас підкоряється нормальному закону розподілення. Визначені основні параметри, що характеризують ці процеси залежно від швидкості та режиму руху.

Список використаних джерел

1. Конструирование и расчет вагонов [Текст]: учебн. для вузов ж.-д. трансп. / В.В. Лукин [и др.]. – М.: УМК МПС России, 2000. – 731 с.
2. Мартынов, И.Э. Анализ опыта эксплуатации цилиндрических роликподшипников букс грузовых вагонов [Текст] / И.Э. Мартынов // Вісник Східноукраїнського державного університету. – Луганськ, 2000. – №5 (27). – С. 157-159.
3. Цюренко, В.Н. Опыт эксплуатации вагонов с буксовыми узлами на подшипниках качения [Текст] / В.Н. Цюренко // Пути совершенствования конструкций буксовых узлов вагонов с подшипниками качения: труды ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1982. – Вып. 654. – С. 4-26.
4. Цюренко, В.Н. Особенности работы крупногабаритных цилиндрических роликподшипников под действием осевых сил [Текст] / В.Н. Цюренко, И.Г. Цуркан, А.Н. Мирза // Вестник машиностроения. – 1974. – № 11. – С. 52-55.
5. Результати динамічних випробувань вагонів з дослідними роликпідшипниками [Текст] / А.В. Донченко [та ін.] // Зб. наук. праць Київського університету економіки і технологій транспорту. Сер. Транспортні системи і технології. – К., 2003. – Вип. 4. – С. 106-110.
6. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М., 1983. – 258 с.
7. Дослідження динамічних навантажень, що діють на буксові вузли вантажних вагонів [Текст] / А.В. Донченко [та ін.] // Зб. наук. праць – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 119. – С. 106-110.
8. Болотин, В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений [Текст] / В.В. Болотин. – М.: Стройиздат, 1971. – 256 с.
9. Мартинов, І.Е. Результати експлуатаційних випробувань здвоєних касетних циліндричних підшипників в буксах вантажних вагонів [Текст] / І.Е. Мартинов, А.В. Труфанова, Є.Р. Можейко, В.М. Ільчишин, В.О. Шовкун // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №7 (73). – С. 1-6.
10. Failure investigation of a taper roller bearing [Text] / K. Gurumoorthy, Arindam Ghosh // Case Studies in Engineering Failure Analysis, Volume 1, Issue 2, April 2013, P. 110-114.
11. Analyzing the load distribution of four-row tapered roller bearing with. [Text] / Xia Yang, Qingxue Huang, Chuang Yan // Engineering Analysis with Boundary Elements, Volume 56, July 2015, P. 20-29.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

Шовкун Вадим Олександрович, аспірант кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-35.

Shovkun Vadim, graduate department wagons The Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-35.

Прийнята 25.03.2016 р.

УДК 629.424.1:621.436.004.15

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ МОДУЛІВ ПІДСИСТЕМИ РОЗПОДІЛЬНОГО ВАЛА ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ Д49

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

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ МОДУЛЕЙ ПОДСИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ВАЛА ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ Д49

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

FEATURES OF GEOMETRICAL MODEL ELEMENTS SUBSYSTEM MODULES CAMSHAFT DIESEL LOCOMOTIVE D49

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

Розглянуто особливості побудови геометричних моделей елементів модулів підсистеми розподільного вала тепловозного дизеля д49. На основі дослідження структурно-функціональної схеми секції розподільного вала запропоновано розглядання кулачкового механізму газорозподілу у вигляді трьох послідовно з'єднаних модулів: початкового, з'єднувального та виконавчого. Подані результати геометричного моделювання елементів виділених модулів. Наведені рекомендації щодо використання розроблених моделей.

Ключові слова: дизель, механічна система, кулачковий механізм.

Рассмотрены особенности построения геометрических моделей элементов модулей подсистемы распределительного вала тепловозного дизеля Д49. На основе исследования структурно-функциональной схемы секции распределительного вала предложено рассмотрение кулачкового механизма газораспределения в виде трех последовательно соединенных модулей: начального, соединительного и исполнительного. Представлены результаты геометрического моделирования элементов выделенных модулей. Приведены рекомендации по использованию разработанных моделей.

Ключевые слова: дизель, механическая система, кулачковый механизм.

The features of constructing geometric models of elements of modules subsystem camshaft diesel D49 diesel engine. Based on the study of structural and functional diagram of a camshaft section offered to the consideration of the cam timing mechanism in the form of three series-connected modules: basic, connection and actuator. The results of geometric modeling elements selected modules. The recommendations for the use of the developed models.

Keywords: diesel, manual system, a cam mechanism.

Аналіз останніх досліджень. Необхідність великого обсягу перевезень транспорт до однієї з

результатів здійснення залізничний

найважливіших

складових транспортної мережі України. Це визначає відповідні вимоги до забезпечення якості перевізного процесу, у задоволенні яких вагома роль відводиться вантажним та пасажирським тепловозам. З

урахуванням повільних темпів оновлення тягового рухомого складу Укрзалізниці актуальним стає питання підтримки наявного експлуатаційного парку тепловозів у працездатному стані.

В експлуатаційному парку Укрзалізниці значну частку складають вантажні і пасажирські тепловози, які обладнані енергетичними установками тепловоза (ЕУТ) з чотиритактними V-подібними дизелями типу Д49. Тому особливого значення набуває проблема забезпечення їх експлуатаційної надійності та довговічності. Це обґрунтовує необхідність проведення розрахунково-експериментальних досліджень з визначення напружено-деформованого стану окремих деталей, механізмів і агрегатів дизеля [1, 8], до яких в першу чергу відноситься кулачковий механізм газорозподілу (КМГР) та привода паливних насосів високого тиску [2], що входять до складу підсистеми розподільного вала (ПРВ) дизеля.

Особливого значення при вирішенні вказаної задачі набуває оцінювання напружено-деформованого стану окремих деталей і вузлів КМГР. Це потребує проведення розрахункових досліджень кінематики та силової взаємодії між окремими вузлами з урахуванням впливу виду взаємозв'язків між деталями та особливостей конструкції ПРВ з метою оцінювання міцності деталей, уточнення діючих навантажень та напружень в окремих перерізах, а також проведення гармонічного аналізу коливань, що виникають в процесі роботи механізмів [3].

Одним з можливих напрямків, що може бути обраний для проведення досліджень з описання напружено-деформованого стану та коливальних процесів в ПРВ, є використання сучасного програмного забезпечення [4]. Поряд з цим, для проведення досліджень з використанням програмного забезпечення виникає

необхідність відповідної до реальної конструкції КМГР геометричної моделі, яка складається з відповідних геометричних моделей складових елементів [5].

Метою статті є описання особливостей побудови геометричних моделей елементів модулів підсистеми розподільного вала дизеля типу Д49.

На першому етапі досліджень були досліджені особливості взаємодії між вузлами механічної системи ПРВ та розроблена відповідна структурно-функціональна схема (рис. 1).

З схеми видно, що підсистема розподільного вала складається з комплекту впускних, випускних і паливних кулачків кожного циліндрового модуля, змонтованих на розподільному валу, механізмів привода клапанів, клапанів, а також паливних насосів високого тиску, розташованих у лоток дизеля [6].

Привод розподільного вала через відповідну шестірню передає обертання від колінчастого вала до розподільного, зафіксовані на ньому за допомогою шпонок кулачки задають необхідний закон впуску повітря і впуску відпрацьованих газів клапанам за допомогою механізму газорозподілу. Також на розподільний вал монтуються паливні кулачки, що керують роботою паливних насосів високого тиску. Слід зауважити, що механізми секції розподільного вала, які відносяться до одного циліндрового модуля [7], розраховані на роботу двох циліндрів, лівого та правого ряду.

На наступному етапі були проведені дослідження, спрямовані на описання особливостей конструкції привода впускних та випускних клапанів, а також паливних насосів, в результаті проведення яких були розроблені відповідні кінематичні схеми. Наприклад, кінематичну схему КМГР привода впускних клапанів наведено на рис. 2.

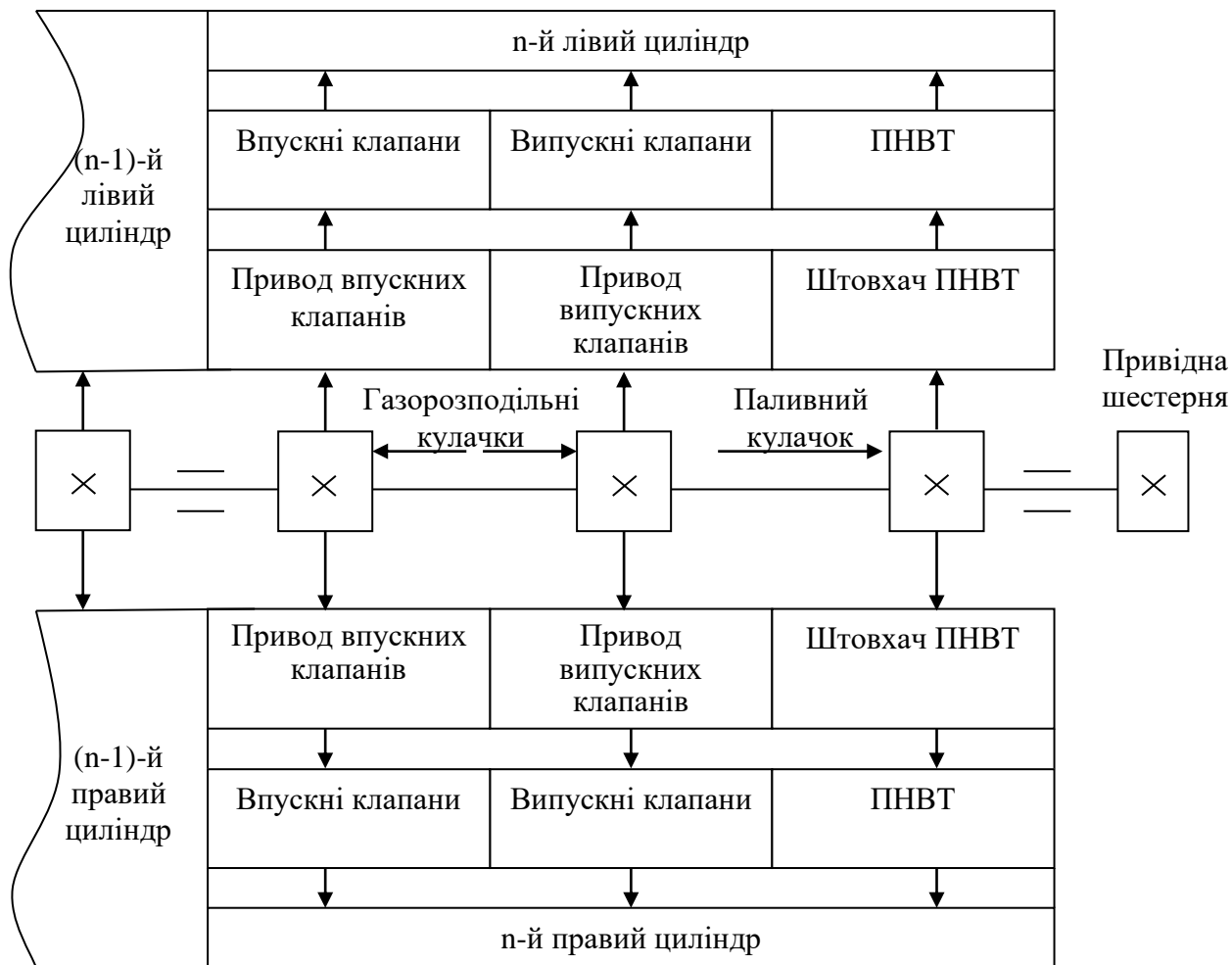


Рис. 1. Структурно-функціональна схема секції розподільного вала

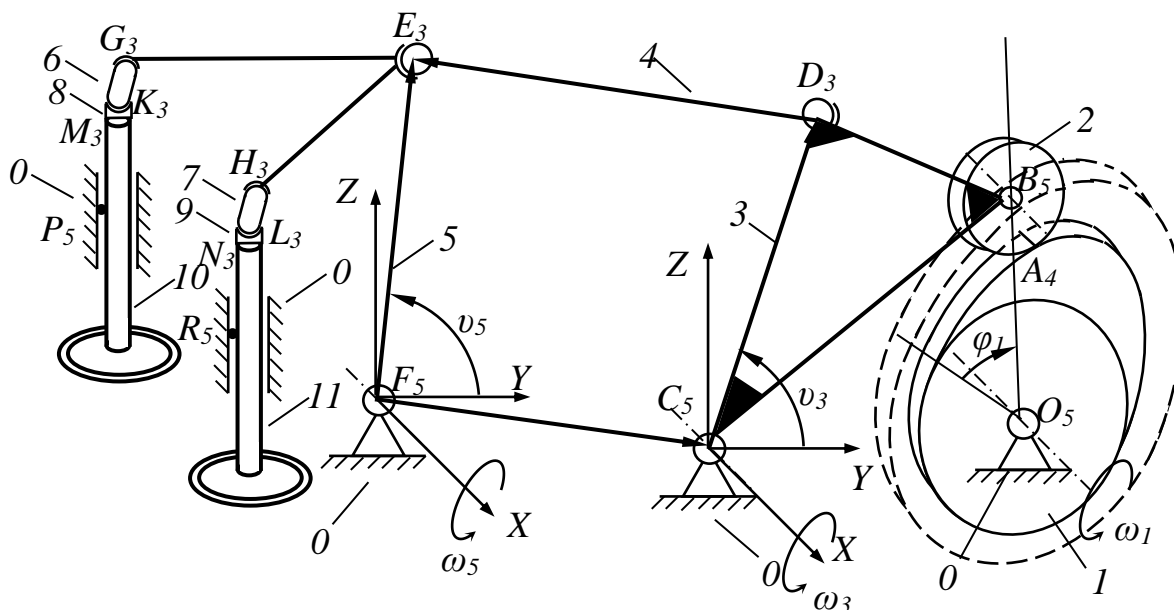


Рис. 2. Кінематична схема механізму привода клапанів дизеля Д49

Розроблені кінематичні схеми дозволяють дослідити особливості конструкції ПРВ та взаємодії між окремими деталями механізму. Так, в механізмі, що наведено на рис. 2, зусилля передаються наступним чином. Кулачок 1 приводить до руху коромисловий роликочий штовхач 3 з роликом 2. Передача руху від штовхача 3 на важіль 5 здійснюється за допомогою штанги 4. Важіль 5 через штовхачі 6, 7 і

бойки 8, 9 діє на клапани 10 і 11, що рухаються вздовж напрямних 0. В наведеній схемі штовхач 3 та важіль 5 здійснюють обертальний рух в зміщених паралельних площинах ZU . Тому штанга 4 здійснює просторовий рух [6].

На третьому етапі, з метою спрощення виконання досліджень, механізм що досліджується, розглянуто у вигляді трьох модулів (рис. 3).

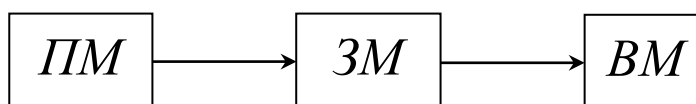


Рис. 3. До постановки задачі розробки геометричних моделей

PM – початковий (вхідний) модуль об'єднує частину розподільного вала, відповідний кулачок, ролик з віссю та штовхач з втулкою.

ZM – з'єднувальний модуль – штанга.

VM – виконавчий модуль об'єднує важіль, штовхачі, бойки та клапани.

На наступному етапі були розроблені геометричні моделі елементів модулів у середовищі сучасного програмного забезпечення, а саме SolidWorks.

Розробка моделей передбачає таку послідовність дій:

1) визначається початкова форма елемента у вигляді найпростіших геометричних фігур (циліндр, паралелепіпед, тощо...) та будується креслення-заготівка;

2) задається і будується загальний вигляд елемента з урахуванням відповідних розмірів на основі робочих креслень деталі;

3) додаються особливості конструкції з урахуванням їх реальних розмірів.

Наприклад, на рис. 4, окрім інших, наведено вид геометричної моделі ролика штовхача (в). Для її розробки використано такий алгоритм:

1) як початкову форму обрано циліндр;

2) відповідно до креслення побудовано ескіз кола радіусом 27,5 мм та побудовано циліндр висотою 22 мм за допомогою команди «Витягнута бобишка»;

3) на бокові грані побудовано коло радіусом 10 мм та за допомогою команди «Витягнутий виріз» додано отвір під вісь. Також на цьому етапі було використано команду «Фаска» розміром $2 \times 45^\circ$.

За допомогою наведеного вище алгоритму були розроблені геометричні моделі усіх елементів виділених підсистем. На рис. 4 подано загальний вигляд моделей початкового модуля (а – фрагмент вала, б – кулачок, в – ролик, г – вісь, д – важіль, е – упор), на рис. 5 з'єднувального та виконавчого модулів (а – штанга, б – траверса, в – штовхач, г – бойок, д – клапан).

Також до переваг використання розроблених геометричних моделей слід віднести можливість оперативно змінювати геометричні параметри деталей, що входять до складу механізму. Так, наприклад, в разі необхідності дослідження впливу на роботу КМГР різних профілів кулачка достатньо відреагувати ескіз (координатний профіль) в файлі «Кулачок», перебудова геометричної моделі буде виконана автоматично (рис. 6).

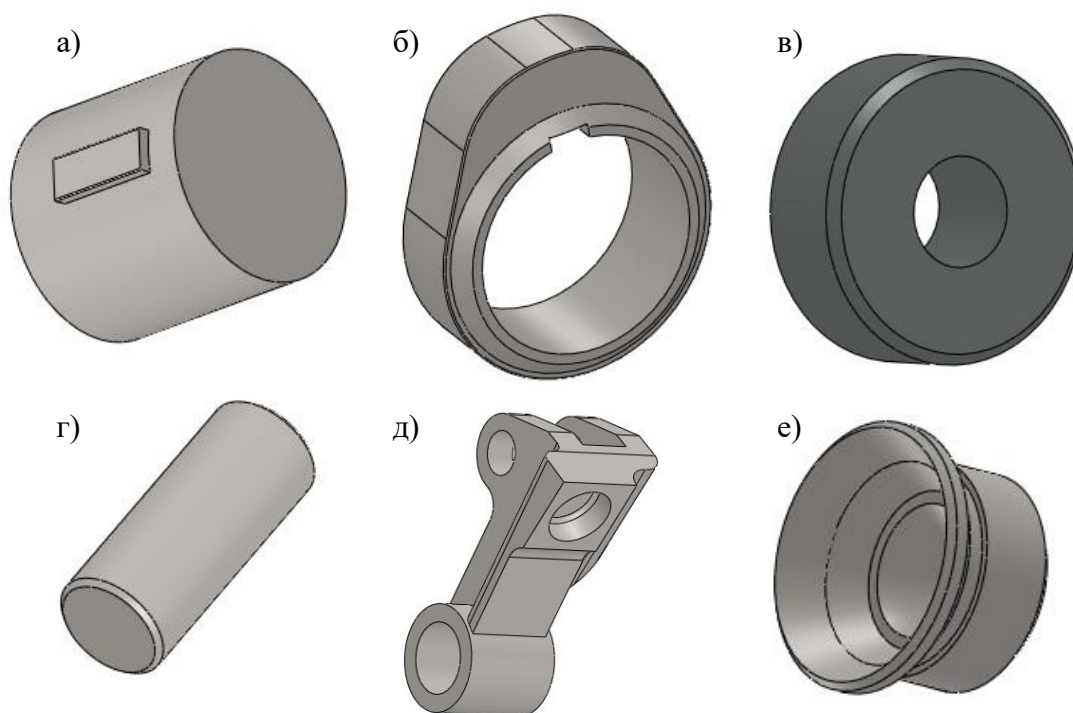


Рис. 4. Геометричні моделі елементів початкового модуля

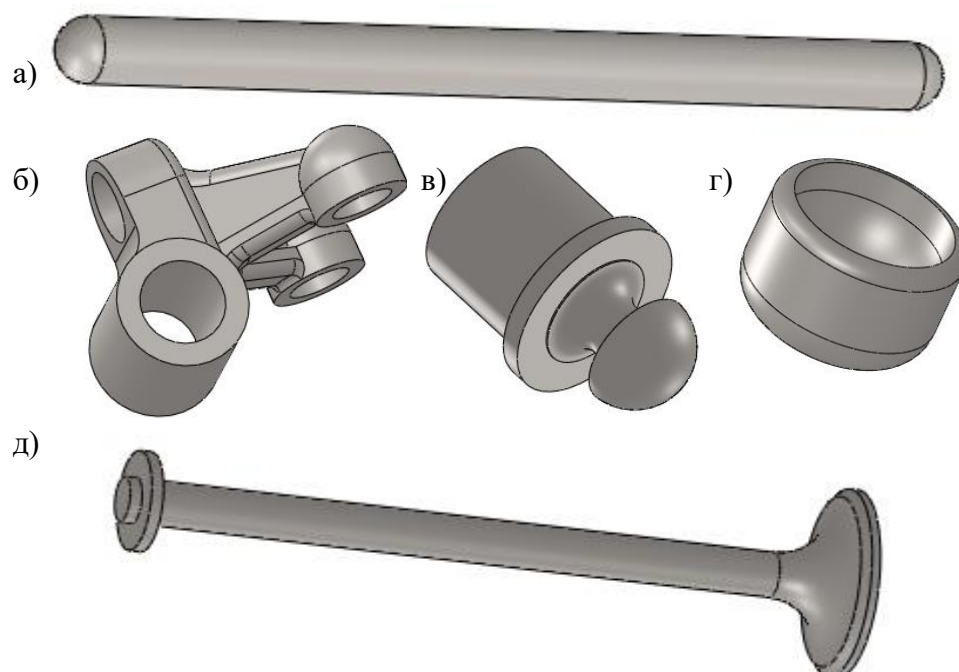


Рис. 5. Геометричні моделі елементів з'єднувального та виконавчого модулів

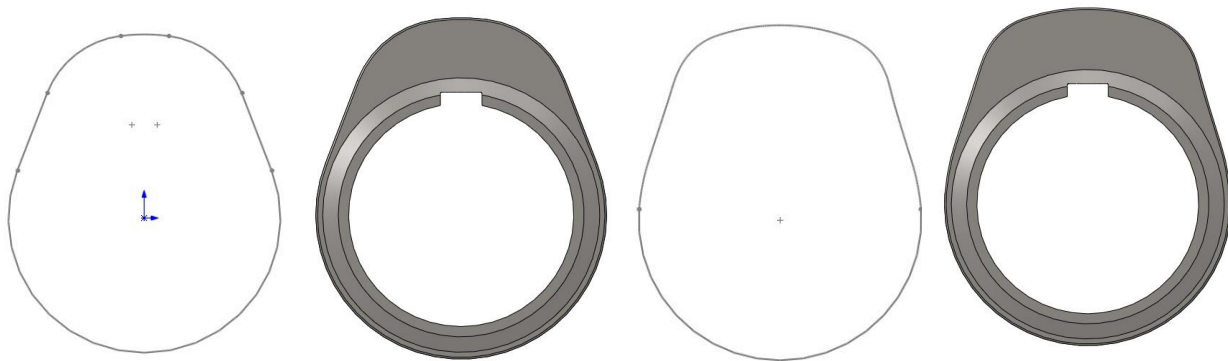


Рис. 6. Ескізи координатних профілів кулачків та відповідні геометричні моделі

Висновки і рекомендації з подальшого використання отриманих результатів. Поданий у статті підхід, розроблений на його основі геометричні моделі є основою для створення комплексної 3D моделі, яка дозволить проводити моделювання характеристик

функціонування вузлів підсистеми розподільного вала дизеля Д49. Це відіграє важливу роль в оцінюванні їх напружено-деформованого стану для забезпечення належної працездатності і надійності дизелів ще на стадії проектування.

Список використаних джерел

1. Мороз, В.І. Уточнена методика силового розрахунку кривошипно-шатунного механізму V-подібного тепловозного дизеля [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, В.С. Тіщенко // Перспективи розвитку рухомого складу залізниць: зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 76. – С. 157-164.
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. Мороз, В.І. Гармонійний аналіз формування крутних моментів в механічній системі енергетичної установки тепловоза з дизелем Д49 [Текст] / В.І. Мороз, О.В. Братченко, В.С. Тіщенко // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2014. – Вип. 38. – С. 98-103.
4. Тику, Ш. Эффективная работа: SolidWorks 2004 [Текст] / Ш. Тику. – СПб.: Питер, 2005. – 768 с.
5. Пестренин, В.М. Итерационный конечно-элементный алгоритм исследования напряженного состояния элементов конструкций с особыми точками и его реализация [Текст] / В.М. Пестренин, И.В. Пестренина, Л.В. Ландик // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2015. – № 4. – С. 171 – 187. DOI: 10.15593/pern.mech/2015.4.11.
6. Тепловозные дизеля типа Д49 [Текст] / под ред. Е.А. Никитина. – М.: Транспорт, 1982. – 255 с.
7. 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.

8. Darya zadeh S., Lvov G.I. A two-level numerical method for calculation of micro- stress on reinforced plates with circular hole in case of extension normal to principal direction // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2015. – No1. – С. 148–157. DOI: 10.15593/perm.mech/2015.1.10.

Мороз Володимир Ілліч, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-51.

Братченко Олександр Васильович, канд. техн. наук, професор кафедри механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-53.

Тіщенко Вадим Сергійович, канд. техн. наук, доцент кафедри механіки і проектування машин Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.(057) 730-10-53.

Moroz Volodimir Ilich doct. tech. sciences, professor, manag. of department mechanical engineers and designing the machines Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.(057) 730-10-53.

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.

Прийнята 25.03.2016 р.

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

**COLLECTED SCIENTIFIC WORKS OF UKRAINIAN STATE
UNIVERSITY OF RAILWAY**

Випуск 160

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

Статті друкуються в авторській редакції мовою оригіналу

Відповідальний за випуск Янченко Л.В.

Редактори Буранова Н.В., Еткало О.О., Решетилова В.В.

КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 29.03.2016 р.
Формат паперу А4. Папір писальний.
Умовн.-друк.арк. 7,0. Тираж 105. Замовлення № .

Видавець Український державний університет залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.