



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 195

Харків 2021

УДК 656.2(062)

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

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

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

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

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

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

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

Реферативна база

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

ISSN (p) 1994-7852

ISSN (online) 2413-3795

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р.
Друкується за рішенням вченої ради університету, протокол № 1 від 02 лютого 2021 р.

Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту включено до списку друкованих (електронних) періодичних видань, що включаються до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Наказ МОН України від 15.10.2019 р. № 1301).

Редакційна колегія

Головний редактор – Вовк Руслан Володимирович, доктор фізико-математичних наук, професор, УкрДУЗТ

Випусковий редактор – Кравець Андрій Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, УкрДУЗТ

Залізничний транспорт (273)

Пузир В. Г., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Фомін О. В., д.т.н., доцент (ДУІТ, м. Київ)
Путято А. В., д.т.н., доцент (БДУТ, Білорусь)
Горобченко О. М., д.т.н., доцент (ДУІТ, м. Київ)
Дацун Ю. М., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Мартинов І. Е., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Vureika G., dsc, professor (VGTU, Литва)
Михалків С. В., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Ловська А. О., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)

Будівництво та цивільна інженерія (192)

Бліхарський З. Я., д.т.н., професор
(НУ Львівська політехніка)
Борзяк О. С., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Ватуля Г. Л., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Лобяк О. В., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Орел Є. Ф., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Плугін А. А., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Плугін Д. А., д.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Пушкарьова К. К., д.т.н., професор (КНУБА)
Толмачов С. М., д.т.н., професор (ХНАДУ)
Трикоз Л. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Шабанова Г. М., д.т.н., професор (НТУ ХП)
Шмуклер В. С., д.т.н., професор (ХНУМГ)
Fisher Hans-Bertram., dr. ind., professur (Bauhaus-
Universitet Weimar F.A., Німеччина)
Опанасенко О. В., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)

Механічна інженерія (131, 132, 133)

Астанін В. В., д.т.н., професор (НАУ м. Київ)
Воронін С. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Геворкян Е. С., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Ковальова І. М., к.т.н., доцент (НАНБ, Білорусь)
Онопрейчук Д. В., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Стефанов В. О., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Тимофеев С. С., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Тимофеева Л. А., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Федориненко Д. Ю., д.т.н., професор (ЧНТУ,
м. Чернігів)

Транспортні технології (275)

Панченко С. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Бутько Т. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Прохорченко А. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Шраменко Н. Ю. д.т.н., професор (ХНТУСГ)
Мороз М. М. д.т.н., професор (КНУ, м. Кременчук)
Кириллова О. В., д.т.н., доцент (ОНМУ, м. Одеса)
Бабаєв М. М., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Лаврухін О. В., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Потапов Д. О., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Ходаківський О. М., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)

Геодезія та землеустрій (193)

Eimuntas Paršeliūnas, Prof. Habil Dr. (VGTU, Литва)
Jūrate Sužiedelytė Visockienė, Assoc. Prof. Dr.
(VGTU, Литва)
Угненко Є. Б., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Маланчук М. С., д.т.н., доцент (НУ «Львівська
політехніка»)
Церклевич А. Л., д.т.н. професор (НУ «Львівська
політехніка»)
Viselga Gintas, Assoc. Prof. Dr. (VGTU, Литва)
Мамонов К. А., д.е.н., професор (ХНУМГ)
Савенко В. Я., д.т.н., професор (НТУ, м. Київ)

Теплоенергетика (144)

Каграманян А. О., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Мороз В. І., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Фалендиш А. П., д.т.н., професор (УкрДУЗТ)
Грицук І. В., д.т.н., доцент (ХМДА, м. Херсон)
Сотник М. І., д.т.н., доцент (СДУ, м. Суми)
Дешко В. І., д.т.н., професор (НТУ, м. Київ)
Володарець М. В., к.т.н., старш. викл. (УкрДУЗТ)
Бабіченко Ю. А., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)
Pavlenko A., dsc. tech., profesor (KUT, Poland)
Bartoszewicz J., dsc. tech., profesor (PUT, Poland)
Tomaszewski F., phd, profesor (PUT, Poland)

ЗМІСТ

Залізничний транспорт (273)

- Фомін О. В., Ватуля Г. Л., Ловська А. О.* Визначення навантаженості несучої конструкції вагона-платформи при перевезенні військової техніки 6

Будівництво та цивільна інженерія (192)

- Дериземля С. В.* Обґрунтування та вибір раціональних конструктивних перерізів, можливості їх застосування у різних напрямках будівництва 20
- Петрова О. О., Хаммуд М. Т.* Визначення характеру руйнування та несучої здатності залізобетонних колон у сітчастих обоямах 25
- Дегтяр Є. Г.* Розрахунок конструкції каналізаційного колектора при його ремонті та відновленні відкритим способом 35
- Андрух С. Л., Теліченко О. І.* Оцінка з підвищення сейсмостійкості цегляної кладки будівель та споруд з пошкодженнями та дефектами 41
- Ковтун П. В., Разводов К. С.* Особенности производства светопроводящего бетона и перспективы применения его в железнодорожном строительстве 51

Механічна інженерія (131, 132, 133)

- Фідровська Н. М., Слепужніков Є. Д., Пономаренко Р. В., Козодой Д. С.* Експериментальне дослідження динамічних зусиль при роботі механізму пересування вантажного візка мостового крана 60

Транспортні технології (275)

- Ломотько Д. В., Головань К. Р.* Аналіз сучасного стану ринку контейнерних перевезень та напрями його розвитку на маршруті Китай – Україна – ЄС 70
- Stepanov O.* Social Orientation of Road Safety in the Transport Process 78

ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ (273)

УДК 629.463.62

ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Доктори техн. наук О. В. Фомін, Г. Л. Ватуля, канд. техн. наук А. О. Ловська

LOADING ON THE CARRYING STRUCTURE OF A FLAT WAGON IN TRANSPORTATION OF MILITARY EQUIPMENT

D. Sc. (Tech.) O. V. Fomin, D. Sc. (Tech.) G. L. Vatulia, PhD (Tech.) A. O. Lovska

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.195.2021.240874>

Анотація. У статті наведено результати досліджень навантаженості несучої конструкції вагона-платформи при перевезенні військової техніки. Для забезпечення надійності кріплення військової техніки пропонується встановлення на несучу конструкцію вагона-платформи спеціальних римів. Результати розрахунку на міцність підтвердили доцільність запропонованого рішення. Досліджено динамічну навантаженість удосконаленої несучої конструкції вагона-платформи. Встановлено, що хід вагона оцінюється як «добрий». Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності експлуатації рухомого складу шляхом залучення до військово-стратегічних питань, а також будуть корисними напрацюваннями при проектуванні та створенні інноваційних конструкцій рухомого складу.

Ключові слова: вагон-платформа, несуча конструкція, міцність, динамічна навантаженість, модальний аналіз, комбіновані перевезення.

Abstract. The article presents the results of determining the loads on the carrying structure of a flat wagon transported military equipment. The authors suggest that stable fixation of military equipment can be provided with special rings mounted on the flat wagon structure. The results of the strength calculation confirmed the efficiency of this solution. The study deals with the mathematical modelling of the dynamic loads on the carrying structure of a flat wagon with a military tank. The research was made for the plane coordinates. The following oscillations were taken into account: longitudinal plane oscillations, jumping oscillations and galloping oscillations. The differential equations were solved by the Runge–Kutta method in MathCad software suite. The maximum accelerations on the carrying structure of a flat wagon in the longitudinal plane were about 34 m/s^2 , and in the vertical plane were about 5.0 m/s^2 . Thus, these accelerations values were within the admissible ones.

The study also presents the results of the computer modelling of the dynamic loads on the flat wagon. The calculations were made in SolidWorks Simulation (CosmosWorks) software suite with the finite element method. The study presents the distribution fields of the accelerations relative to the carrying structure of a flat wagon and the numerical values of these accelerations.

The models of the dynamic loads on the carrying structure of a flat wagon were verified with an F-test. It has been found that the hypothesis on adequacy is not rejected.

The study also included determination of the natural frequencies of the carrying structure of a flat wagon. It was found that the values of the natural frequencies were within the permissible values.

This research will contribute to better operation efficiency of the rolling stock with consideration of some military-strategic issues, and will be of help for anyone concerned with development and research into innovative rolling stock structures.

Keywords: flat wagon, carrying structure, strength, dynamic loading, modal analysis, combined transport.

Вступ. Перспективи розвитку транспортної інфраструктури викликають необхідність підвищення ефективності експлуатації залізничного транспорту як її провідної галузі. При цьому особлива увага має приділятися технічній забезпеченості залізничного парку. Для утримання лідерських позицій залізничної галузі важливим є впровадження в експлуатацію багатофункціонального рухомого складу, конструкція якого має забезпечувати можливість не тільки перевезень вантажів, а і залучення до військово-стратегічних цілей.

Основним типом вагона, який використовується для перевезень військової техніки, є вагони-платформи. З метою забезпечення стійкості військової техніки на залізничному рухомому складі виконується її закріплення. При цьому можуть використовуватися такі способи [1, 2]:

- універсальними багатообертовими кріпленнями (перший спосіб);
- металевими шпорами (другий спосіб);
- дерев'яними упорними брусками та дротовими (табельними) розтяжками (третій спосіб);
- металевими упорними башмаками та дерев'яними вкладишами (четвертий спосіб);
- дерев'яними упорними брусками та вкладишами (п'ятий спосіб);
- струбцинами-розтяжками та струбцинами (шостий спосіб).

Усі способи (окрім п'ятого) використовують під час перевезення техніки у складі військових ешелонів, а також транспортування з караулами.

Багатообертові засоби закріплення наведено на рис. 1. Схеми закріплень військових танків на вагонах-платформах подано на рис. 2 [3, 4].

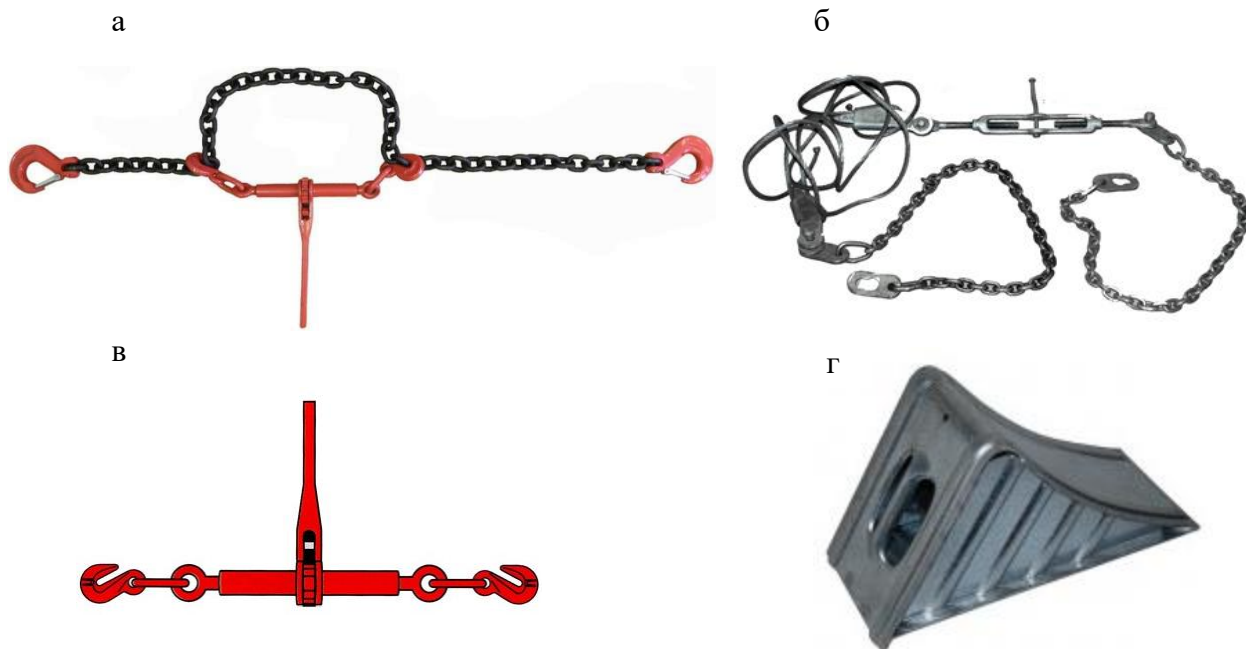


Рис. 1. Багатообертові засоби закріплення:
а, б – табельні розтяжки; в – талреп; г – металевий башмак

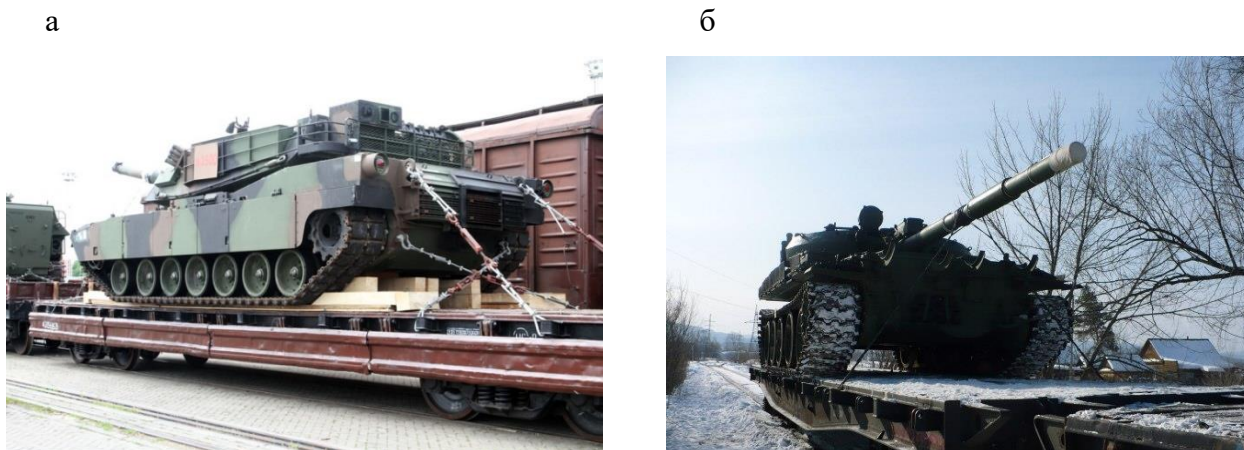


Рис. 2. Закріплення танків на вагонах-платформах: а – табельними розтяжками; б – тросами

Засоби закріплення є знімними. Щодо гальмівних башмаків – вони можуть виготовлятися металевими або дерев'яними. Також є можливість використання дерев'яних брусків або вкладишів.

Важливо зазначити, що наявна нормативна документація, яка використовується при проектуванні вагонів, не висвітлює повною мірою особливостей навантаженості рухомого складу при перевезенні військової техніки. Тому важливим є створення відповідних напрацювань у цьому напрямку з можливістю подальшого впровадження при проектуванні інноваційних несучих конструкцій вагонів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз способів кріплення військової техніки при перевезенні на вагонах-платформах проводиться у [5]. Визначено чинники, що зумовлюють виникнення різних за величиною динамічних навантажень, та їх вплив на надійність кріплення військової техніки на вагоні. Запропоновано нову конструкцію тросової табельної розтяжки, яка обладнана натяжними силовими гвинтами.

Особливості перевезення автомобільної техніки залізницею висвітлюються у роботі [6]. Розглянуто конструкцію багатообертових засобів закріплення, які використовуються при цьому. Проведено аналіз часу закріплення автомобільної техніки на вагоні-платформі.

Однак при цьому визначенню динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів при взаємодії з багатообертовими засобами закріплення уваги не приділено.

Результати визначення показників міцності довгобазної конструкції вагона-платформи наведено в роботі [7]. Розрахунок здійснено для двох варіантів завантаження, при яких було отримано найбільші згинальні моменти. Визначення максимальних еквівалентних напружень в основних несучих елементах рами здійснено за методом скінченних елементів.

Особливості теоретичних та експериментальних досліджень міцності елементів рухомого складу висвітлюються у роботі [8]. Приклад використання запропонованого підходу засвідчив його працездатність та ефективність, а також правильність спрямування відповідних науково-дослідних робіт. Однак при проведенні розрахунків несучих конструкцій вагонів не враховано навантажень, які можуть діяти на них при перевезенні військової техніки.

Особливості проектування залізничного вагона для інтермодальних перевезень з адаптованою завантажувальною платформою розглянуто у [9]. Прийняті конструкційні рішення обґрунтовано статичними та динамічними дослідженнями в програмних комплексах ANSYS і ADAMS/Rail. Разом з цим у статті не висвітлюються питання

можливості перевезень військової техніки на розробленій конструкції вагона-платформи.

У роботах [10, 11] розглянуто особливості динамічної навантаженості несучих конструкцій вагонів при веденні з них вогневої дії. Наведено результати розрахунку на міцність несучих конструкцій вагонів. Однак не висвітлено особливостей динамічної навантаженості вагонів при перевезеннях військової техніки залізницею в умовах експлуатаційних режимів.

Аналіз конструкції вагона для перевезення великовагових вантажів проводиться у роботі [12]. Вказано особливості розрахунку на міцність несучої конструкції вагона. При цьому в роботі не приділяється уваги дослідженню динаміки несучої конструкції вагона. Тобто при розрахунках на міцність автори обмежилися нормативними значеннями навантажень.

Аналіз літературних джерел [5–12] дає змогу дійти висновку, що питання навантаженості несучих конструкцій вагонів при перевезенні військової техніки досі не висвітлювалися належним чином. Тому для підвищення ефективності використання вагонів у військово-стратегічних питаннях важливим є проведення відповідних досліджень у цьому напрямі.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою статті є визначення

навантаженості несучої конструкції вагона-платформи при перевезенні військової техніки в умовах експлуатаційних режимів. З цією метою поставлено такі завдання:

1. Запропонувати заходи щодо удосконалення несучої конструкції вагона-платформи для забезпечення надійності кріплення військової техніки. Провести розрахунок на міцність.

2. Провести математичне моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи, завантаженої військовим танком.

3. Провести комп'ютерне моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи, завантаженої військовим танком.

4. Провести верифікацію розроблених моделей.

5. Визначити власні частоти коливань несучої конструкції вагона-платформи.

Основна частина дослідження. На сьогодні закріплення військової техніки на вагоні-платформі здійснюється за елементами рами, які не призначені для цього. Така ситуація може спричинити пошкодження несучої конструкції вагона-платформи при експлуатаційних режимах навантаження. У зв'язку з цим запропоновано здійснювати встановлення на несучу конструкцію спеціальних римів (рис. 3).

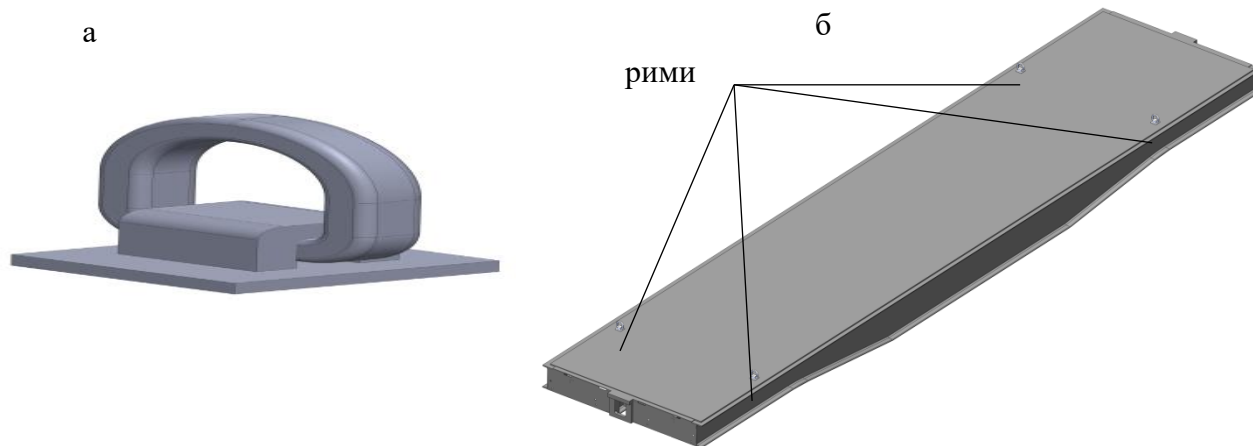


Рис. 3. Удосконалення несучої конструкції вагона-платформи для забезпечення надійності кріплення військової техніки: а – рим; б – розміщення римів на несучій конструкції вагона-платформи

Окрім цього, є можливим використання відкидних конструкцій римів та їх розміщення у шаховому порядку для кріплення військової техніки з різними габаритами.

Для визначення міцності несучої конструкції вагона-платформи проведено розрахунок у програмному комплексі

SolidWorks Simulation (CosmosWorks), який реалізує метод скінченних елементів.

Як скінченні елементи використані ізопараметричні тетраедри. Визначення оптимальної кількості елементів скінченно-елементної моделі (СЕМ) проведено графоаналітичним методом [13, 14]. Результати розрахунку наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика СЕМ несучої конструкції вагона-платформи

Кількість елементів	321128
Кількість вузлів	108293
Максимальний розмір елемента, мм	200
Мінімальний розмір елемента, мм	40
Максимальне співвідношення боків елементів	2422,7
Відсоток елементів зі співвідношенням боків менше трьох	11
Відсоток елементів зі співвідношенням боків більше десяти	30,5
Мінімальна кількість елементів у колі	9
Співвідношення збільшення розміру елемента	1,7

Розрахункову схему несучої конструкції вагона-платформи подано на рис. 4. Враховано, що на несучу конструкцію вагона-платформи діє вертикальне статичне навантаження P_{ϵ}^{cm} , зумовлене вагою танка, навантаження, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи в зонах

кріплення багатообертових засобів P_3 , а також поздовжнє навантаження на передні упори автозчепу P_n . Оскільки багатообертові засоби закріплення мають просторове розміщення, то навантаження, яке діє на несучу конструкцію через них, розкладалося на P_3^{ϵ} і P_3^z .

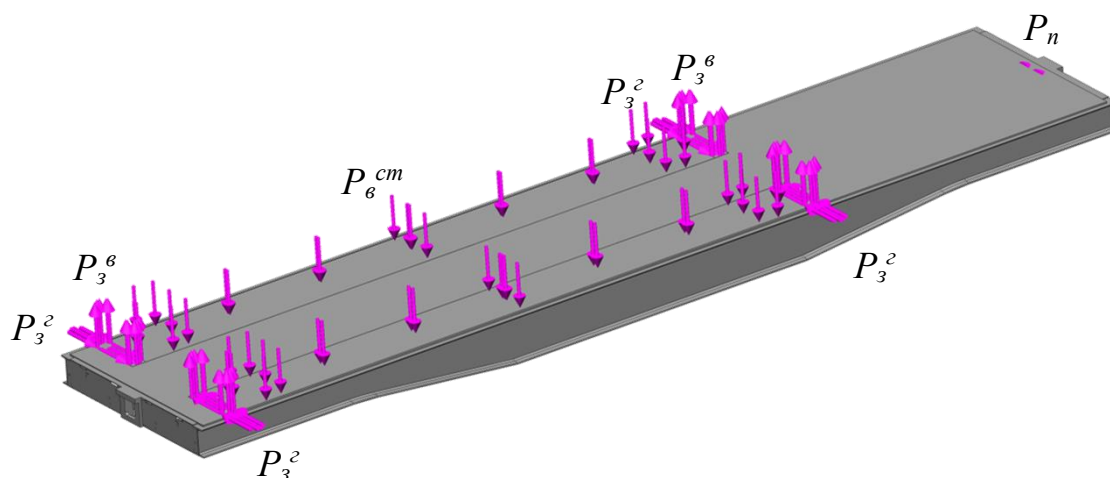


Рис. 4. Розрахункова схема несучої конструкції вагона-платформи

При цьому маса танка прийнята рівною 55 т, а навантаження від багатообертових засобів закріплення на несучу конструкцію вагона-платформи – 13,2 кН [5].

Закріплення моделі здійснювалося в точках спирання на ходові частини.

Матеріал несучої конструкції сталь – 09Г2С зі значенням межі міцності $\sigma_B = 490$ МПа та межі плинності $\sigma_{II} = 345$ МПа.

Результати розрахунку наведено на рис. 5.

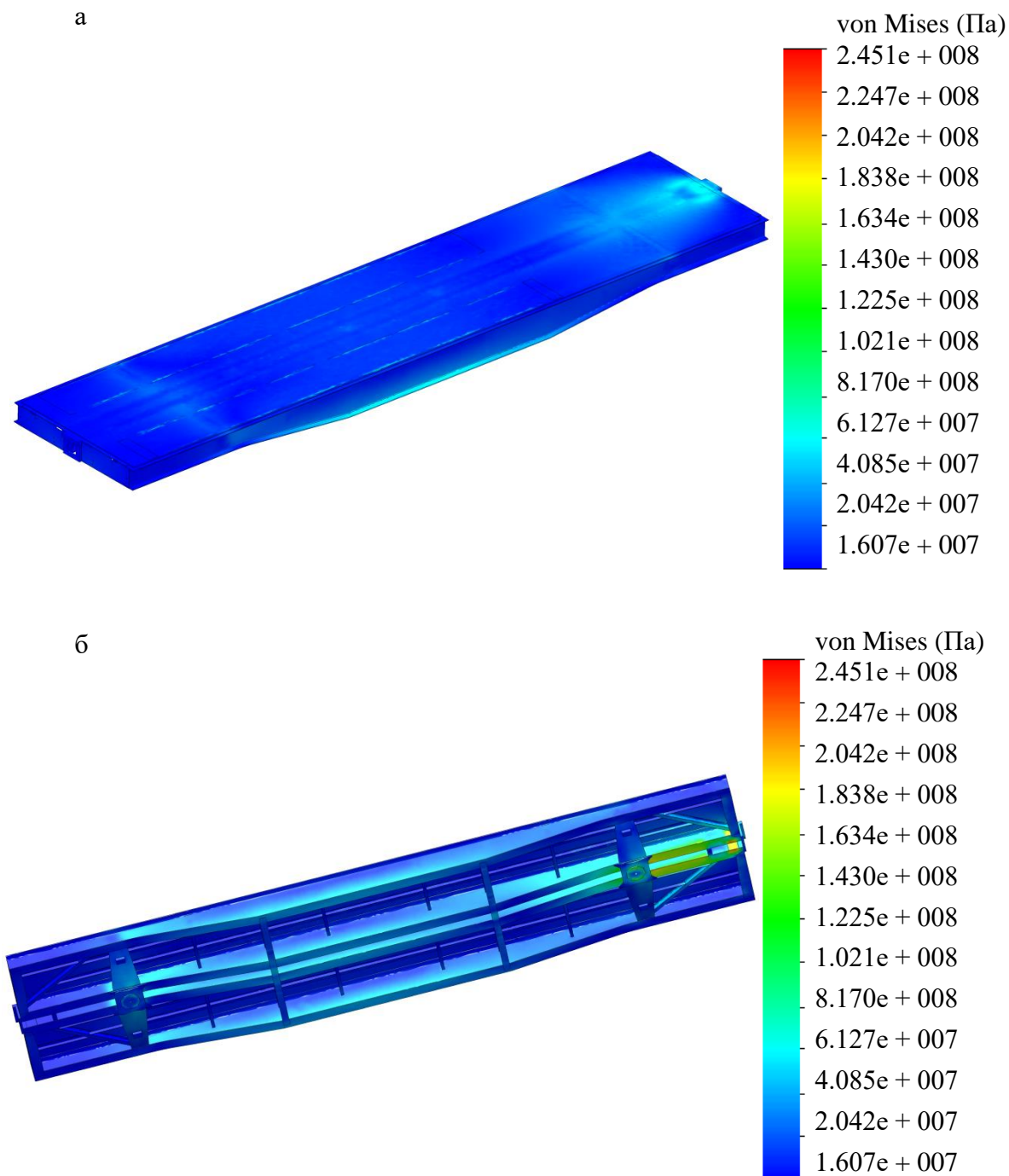


Рис. 5. Напружений стан несучої конструкції вагона-платформи:
а – вигляд збоку; б – вигляд знизу

При цьому максимальні еквівалентні напруження зафіксовані в консольній частині несучої конструкції і склали близько 245 МПа, тобто не перевищують допустимі [15, 16]. Максимальні переміщення виникають у середній частині несучої конструкції вагона-платформи і дорівнюють 6,2 мм.

Для визначення динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи під час перевезення військової техніки проведено математичне моделювання. При цьому використано математичну модель, наведену у [17]. Однак ця модель доопрацьована шляхом урахування додаткового ступеня вільності – коливань посмикування [18].

Розрахункову схему вагона-платформи наведено на рис. 6. Дослідження проведені у плоскій системі координат.

Прийнято, що вагон переміщується стиковою нерівністю.

Вагон-платформа при цьому розглядається як система з трьох твердих тіл – несучої конструкції та двох візків моделі 18-100 з ресорними комплектами, які мають жорсткість і коефіцієнт відносного тертя.

Враховано, що на систему накладені такі зв'язки:

– переміщення кузова та візків вагона-платформи уздовж осі колії однакові: $q_1 = q_4 = q_7$.

– колісні пари рухаються без проковзування: $\Psi_{rij} = x_{rij}/R$, ($r, i, j = 1, 2$), де R – радіус колеса, 0,475 м;

– через відсутність пружних елементів у буксовому підвішуванні підстрибування візків визначаються підстрибуванням колісних пар.

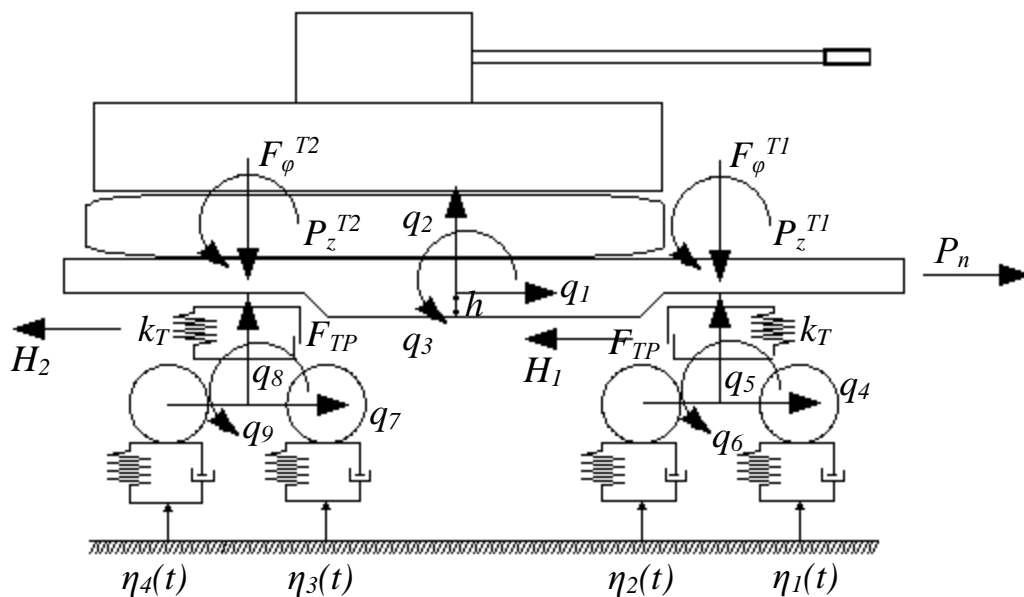


Рис. 6. Розрахункова схема вагона-платформи, завантаженого військовим танком

Рівняння руху розрахункової моделі мають вигляд:

$$M'_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_1 + M' \cdot \frac{d}{dt} q_3 = P_n, \tag{1}$$

$$M_1 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_2 + C_{2,2} \cdot q_2 + C_{2,5} \cdot q_5 + C_{2,8} \cdot q_8 = P_z, \quad (2)$$

$$M_2 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_3 + C_{3,3} \cdot q_3 + C_{3,5} \cdot q_5 + C_{3,8} \cdot q_8 = P_\varphi, \quad (3)$$

$$M_3 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_4 = H_1, \quad (4)$$

$$M_3 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_5 + C_{5,2} \cdot q_2 + C_{5,3} \cdot q_3 + C_{5,5} \cdot q_5 + B_{5,5} \cdot \frac{d}{dt} q_5 = P_z^{T_1}, \quad (5)$$

$$M_4 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_6 + C_{6,6} \cdot q_6 + B_{6,6} \cdot \frac{d}{dt} q_6 = P_\varphi^{T_1}, \quad (6)$$

$$M_5 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_7 = H_2, \quad (7)$$

$$M_5 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_8 + C_{8,2} \cdot q_2 + C_{8,3} \cdot q_3 + C_{8,8} \cdot q_8 + B_{8,8} \cdot \frac{d}{dt} q_8 = P_z^{T_2}, \quad (8)$$

$$M_6 \cdot \frac{d^2}{dt^2} q_9 + C_{9,9} \cdot q_9 + B_{9,9} \cdot \frac{d}{dt} q_9 = P_\varphi^{T_2}, \quad (9)$$

$$P_z = -F_{TP} \cdot \left(\text{sign} \left(\frac{d}{dt} \delta_1 \right) + \text{sign} \left(\frac{d}{dt} \delta_2 \right) \right), \quad (10)$$

$$P_\varphi = F_{TP} \cdot l \cdot \left(\text{sign} \left(\frac{d}{dt} \delta_1 \right) + \text{sign} \left(\frac{d}{dt} \delta_2 \right) \right), \quad (11)$$

$$P_z^{T_1} = F_{TP} \cdot \text{sign} \left(\frac{d}{dt} \delta_1 \right) + k_1 (\eta_1 + \eta_2) + \beta_1 \left(\frac{d}{dt} \eta_1 + \frac{d}{dt} \eta_2 \right), \quad (12)$$

$$P_\varphi^{T_1} = -k_1 (\eta_1 - \eta_2) - \beta_1 \cdot a \cdot \left(\frac{d}{dt} \eta_1 - \frac{d}{dt} \eta_2 \right), \quad (13)$$

$$P_z^{T_2} = F_{TP} \cdot \text{sign} \left(\frac{d}{dt} \delta_2 \right) + k_1 (\eta_3 + \eta_4) + \beta_1 \left(\frac{d}{dt} \eta_3 + \frac{d}{dt} \eta_4 \right), \quad (14)$$

$$P_\varphi^{T_2} = -k_1 \cdot a \cdot (\eta_3 - \eta_4) - \beta_1 \cdot a \cdot \left(\frac{d}{dt} \eta_3 - \frac{d}{dt} \eta_4 \right), \quad (15)$$

$$M'_1 = M_1 + (M_3 + M_5) + \frac{n \cdot M_{КП}}{R^2}, \quad (16)$$

$$M' = M_1 \cdot h, \quad (17)$$

де M_1, M_2 – відповідно маса і момент інерції несучої конструкції вагона-платформи; M_3, M_4 – відповідно маса і момент інерції першого за ходом руху візка; M_5, M_6 – відповідно маса і момент інерції другого за ходом руху візка; $C_{i,j}$ – характеристики пружності елементів коливальної системи, які визначаються значеннями коефіцієнтів жорсткості пружин k_T ; $B_{i,j}$ – функція розсіювання; a – половина бази візка; k_l – жорсткість колії; β_l – коефіцієнт демпфірування; $\eta_i(x)$ – функція, яка описує нерівність рейкової колії; δ_i – деформації пружних елементів ресорного підвішування; F_{TP} – сила абсолютного тертя у ресорному комплекті; n – вісність візка; $M_{КП}$ – момент інерції колісної пари; H_1, H_2 – відповідно величини горизонтальних сил, що прикладені до п'ятників першого та другого візків.

Вхідними параметрами моделі є технічні характеристики несучої конструкції вагона-платформи, ресорного підвішування візків, збурювальної дії, а також технічні характеристики військового танка.

Для розв'язання диференціальних рівнянь (1) – (9) проводилося зведення їх до нормальної форми Коші. Після цього проведено інтегрування за методом Рунге – Кутта [19, 20]. Початкове переміщення та швидкості прийняті рівними нулю. На підставі проведених розрахунків визначено прискорення, які діють на вагон-платформу.

Максимальна величина прискорення, яке діє на несучу конструкцію вагона-платформи у поздовжньому напрямку, складає близько 34 м/с^2 (рис. 7), а у вертикальному – близько $5,0 \text{ м/с}^2$ (рис. 8). Тобто отримані величини прискорень перебувають у межах допустимих [15, 16]. Оцінка ходу вагона є «доброю».

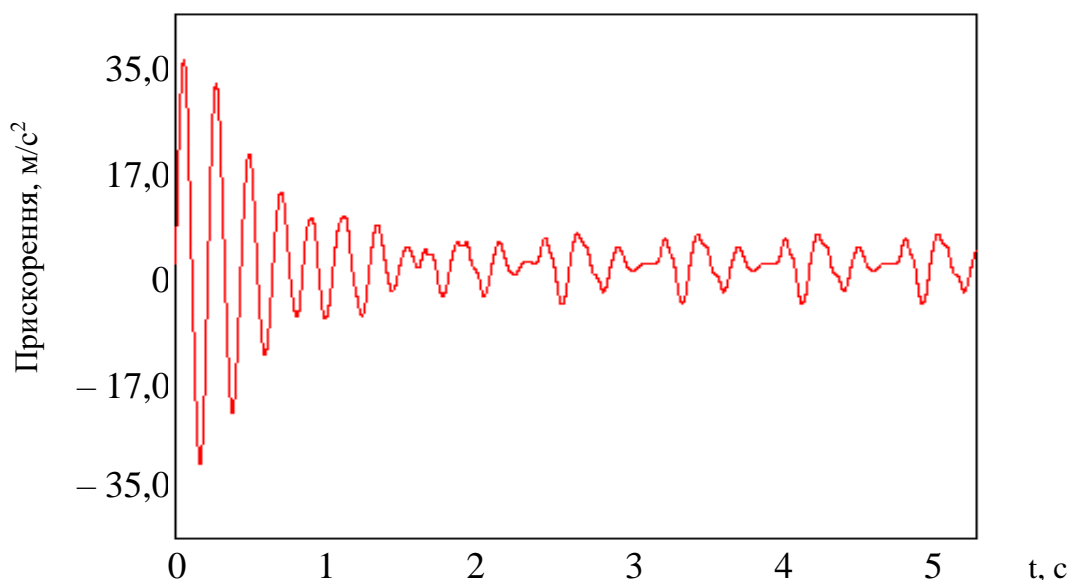


Рис. 7. Поздовжні прискорення несучої конструкції вагона-платформи

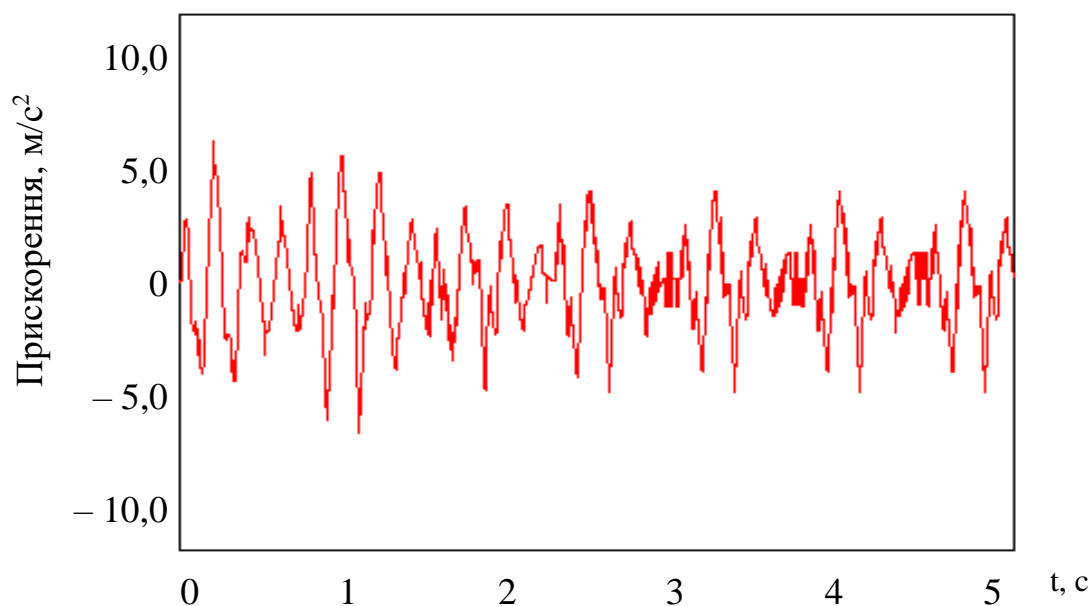


Рис. 8. Вертикальні прискорення несучої конструкції вагона-платформи

Для визначення полів розподілення прискорень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи, також проведено комп'ютерне моделювання. Розрахунок реалізований за схемою, наведеною на рис. 4 в програмному комплексі SolidWorks Simulation (CosmosWorks).

На підставі проведених розрахунків отримано чисельні значення прискорень та поля їх дислокації відносно несучої конструкції вагона-платформи (рис. 9).

Встановлено, що максимальні прискорення зосереджені в середній частині несучої конструкції вагона-платформи і складають близько $31,5 \text{ м/с}^2$.

У консольній частині несучої конструкції з боку дії поздовжньої сили прискорення склали $29,2 \text{ м/с}^2$, а з протилежного боку несучої конструкції – $15,3 \text{ м/с}^2$.

Для верифікації розробленої моделі проведено розрахунок за F-критерієм. Визначення числа статистичних даних, необхідних для отримання адекватного результату, здійснено за формулою [21]:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\delta^2}, \quad (18)$$

де t – величина, яка визначається із співвідношення $\Phi(t) = \gamma/2$;

$\Phi(t)$ – функція Лапласа, табличне значення;

σ – середньоквадратичне відхилення випадкової величини, що досліджується;

δ^2 – абсолютна похибка результату вимірювань.

Результати розрахунків свідчать, що число статистичних даних є достатнім. При цьому розрахункове число дослідів склало 6, а фактичне – 8.

Як варіаційний параметр при розрахунку F-критерію прийнято величину поздовжнього навантаження, яке розглянуто в діапазоні 1,8–2,5 МН. На підставі проведених розрахунків отримано прискорення, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи (рис. 10).

Встановлено, що при дисперсії відтворюваності $S_y^2 = 11,01$ та дисперсії адекватності $S_{ад}^2 = 13,1$ фактичне значення F-критерію $F_p = 0,83$, що менше за табличне значення $F_t = 3,58$. Тобто гіпотеза про адекватність не заперечується.

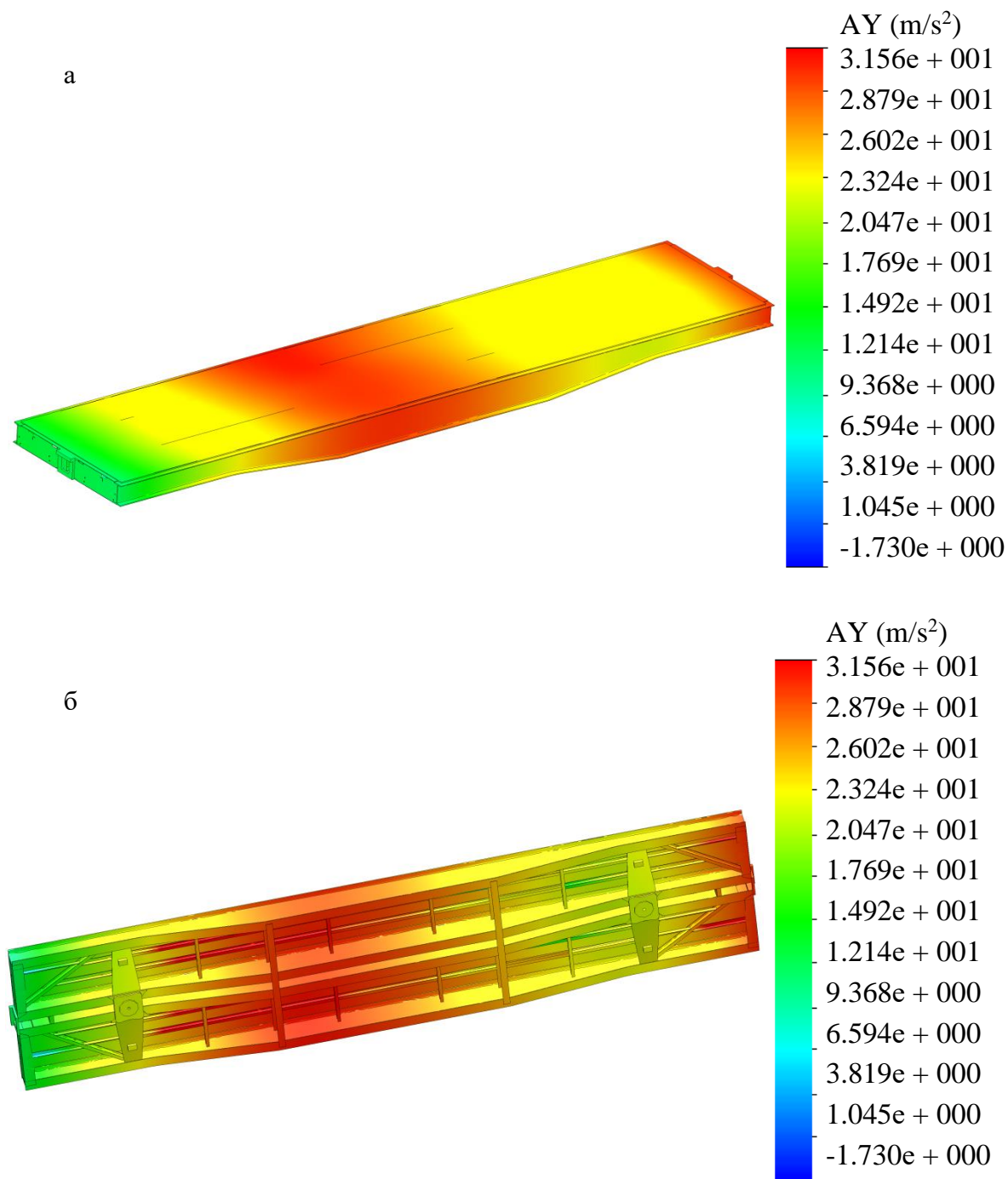


Рис. 9. Поля розподілення прискорень, які діють на несучу конструкцію вагона-платформи: а – вигляд збоку; б – вигляд знизу

За розробленою розрахунковою схемою (рис. 4) з використанням опцій програмного комплексу SolidWorks

Simulation (CosmosWorks) визначено власні частоти коливань несучої конструкції вагона-платформи (табл. 2).

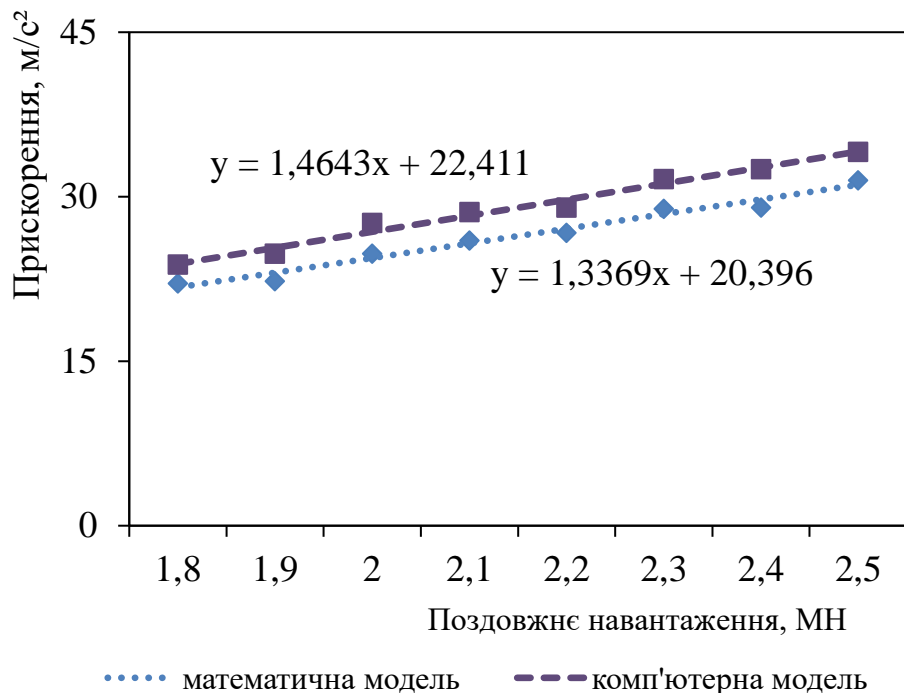


Рис. 10. Прискорення несучої конструкції вагона-платформи

Таблиця 2

Власні частоти коливань несучої конструкції вагона-платформи

Форма коливань	Частота, Гц	Форма коливань	Частота, Гц
1	28,7	6	48,2
2	29,7	7	48,9
3	44,4	8	49,4
4	45,6	9	49,9
5	47,1	10	51,7

Проведені розрахунки показали, що власні частоти коливань перебувають у межах допустимих [15, 16], оскільки значення першої власної частоти є не меншим за 8 Гц.

Висновки. На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Запропоновано заходи щодо удосконалення несучої конструкції вагона-платформи для забезпечення надійності кріплення військової техніки. При цьому пропонується встановлення на несучій конструкції вагона-платформи спеціальних римів для взаємодії з багатообертовими засобами закріплення. Проведено

розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-платформи. Максимальні еквівалентні напруження зафіксовані в консольній частині несучої конструкції і склали близько 245 МПа, тобто не перевищують допустимі. Максимальні переміщення виникають у середній частині несучої конструкції вагона-платформи і дорівнюють 6,2 мм.

2. Проведено математичне моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи, завантаженої військовим танком. Дослідження проведені в плоскій системі координат. При цьому враховано коливання посмикування, підсакування та галопування. Встановлено,

що максимальна величина прискорення, яке діє на несучу конструкцію вагона-платформи у повздожньому напрямку, складає близько 34 м/с^2 , а у вертикальному – близько $5,0 \text{ м/с}^2$. Отже, отримані величини прискорень перебувають у межах допустимих. Оцінка ходу вагона є «доброю».

3. Проведено комп'ютерне моделювання динамічної навантаженості несучої конструкції вагона-платформи, завантаженої військовим танком. Розрахунок здійснено в програмному комплексі SolidWorks Simulation (CosmosWorks). Результати розрахунків показали, що максимальні прискорення зосереджені в середній частині несучої конструкції вагона-платформи і складають близько $31,5 \text{ м/с}^2$.

4. Проведено верифікацію розроблених моделей. Як розрахунковий використано F-критерій. Результати досліджень показали, що розрахункове значення критерію є меншим за табличне. Тобто гіпотеза про адекватність не відхиляється.

5. Визначено власні частоти коливань несучої конструкції вагона-платформи. Встановлено, що власні частоти коливань перебувають у межах допустимих. При цьому значення першої власної частоти коливань несучої конструкції складає $28,7 \text{ Гц}$.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності експлуатації рухомого складу шляхом залучення до військово-стратегічних питань, а також будуть корисними напрацюваннями при проектуванні та створенні інноваційних конструкцій рухомого складу.

Подяка

Ці дослідження проведено в рамках наукової теми молодих учених «Інноваційні засади створення ресурсозберігаючих конструктивів вагонів шляхом урахування уточнених динамічних навантажень та функціонально-адаптивних флеш-концептів», яка виконується за кошти державного бюджету України з 2020 р.

Список використаних джерел

1. Наставление по перевозкам войск железнодорожным, морским, речным и воздушным транспортом. Москва: Военное издательство, 1987.
2. Закрепление военной техники на железнодорожной платформе. URL: http://www.comrancommand.com/index/zakreplenie_na_platformakh/0-204 (дата обращения: 00.12.10).
3. Цусимские форумы. История войны на море с древнейших времен до наших дней. URL: <http://tsushima.su/forums/viewtopic.php?pid=966053> (дата обращения: 27.06.2015).
4. Погрузка танков. URL: <http://newsedom.com.ua/index.php?newsid=144429> (дата обращения: 23.04.2012).
5. Підвищення рівня надійності кріплення військової колісної техніки на залізничній платформі / В. В. Костюк, П. О. Русіло, Ю. В. Варванець, О. М. Калінін. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Транспортне машинобудування. 2018. № 29 (1305). С. 56–61.
6. Михайлов В. В., Дорошенко П. А., Куанышев К. И. Перевозка автомобильной техники по железной дороге. *Молодой ученый*. 2011. № 4. Т. 1. С. 45–46.
7. Кельріх М. Б., Федосов-Ніконов Д. В. Дослідження на міцність конструкції довгобазної платформи. *Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля*. 2016. № 1 (225). С. 90–94.
8. Недужа Л. О., Швець А. О. Теоретичні та експериментальні дослідження міцнісних якостей хребтової балки вантажного вагона. *Наука та прогрес транспорту: Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2018. № 1 (73). С. 131–147. doi: 10.15802/stp2018/123457.

9. Pavol Šťastniak, Pavol Kurčík, Alfréd Pavlík. Design of a new railway wagon for intermodal transport with the adaptable loading platform. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 235(2): 00030.
10. Lovska A., Fomin O., Chechet A., Soloviova O. Determining the features of loading the improved bearing structure of a platform wagon for the transportation of military equipment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 3/7 (105). P. 20–26.
11. Fomin O., Lovska A., Kudelya V., Smyrnova I. Determining the dynamic loading and strength of the bearing structure of a covered wagon when firing from it. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 4/7 (106). P. 33–41.
12. Divya Priya G., Swarnakumari A. Modeling and analysis of twenty tonne heavy duty trolley. *Intern. J. of Innovative Technology and Research*. 2014. Vol. 2, No. 6. P. 1568–1580.
13. Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab / G. L. Vatulia, O. V. Lobiak, S. V. Deryzemlia, M. A. Verevicheva, Ye. F. Orel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 664. 012014. doi:10.1088/1757-899X/664/1/012014.
14. Vatulia G., Komagorova S., Pavliuchenkov M. Optimization of the truss beam. Verification of the calculation results. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. 02037. doi: 10.1051/mateconf/201823002037
15. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Чинний від 2015-07-01.
16. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. Действителен от 2014-12-22. URL: <http://internet-law.ru/gosts/gost/60124/> (дата обращения: 24.04.2019).
17. Дьомін Ю. В., Черняк Г. Ю. Основы динамики вагонів: навч. посіб. Київ: КУЕТТ, 2003. 269 с.
18. Нагруженность контейнеров-цистерн, расположенных на железнодорожной платформе, при ударах в автосцепку / Г. И. Богомаз, Д. Д. Мехов, О. П. Пилипченко, Ю. Г. Черномащенко. *Динаміка та керування рухом механічних систем*: зб. наук. праць. Київ: АНУ, Інститут технічної механіки, 1992. С. 87–95.
19. Дьяконов В. *MATHCAD 8/2000: спец. справ.* Санкт-Петербург: Питер, 2000. 592 с.
20. Кирьянов Д. В. *Mathcad 13.* Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. 608 с.
21. Космин В. В. *Основы научных исследований: учеб. пособ.* Москва: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. 271 с.

Фомін Олексій Вікторович, д-р техн. наук, професор кафедри вагонів та вагонного господарства Державного університету інфраструктури та технологій. Тел.: 067-81-397-88. E-mail: fomin1985@ukr.net.

ORCID iD: 0000-0003-2387-9946.

Ватуля Гліб Леонідович, д-р техн. наук, професор, проректор з наукової роботи Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-05. E-mail: glebvatulya@gmail.com.

ORCID iD: 0000-0002-3823-7201.

Ловська Альона Олександрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057)730-10-35.

E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-8604-1764.

Fomin Oleksij Viktorovich, D. Sc. (Tech.), Professor, Department of Cars and Carriage Facilities, State University of Infrastructure and Technologies. Tel.: 067-81-397-88. E-mail: fomin1985@ukr.net. ORCID iD: 0000-0003-2387-9946.

Vatulia Glib Leonidovich, D. Sc. (Tech.), Professor, Vice-rector for research, Ukrainian State University of Railway Transport, Tel.: (057)730-10-05. E-mail: glebvatulya@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-3823-7201.

Lovska Alyona Oleksandrivna, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Wagons Engineering and Quality Production, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-35.

E-mail: alyonaLovskaya.vagons@gmail.com. ORCID iD: 0000-0002-8604-1764.

Статтю прийнято 25.01.2021 р.

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ (192)

УДК 624.015.5

ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПЕРЕРІЗІВ, МОЖЛИВОСТІ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У РІЗНИХ НАПРЯМАХ БУДІВНИЦТВА

Зав. навч. лаб. С. В. Дериземля

JUSTIFICATION AND CHOOSING OF RATIONAL CONSTRUCTIVE CROSS-SECTIONS, POSSIBILITIES OF USING IN DIFFERENT CONSTRUCTION DIRECTIONS

Head of the teaching laboratory S. V. Deryzemlia

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.195.2021.240897>

***Анотація.** Розвиток сучасного будівництва тісно пов'язаний з проблемою ефективного використання будівельних матеріалів з точки зору раціонального використання міцнісних властивостей матеріалів. Важливим є питання пошуку раціональної конструкції з точки зору геометричних параметрів, використання матеріалів, а також забезпечення тієї ж самої несучої здатності. Метою статті є проведення порівняльного аналізу геометричних та міцнісних характеристик різних сталобетонних перерізів, а також розгляд існуючих методів розрахунку несучої здатності і оцінки напружено-деформованого стану сталезалізобетонних балок.*

***Ключові слова:** сталезалізобетонна балка, раціоналізація перерізів, сталезалізобетонний переріз, методи розрахунку балок.*

***Abstract.** The development of modern construction is closely related to the efficient use problem of building materials in terms of rational use materials' strength properties. The search of rational structure in terms of geometric parameters, the materials use and providing the same bearing capacity is important question in the modern building. The purpose of article is to carry out a comparative analysis of the geometric and strength characteristics of different reinforced concrete cross-sections, and consideration of existing methods for calculating the bearing capacity and assessment of the stress-strain state of reinforced concrete beams.*

The steel-concrete structures using in different building structures is paid much attention in the world practice. The steel-concrete structures widespread using leads to the economy of materials, reducing the complexity of manufacture, reducing time erection. The using of reinforced concrete leads to significant economy of steel, and set the new tasks for the engineers in the same time: own weight and geometric parameters reducing of the cross-section without reducing of bearing capacity in whole. With the search for new structures that would meet the building requirements and usage of different building, nowadays significant attention pays to the improvement and development of the steel-concrete elements. During the development and improvement of steel-concrete structures, significant changes have been made in terms of ensuring the joint operation of reinforced concrete and steel. Such structures require constant research and improvement in order to reduce their own weight, financial costs, etc. The question of finding a rational structure in terms of geometric parameters, the materials using, as well as ensuring the same bearing capacity is currently important.

***Keywords:** steel-concrete beam, cross-section rationalization, steel-concrete cross-section, beam calculation methods.*

Вступ. Питання підвищення несучої здатності будівельних конструкцій, економії бетону і сталі мають значний вплив при будівництві нових і реконструкції існуючих будівель та споруд, у тому числі транспортних.

Поряд з удосконаленням традиційних залізобетонних конструкцій велику увагу приділяють використанню конструкцій із зовнішнім армуванням сталевим листом, профілем або замкнутою обоймою, тобто сталобетонних і сталезалізобетонних конструкцій. Нині такі конструкції широко застосовуються при реалізації у будівництві споруд різних видів систем (колон, балок, ферм, арок, комбінованих систем) [1–3]. Елементи цих систем зазнають різних видів напружено-деформованого стану – центральний розтяг і стиск, позацентровий стиск, стиск зі згином, поздовжній згин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливістю сталезалізобетонних прогонових будов є значне зменшення поперечного перерізу сталевих несучих елементів, що зменшує несучу здатність і міцність прогонових будов, яких може бути недостатньо для низки монтажних робіт, тому обов'язковим є виконання перевірки міцності і жорсткості сталевих конструкцій на монтажні навантаження.

Поряд з наявними методиками розрахунку сталезалізобетонних конструкцій значного поширення набувають методики, які ґрунтуються на реальних діаграмах деформування матеріалів з урахуванням характеру і тривалості дії навантаження [4, 5]. Такий підхід дає змогу більш точно описувати не тільки граничний стан елемента, а й отримувати залежність розвитку деформацій зі збільшенням навантаження. Використання цих методик дає можливість об'єктивніше враховувати фізичні особливості роботи матеріалів, а також точніше оцінювати напружено-деформований стан та міцність залізобетонних елементів. Основи такої моделі широко застосовуються в закордонній практиці, включені в

міжнародні нормативні документи, впроваджуються в державні норми проектування сталезалізобетонних конструкцій [6, 7].

Розробкою та дослідженням напружено-деформованого стану сталезалізобетонних конструкцій займалися такі вчені, як Л. І. Стороженко, Е. Д. Чихладзе, О. В. Семко, Н. Н. Стрелецький, В. С. Шмуклер, О. Л. Кришан, О. І. Лапенко, О. Л. Шагін, Jianguo Nil, Yan Xiao, Geel Van E., K. J. William, L. L. Mills та ін.

Результати проведених експериментальних досліджень сталезалізобетонних конструкцій були покладені в основу таких нормативних документів як, наприклад, ДБН В.2.6-160:2010, Eurocode 4 [6, 8]. В європейських країнах поряд із загальноєвропейськими нормами при проектуванні і розрахунку сталезалізобетонних конструкцій застосовують власні національні норми, що містять розрахунок і проектування сталевих профільованих покриттів у складі сталезалізобетонних покриттів.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою статті є розгляд, аналіз та порівняння існуючих перерізів сталезалізобетонних балок та методів їх розрахунку, а також визначення їх недоліків та переваг; визначення основних підходів до раціоналізації поперечних перерізів балок; розгляд можливих способів раціонального проектування.

Основна частина дослідження. Розрахунок сталезалізобетонних конструкцій можна виконувати, спираючись на гіпотезу плоских перерізів і пропорційності деформаціям [9–13].

За запропонованою М. С. Стрелецьким і проф. О. О. Гвоздевим методикою, розрахунок будівельних конструкцій виконують методом розрахункових граничних станів. Метод полягає в особливому підході до визначення розрахункових навантажень і розрахункових опорів елементів конструкцій, у той час як зусилля, що виникають у конструкції, та її переміщення визначаються звичайними способами за пружною стадією, тобто у допущенні, що

напруження в конструкції не перевищують межі пропорційності [14].

Оцінка напружено-деформованого стану сталобетонної балки у загальному випадку [15] виконується кількома способами:

- розрахунок балки як елемента різномірної пружності [14];
- розрахунок сталобетонної балки відповідно до норм [6, 7];
- розрахунок балки, що складається з двох стрижнів, об'єднаних жорсткими вставками;
- програмний розрахунок об'ємно-просторової моделі за допомогою програмних комплексів, що базуються на методі скінченних елементів (ЛІРА САПР, SCAD, ANSYS і т. д.).

Оцінка роботи конструкції на всіх етапах навантаження і до моменту руйнування можлива лише на базі нелінійних моделей. Розробці нелінійної теорії залізобетону присвячено праці таких вчених, як А. Я. Барашиков, В. М. Бондаренко,

П. Ф. Вахненко, О. Л. Шагін, О. О. Гвоздєв, М. І. Карпенко, В. С. Шмуклер та ін. [16–20]. Основні підходи до вирішення нелінійних задач будуються на методах послідовних наближень. Головною їх перевагою є можливість шляхом побудови ітераційних процедур спеціального виду використовувати лінійні рішення, отримуючи за допомогою, наприклад, методу скінченних елементів (МСЕ) [21].

Дослідженням сталезалізобетонних конструкцій займалися такі вчені, як Л. І. Стороженко, Е. Д. Чихладзе, О. В. Семко та ін. У роботах [1–4, 22] розглядаються комбіновані перерізи (рис. 1) у вигляді сталевих тавра або двотавра, верхній пояс якого виконано у вигляді бетонної плити з металевою незнімною опалубкою.

На рис. 2 наведено основні типи поперечних перерізів сталезалізобетонних балок із суцільними залізобетонними плитами, що розглядаються в Eurocode 4.

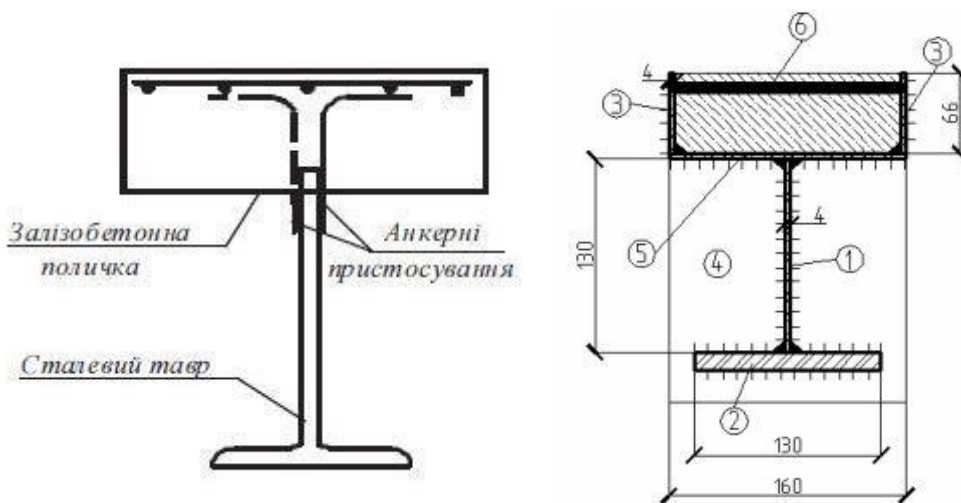


Рис. 1. Комбіновані перерізи у вигляді сталевих тавра або двотавра:
 1 – стінка; 2 – нижній пояс; 3 – вертикальні опалубні листи; 4 – опорне ребро;
 5 – горизонтальний опалубний лист; 6 – арматура

За методикою, наведеною у Eurocode 4, для визначення внутрішніх зусиль допускається статичний розрахунок у пружній стадії, навіть якщо несуча здатність поперечних перерізів визначена з

урахуванням пластичних або нелінійних властивостей. Пружний розрахунок застосовується і при розрахунках витривалості і при розрахунках за експлуатаційною природністю. За потреби

рекомендується враховувати зсувну податливість у болтових з'єднаннях. Як і в залізобетонних конструкціях, розрахункову ширину полиць таврових і подібних до них

перерізів обмежують «ефективним» розміром, що враховує можливість втрати місцевої стійкості та зсувної податливості.

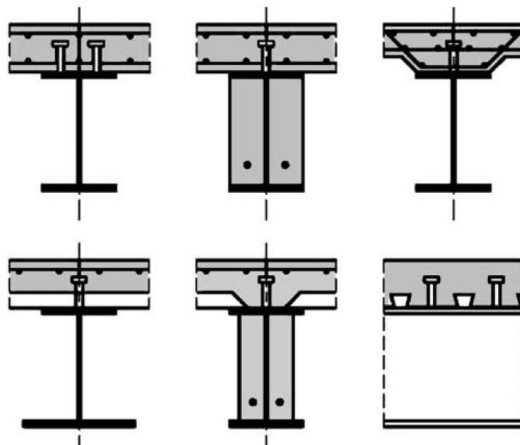


Рис. 2. Основні типи поперечного перерізу сталезалізобетонних балок із залізобетонними плитами, що наведені в Eurocode 4

Недоліками таких перерізів є те, що міцність їх нижча за міцність сталевих профілів [23]. Також недостатньо обґрунтовується вибір геометричних параметрів цих перерізів та їх переваги над іншими. Тому залишається актуальним завдання вибору форми та геометричних розмірів комбінованого перерізу з урахуванням фізико-механічних характеристик їх матеріалів.

Матеріали сталобетонних конструкцій мають, з одного боку, різні фізико-механічні характеристики, з іншого – різні вартості. Наприклад, бетон працює переважно на стиск, тому його слід розташовувати у стиснутій зоні перерізу; сталь однаково сприймає і розтяг, і стиск, тому основну її масу доцільно концентрувати у розтягнутій зоні; механічні характеристики опору деформації і руйнування у сталі значно вищі, ніж у бетоні, а це означає, що бетону у складі конструкції має бути більше, ніж сталі. Вага бетонної конструкції більша за сталеву, вартість бетону менша, ніж сталі і т. д.

На підставі аналізу робіт [1–4] з пропозиціями підсилення сталевих стрижнів бетоном у статті [23]

обґрунтовано, що ефективним підсиленням для сприйняття деформації при згині є розташування плити у стиснутій зоні двотаврового перерізу. Така форма перерізу прийнятна під час реконструкції споруди для її підсилення. У сталезалізобетонних конструкціях, що знов проектуються, форма та розміри елементів перерізу мають бути обрані відповідно до деяких особливостей напружено-деформованого стану зведеного перерізу. З точки зору економії матеріалу доцільно врахувати одну з вимог оптимальності конструкції – рівноміцність. У рівномічному перерізі напруження у найбільш віддалених від нейтральної осі волокнах одночасно досягають граничних станів: $\sigma_c = f_{cd}$, $\sigma_a = f_{yd}$. Рациональність конструктивної форми, її якість визначається відповідністю конструкції її експлуатаційному призначенню, надійністю і економічністю, що значною мірою залежить від того, наскільки конструктивна форма відповідає вимогам виробництва. Залишається актуальним пошук рациональної конструктивної форми з урахуванням рівноміцності перерізу.

Висновки. У статті розглянуто і проведено аналіз існуючих перерізів сталобетонних балок та методи їх розрахунку. Наведено обґрунтування ефективності розташування бетонної плити у стиснутій зоні двотаврового перерізу. Зроблено висновки про основні критерії вибору оптимального перерізу балки. Раціональним з точки зору економії

матеріалу доцільно вважати комбінований переріз з властивостями рівномірності. Тому для подальшого дослідження є актуальним пошук рівномірного комбінованого перерізу, який буде забезпечувати ту ж саму несучу здатність, при цьому буде зменшено об'єм сталі, що вплине на формування вартості використаних матеріалів.

Список використаних джерел

1. Стороженко Л. І., Семко О. В., Пенц В. Ф. Сталезалізобетонні конструкції: навч. посіб. Полтава, 2005. 181 с.
2. Клименко Ф. Е. Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием. Київ: Будівельник, 1984. 88 с.
3. Ватуля Г. Л. Расчет и проектирование комбинированных и сталобетонных конструкций: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01. Харків, 2015. 430 с.
4. Павліков А. М. Нелінійна модель напружено-деформованого стану косо завантажених залізобетонних елементів у закритичній стадії: монографія. Полтава: ПолтНТУ, 2007. 259 с.
5. Роговой С. И. Нелинейное деформирование в теории железобетона и расчет прочности нормальных сечений. Полтава, 2002. 183 с.
6. ДСТУ-Н Б ЕМ 1994-1-1:2010. Єврокод 4 Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Загальні правила і правила для споруд. Київ, 2011. 55 с. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=63014
7. Конструкції будинків і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-160:2010: затв. Мінрегіонбудом України 30.12.2010. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 93 с. URL : http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=26933.
8. Виноградов А. И. Проблема оптимального проектирования в строительной механике. Харків: Вища школа, 1973. 168 с.
9. Kitov Yu., Verevicheva M., Vatulia G., Orel Ye, Deryzemlia S. Design solutions for structures with optimal internal stress distribution. MATEC Web of Conferences, 2017. Vol. No. 133. P. 03001. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2017/47/mateconf_bultrans2017_03001/mateconf_bultrans2017_03001.html.
10. Китов Ю. П., Ватуля Г. Л. Влияние параметров проектирования на оптимальность конструкции стальных балок. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*. Харків: УкрДАЗТ, 2011. Вип. 125. С. 24–33.
11. Тимошенко С. П., Gere Дж. Механика материалов. Изд. 2-е. Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2002. 672 с.
12. Гибшман Е. Е. Проектирование стальных конструкций, объединенных с железобетоном, в автодорожных мостах. Москва: Автотрансиздат, 1956. 231 с.
13. Тимошенко С. П., Gere Дж. Механика материалов. Москва: Мир, 1976. 564 с.
14. Дарков А. В., Шапиро Г. С. Сопrotивление материалов. Москва: Высшая школа, 1975. 654 с.
15. Веселов В. В., Фёдоров А. М. Методы расчета сталобетонных балок. *Современное промышленное и гражданское строительство*, 2018. Т. 14, № 2. С. 97–107.
16. Барашиков А. Л., Подольский Д. М., Сирота М. Д. Надежность восстанавливаемых и усиливаемых конструкций зданий и сооружений. Черкаси: НПК «Фотоприбор», 1993. 44 с.

17. Бондаренко В. М., Шмуклер В. С. Оптимальное проектирование железобетонных оболочек. *Повышение качества и снижение материалоемкости конструкций и изделий*: тез. докл. респ. межотр. науч.-техн. конф. Киев, 1974. С. 10–12.

18. Бондаренко В. М., Шагин А. Л. Расчет эффективных многокомпонентных конструкций. Москва: Стройиздат, 1987. 175 с.

19. Shmukler V. S. About one possibility of Compromise-Criterion Construction in Structure Parameter Rationalization. Concrete durability: achievement and enhancement: proceedings of the int. conf. Dundee (Scotland), 2008.

20. Гвоздев А. А., Карпенко Н. И., Крылов С. М. Теоретическое и экспериментальное исследование работы железобетона с трещинами при плоском однородном и неоднородном напряженном состоянии. *Сборник научных трудов НИИЖБ*. Москва: Стройиздат, 1968. С. 5–43.

21. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. Київ: Факт, 2005. 344 с.

22. Кириченко В. А., Крупченко О. А., Третьяк Я. В. Розрахунок сталезалізобетонних балок із зовнішнім листовим армуванням з використанням повної діаграми деформування бетону. *Зб. наук. праць*. Рівне: НУВГ та П, 2016. Вип. 32. С. 169–175.

23. Китов Ю. П., Веревицева М. А., Кравцов Л. Б. О целесообразности усиления двутавровых балок путем заполнения межполочных пустот бетоном. *Зб. наук. праць*. Київ: ДП НДІБК, 2011. Вип. 74. С. 318–325.

Дериземля Світлана Володимирівна, завідувач навчальної лабораторії кафедри будівельної механіки і гідравліки Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0001-6556-4454. Тел.: (057) 730-10-71. E-mail: s.deryzemlia@kart.edu.ua.

Deryzemlia Svitlana, head of the teaching laboratory, department of Structural Mechanics and Hydraulics, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-6556-4454. Tel. (057) 730-10-71. E-mail: s.deryzemlia@kart.edu.ua.

Статтю прийнято 08.01.2021 р.

УДК 624.012.45

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРУ РУЙНУВАННЯ ТА НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН У СІТЧАСТИХ ОБОЙМАХ

Канд. техн. наук О. О. Петрова, асп. М. Т. Хаммуд

DETERMINATION OF THE FAILURE MODE AND BEARING CAPACITY OF CONCRETE COLUMNS WITH MESH REINFORCEMENT

PhD (Tech.) O. Petrova, postgraduate student M. Hammoud

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.195.2021.241041>

Анотація. У статті наведено результати експериментальних досліджень коротких бетонних та залізобетонних стійок на предмет визначення характеру їх руйнування та руйнівних зусиль. Подано процедуру та результати випробувань вісімнадцяти дослідних зразків за трьома схемами: ступінчаста без (I) та з використанням оголовників (III), малоциклова з використанням оголовників (II). Визначено відсоток збільшення руйнівних

зусиль для залізобетонних зразків в об'єктах порівняно із чисто бетонними зразками та описано особливості їх руйнування.

Ключові слова: бетонні стійки, шпангоут, сітчаста обойма, просічно-витяжний лист.

Abstract. Paper deals with the results of experimental test of reinforced concrete columns with mesh reinforcement. Experimental investigations of columns were performed using hydraulic press with a maximum load level of 480 tones. On the basis of previous theoretical research three series of experimental samples which are represented with simply concrete columns (BS-0), concrete columns in mesh holder (BS-P) and concrete columns in mesh holder with additional reinforcement rings (BS-PS) were produced. The height of all samples is 1000mm and the diameter is 450mm. There three schemes of experimental tests were considered: static loading using press' plates (I), monocycle (II) and static (III) loading using additional round steel plates. The results of tests were obtained in the form of failure mode and breaking forces for three series of samples. According to the results of tests over the first scheme, it is obtained that the destruction of columns with mesh reinforcement goes more slowly than concrete columns. The appearance of cracks started at the level of loading equal to 100 tones for BS-0 samples and 200-250 tones – for BS- and BS-PS samples. The level of breaking forces for BS-P samples and for BS-PS samples is 18-26 % and 21-28 % higher than for BS-0 samples respectively. After monocycle loading it is obtained that breaking forces for BS-P and BS-PS samples are 5 % and 23 % higher than BS-0 samples. It is noted that cracking processes for all samples started near the moment of total destruction, so the failure of samples was brittle and sharp. According to the third scheme of loading the difference between breaking forces for BS-0 and BS-P samples is about 5 %, BS-0 and BS-PS is 7 %. Failure mode for third scheme is similar to second scheme, but it is also mentioned multistage destruction of columns when after achieving the level of breaking force level of loading falls and increases several times. It is recommended to apply load over whole cross section of column in real structures, because it plays a significant role in increasing of bearing capacity. The results of experimental tests were compared with results of numerical analysis, which showed qualitative and quantitative coincidence.

Keywords: concrete column, reinforcement ring, mesh reinforcement, failure mode, breaking force.

Вступ. На сьогодні актуальним залишається завдання вдосконалення залізобетонних конструкцій, які є основою капітального будівництва в більшості індустріально розвинених країн та в країнах, що розвиваються. Підвищити ефективність капітальних коштів у будівництві можна шляхом розроблення нових або вдосконалення існуючих конструктивних рішень. Прагнення створити економічні за витратою матеріалів елементи залізобетонних конструкцій, що працюють на центральний стиск, привело до використання різноманітних способів непрямого армування, які знайшли застосування в будівництві автомобільних і залізничних мостів, багатоповерхових будівель, оскільки колони і опори

перелічених об'єктів зазнають значних навантажень.

Сьогодні як непряме армування використовуються спіральні обмотки, зварні сітки, укладання бетону в металеві труби. Однак усі ці способи нерівноцінні за своїми технічними і економічними показниками. Слід зазначити, що використання зварних сіток і спіралей для армування відрізняється великою трудомісткістю і потребує великих витрат часу, а тріщиностійкість таких елементів нижча, ніж у традиційних. Більш логічним є застосування трубобетонних елементів, що забезпечує збільшення несучої здатності колони до двох разів і виключає використання опалубки. Разом з тим дані конструкції відрізняються підвищеною

власною вагою, а отже, і гіршою екологічністю, а також вимагають додаткового вогнезахисту і корозійного захисту, які слід виконувати регулярно. Альтернативою суцільній металевій трубі може служити сітчаста оболонка, що захищена від механічних пошкоджень, корозії та вогню шаром бетону.

Аналіз останніх досліджень. Огляд існуючих експериментальних досліджень залізобетонних зразків і зокрема колон із сітчастим армуванням показує, що обсяг виконаних досліджень невеликий. У зв'язку з чим, як пошук нових конструктивних рішень армування колон сітками, так і їх експериментальна верифікація є актуальним завданням.

На сьогодні відомі дослідження з використанням сіток як додаткового зовнішнього армування, коли сітки типу «рабиці» намотуються зовні стрижнів

основного армування. Авторами з Єгипту та Саудівської Аравії [1] отримано результати експериментальних досліджень, що підтверджують покращення показників міцності та пластичності таких колон порівняно з традиційними залізобетонними колонами (рис. 1, а). Подібні рішення застосовані науковцями з Пакистану [2], якими було досліджено вплив розташування додаткового шару армування сіткою – навколо бетонного ядра або зовні основного армування (рис. 1, б). Отримано результати, що осьове навантаження на колони з армуванням навколо ядра та навколо основного армування на 8.5 % і 15.7 % вище, ніж для звичайних колон, а міцність основного бетону була збільшена відповідно на 14.6 % і 23 %. В Індії проведено експерименти з дослідження розміру чарунки сіток на несучу здатність залізобетонних колон (рис. 1, в) [3].

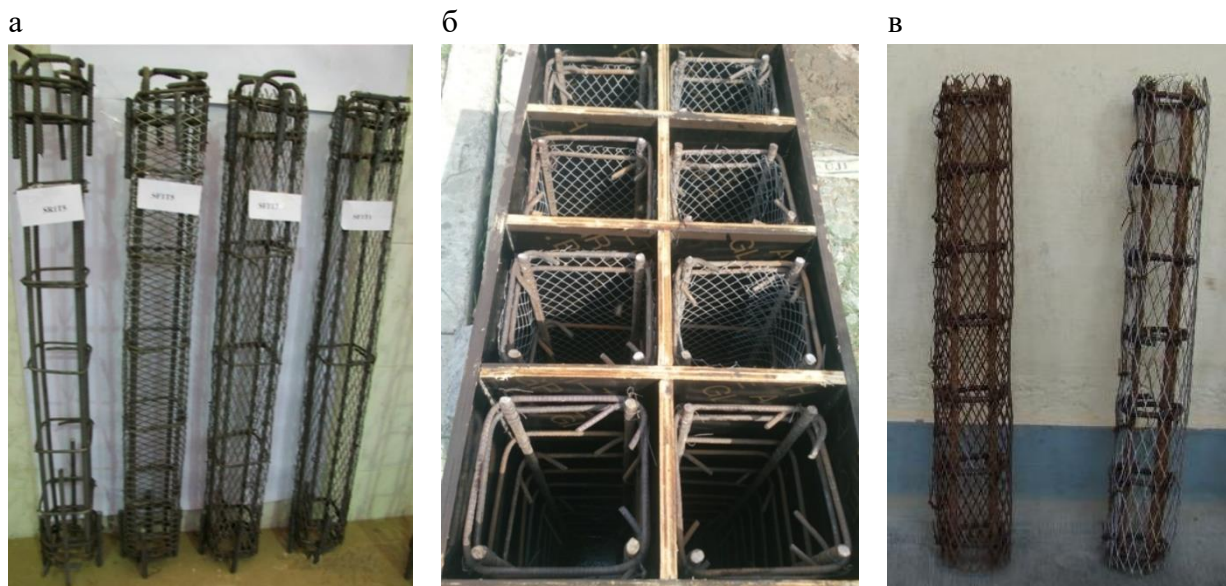


Рис. 1. Експериментальні дослідження зовнішнього сітчастого армування, проведені вченими з Єгипту (а), Пакистану (б) та Індії (в)

Разом з тим слід зазначити, що трудомісткість виконання такого типу армування пов'язана із появою додаткових технологічних операцій на будівництві, а отже – із зростанням вартості будівництва,

оскільки цей тип армування не замінює основне, а лише доповнює його. Більш виправданим у цьому випадку є застосування сіток з просічно-втяжного листа як основного армування. Раніше

Шмуклером В. С. і Синьковською О. В. були проведені експериментальні малоциклові дослідження із вивченням впливу напрямку розташування чарунки листа (вздовж чи поперек твірної) на несучу здатність колон у порівнянні з бетонними та трубобетонними зразками (рис. 2) [4]. Отримано результати, які підтверджують, що армування просічно-втяжним листом з орієнтацією чарунок поперек твірної збільшує несучу здатність конструктиву у 2.32 разу, що можна порівняти із результатом для суцільного металевго листа. Збільшення несучої здатності для чарунок, розташованих вздовж твірної, складає 1.21 разу.

На розвиток сказаного, раніше було запропоновано конструктивне рішення колон у сітчастій обоймі зі шпангоутами та подано процедуру його раціоналізації [5–6]. З метою верифікації цього рішення підготовлено три серії зразків раціоналізованого конструктиву для проведення натурних експериментальних досліджень [7] на статичні та малоциклові впливи.

Метою дослідження є встановлення експериментальним шляхом характеру руйнування та руйнівних зусиль для колон у сітчастих обоймах з шпангоутами і без них у порівнянні із чисто бетонними дослідними зразками.



Рис. 2. Серія експериментальних зразків Шмуклера В. С. і Синьковської О. В.

Основний матеріал дослідження. Як було вже зазначено в попередніх публікаціях [7], дослідний зразок, у загальному випадку, являє собою коротку бетонну стійку висотою близько 1000 мм і діаметром 450 мм. При цьому висота сітчастої обойми складає 900 мм, а діаметр 400 мм. Захисний шар бетону по периметру стійки складає 25 мм; зверху та знизу – 50 мм. Серед забетонованих стійок виокремлено три серії зразків: БС-0 – чисто бетонні стійки (рис. 3, в); БС-П – бетонні стійки з сітчастою обоймою з просічно-втяжного листа (рис. 3, б); БС-ПШ – бетонні стійки з обоймою з просічно-

втяжного листа та додатково підкріплені арматурними шпангоутами (рис. 3, а). В кожній серії виготовлено по шість зразків.

При випробуванні зразків розглядаються три схеми навантаження, наведені в табл. 1, які характеризуються таким чином:

- схема I – ступінчасте навантаження зразка до руйнування, коли навантаження передається на всю площину зразка пластинами преса;
- схема II – малоциклове навантаження зразка до руйнування, коли навантаження передається через сталеві оголовники, що розташовані зверху та знизу дослідного зразка;

• схема III – ступінчасте навантаження зразка до руйнування, коли навантаження передається через сталеві оголовники, що

розташовані зверху та знизу дослідного зразка.

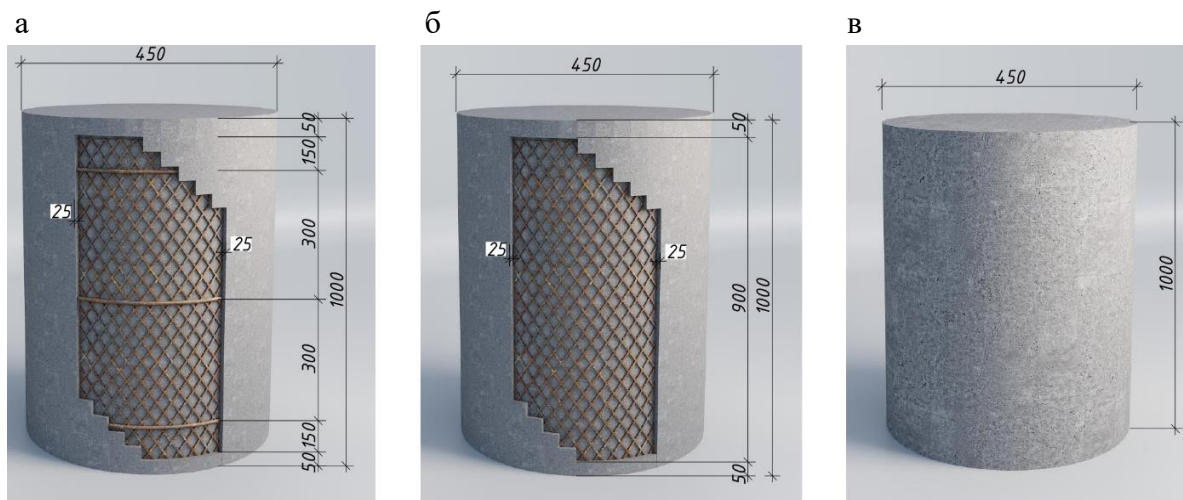


Рис. 3. Геометричні параметри та маркування дослідних зразків:
а – БС-ПШ (Ж); б – БС-П (Х); в – БС-0 (●)

Таблиця 1

Блок-схема експериментальних випробувань

Експериментальні випробування		
Схема I – ступінчасте	Схема II – малоциклове	Схема III – ступінчасте
Дослідні зразки серій (18 шт.):		
БС-0 – 3 шт.	БС-0 – 2 шт.	БС-0 – 1 шт.
БС-П – 3 шт.	БС-П – 2 шт.	БС-П – 1 шт.
БС-ПШ – 3 шт.	БС-ПШ – 2 шт.	БС-ПШ – 1 шт.

Як основна силова установка використовується прес гідравлічний для випробування будівельних конструкцій ПСУ-500, верхня опорна плита якого закріплена на рухомій траверсі і має сферичну опору для самостійної установки. Як оголовники для схеми II і III використовуються круглі сталеві пластини товщиною 16 мм і діаметром 300 мм. Для перевезення зразків по лабораторії та установлення їх у пресі додатково використані гідравлічний підкатний кран-підйомник «Intertool» вантажопідйомністю 1.0 т і ручна таль «Intertool»

вантажопідйомністю 1.0 т. Застосовуваний інструментарій наведено на рис. 4.

Ступінчасте навантаження за схемою I

Як вже було зазначено вище, за схемою I було випробувано дев'ять дослідних зразків – по три зразки в кожній серії БС-0, БС-П і БС-ПШ. Зразок кожної із серій встановлювався безпосередньо на нижню пластину пресу з подальшим його центруванням. Навантаження зразка виконувалось ступенями по 50 т (0.5 МН) до повного його руйнування.

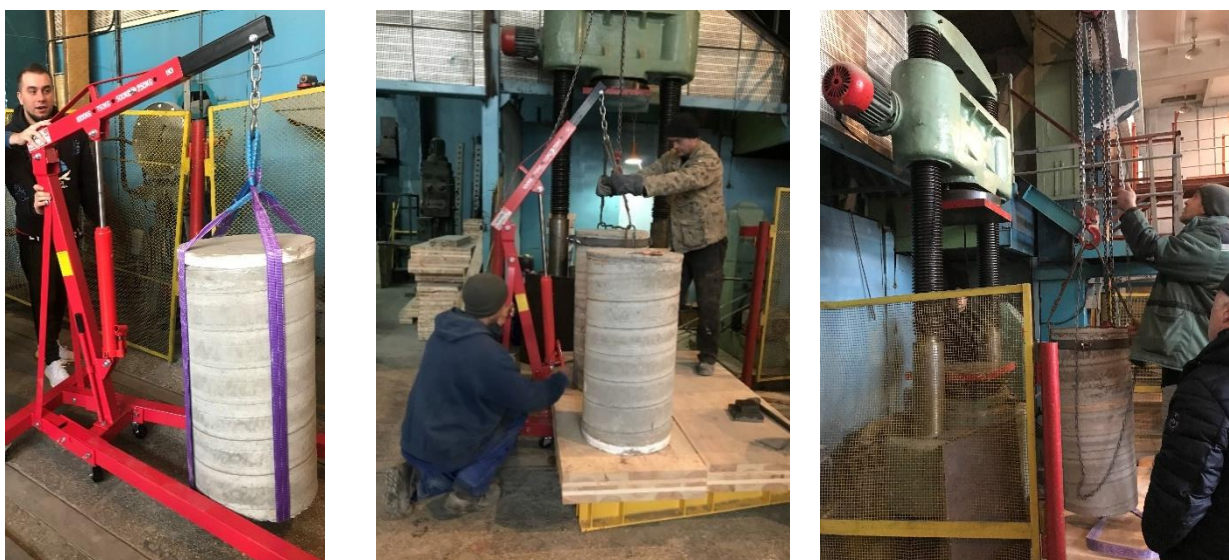


Рис. 4. Використовуване обладнання: кран-підйомник підкатний гідравлічний, таль ручна, прес ПСУ-500

Слід зазначити, що для зразків усіх серій характерним є поява волосяних поздовжніх тріщин, що розповсюджуються від основи зразка до його центру, з подальшим їх розкриттям: для зразків серії БС-0 це можна спостерігати при рівні навантаження 100 т і більше, для зразків серій БС-П і БС-ПШ – при навантаженні 200–250 т. Процес руйнування зразка БС-0 наведено на рис. 5.

Для зразків серій БС-П і БС-ПШ розширення тріщин супроводжувалося незначним відшаруванням захисного шару бетону, однак остаточного руйнування

зразка не спостерігалось. При певному рівні навантаження, що прийнято за руйнівне, контрольна стрілка преса зупинялася, а робоча стрілка йшла у зворотному напрямку. Отримані руйнівні зусилля для схеми I наведено в табл. 2.

При випробуванні за схемою I руйнування просічної обойми або арматурних шпангоутів зазначено не було. Збільшення руйнівного навантаження у зразка БС-П у порівнянні з БС-0 складає 1.18–1.26, у зразка БС-ПШ у порівнянні з БС-0 – 1.21–1.28.

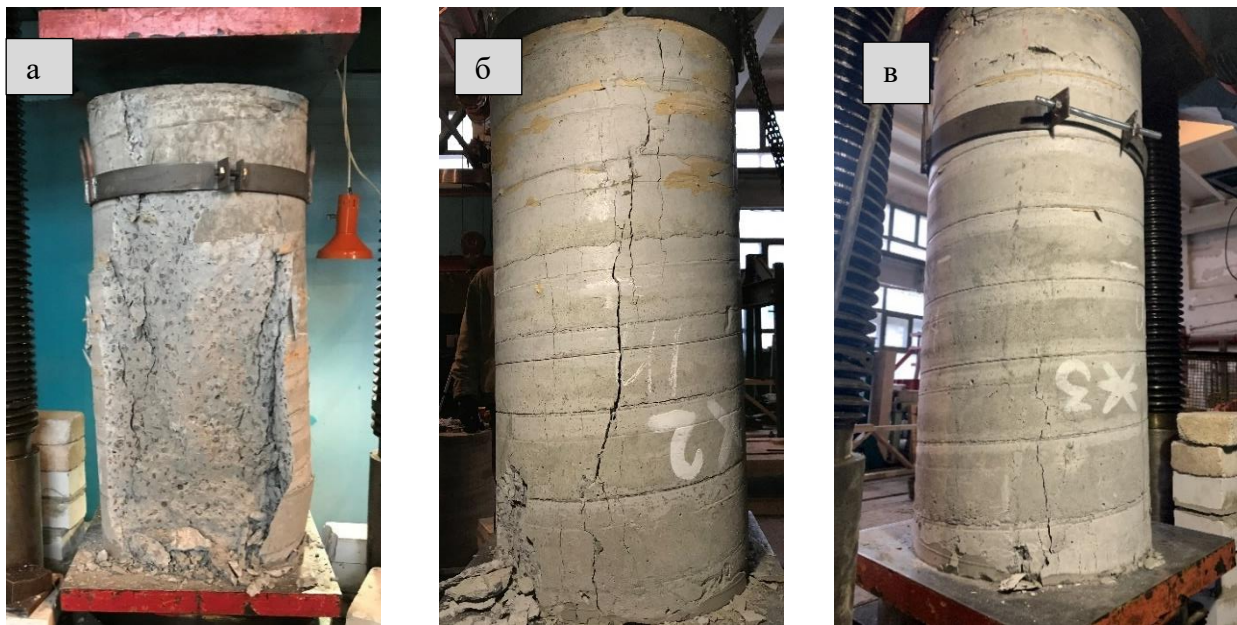


Рис. 5. Характер руйнування зразків БС-0 (а), БС-П (б) і БС-ПШ (в) для схеми I

Таблиця 2

Руйнівні зусилля для схеми I

Номери зразків (серія 1)	●1	●2	●3	X1	X2	X3	Ж1	Ж2	Ж3
Розрахункове руйнівне зусилля по бетону, т	356	356	356	356	356	356	301	301	356
Фактичне руйнівне зусилля, т	345	350	305	390	400	414	428	425	440

Малоциклове навантаження за схемою II через оголовники

За схемою II було випробувано шість дослідних зразків – по два зразки в кожній серії БС-0, БС-П і БС-ПШ. Кожен зразок встановлювався на попередньо відцентрований на пластині преса оголовник з подальшим його центруванням безпосередньо на пластині. Навантаження зразка виконувалось ступенями по 50 т (0.5 МН) з розвантаженням кожного ступеня.

Для малоциклових випробувань характерне різке крихке руйнування. Навіть для зразків серії БС-0 волосяні тріщини не спостерігались при низьких рівнях навантаження. Зазначено різке тріщиноутворення бетонного зразка при

навантаженні, близькому до руйнівного, з подальшим його розділенням на декілька частин (рис. 6, а).

Подібний характер руйнування демонструє зразок серії БС-П (рис. 6, б). При навантаженні близько 250 т починається процес утворення тріщин та їх розкриття зі збільшенням навантаження. При руйнівному значенні навантаження контрольна стрілка зупиняється, при цьому робоча стрілка показує на зменшення рівня навантаження, але процес руйнування зразка продовжується. Відбувається повторне незначне зростання навантаження до рівня, меншого за значення руйнівного навантаження. В певний момент часу відбувається «хлопок», що свідчить про

руйнування просечної оболонки, після чого робоча стрілка повертається в нульову позицію, що свідчить про повне руйнування зразка. Для зразків серії БС-ПШ руйнування відбувається аналогічно до зразків БС-П, з відмінністю у тому, що повторне зростання навантаження після того, як робоча стрілка починає йти у зворотному напрямку, сповіщаючи про початок руйнування зразка, може відбуватися декілька разів (спостерігалось п'ять повторних наборів навантаження), кожного разу підіймаючись

до все меншого рівня навантаження. Однак кожен із ступенів довантаження зразка менший за руйнівне значення та менший за попереднє. В певний момент також відбувається схлопування, що свідчить про руйнування сітки та/або шпангоутів (рис. 6, в).

Результати визначення руйнівних зусиль для дослідних зразків наведено в табл. 3. Збільшення руйнівного зусилля для зразків БС-П у порівнянні із БС-0 складає 5 %, для зразків БС-ПШ – 23 %.

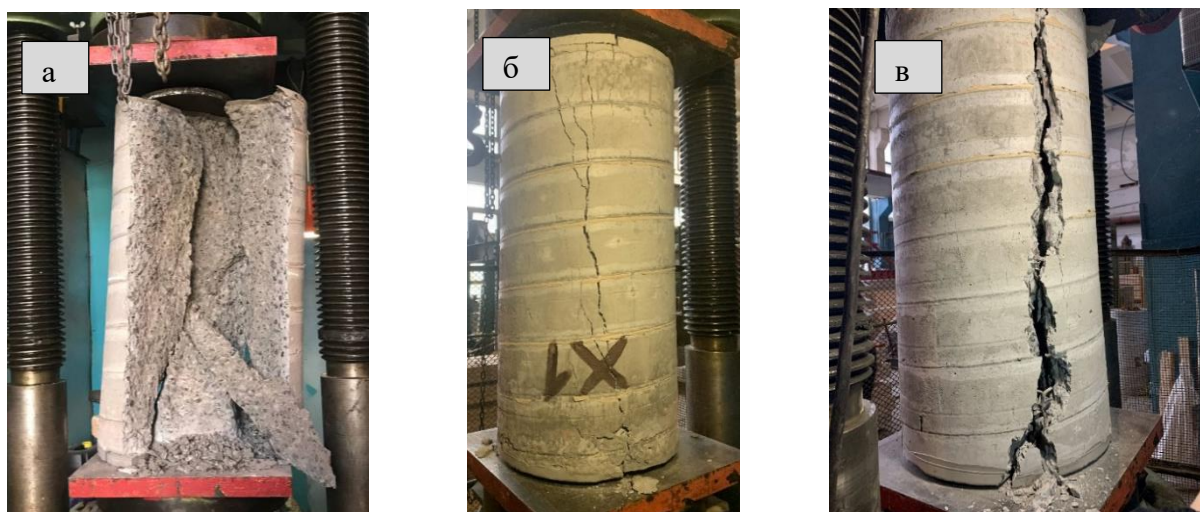


Рис. 6. Характер руйнування зразка серії БС-0 (а), БС-П (б) і БС-ПШ (в) для схеми П

Таблиця 3

Руйнівні зусилля для схеми П

Номери зразків (серія 2)	●2	●3	X1	X3	Ж1	Ж2
Розрахункове руйнівне зусилля по бетону, т	413	413	413	413	356	356
Фактичне руйнівне зусилля, т	260	265	271	275	292	320

Ступінчасте навантаження за схемою Ш через оголовники

За схемою Ш було випробувано три дослідних зразки – по одному зразку в кожній серії БС-0, БС-П і БС-ПШ. Кожен зразок встановлювався на попередньо відцентрований на пластині преса оголовник з подальшим його центруванням

безпосередньо на пластині. Навантаження зразка виконувалося ступенями по 50 т (0.5 МН) до повного його руйнування. Характер руйнування дослідних зразків усіх серій (рис. 7) аналогічний до описаного вище для випробування за схемою П. Результати визначення руйнівних зусиль для дослідних зразків наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Руйнівні зусилля для схеми II

Номери зразків (серія 2)	●1	X2	Ж3
Розрахункове руйнівне зусилля по бетону, т	356	413	413
Фактичне руйнівне зусилля, т	262	275	288



Рис. 7. Характер руйнування зразків БС-0 (а), БС-П (б) і БС-ПШ (в) для схеми III

Збільшення руйнівних зусиль складає 5–7 % для зразків в обоймах у порівнянні з чисто бетонною стійкою.

Отриманий характер руйнування та руйнівні зусилля для дослідних зразків корелюють з результатами чисельного аналізу, виконаного в програмному середовищі «LS-DYNA» за участю проф. Поздєєва С. В. У ході моделювання

розглянуто дві схеми випробувань (табл. 1, схеми I і III) для трьох типів колон, що були описані раніше. Результати визначення руйнівних зусиль наведено в табл. 5. Перевищення порогу 15 % різниці між чисельним аналізом та експериментальними даними пов'язаний як з якістю виконання дослідних зразків, так і з неможливістю створення навантаження на рівні вище 480 т.

Таблиця 5

Руйнівні зусилля, отримані в «LS-DYNA»

Тип дослідного зразка		БС-0	БС-П	БС-ПШ
Руйнівне зусилля, т	I схема	337	491	522
	III схема	262	342	353

Висновки. За результатами проведених досліджень, можна зробити висновок, що збільшення несучої здатності колон в обоймі зі шпангоутами можна досягти в

межах 10–30 %, при цьому вирішальним у першу чергу є характер передачі навантаження на стійку і лише потім циклічність її прикладання. В ході

випробувань колон через сталеві оголовники зазначено зменшення значень руйнівних зусиль не лише в порівнянні з випробуваннями, коли навантаження передається губками преса, але й у порівнянні із розрахунковими значеннями руйнівних зусиль. Таким чином, можна констатувати, що в реальних конструкціях найкращого ефекту обидва можна досягти, якщо конструктивно передавати навантаження на всю площу перерізу колони виключно на бетон, не зачіпаючи сітчасту обійму. Крім того, велику увагу слід приділяти якості виконання бетонних робіт і, власне, вібруванню бетонної суміші

після укладання. У разі неможливості якісного виконання вібрування слід використовувати самоущільнювані бетони.

Слід також зазначити, що при передачі навантаження через оголовок для другої і третьої схем випробування є характерним повторне збільшення навантаження після початку руйнування зразка, коли робоча стрілка вказує на падіння навантаження. Тобто процес повного руйнування біелемента відбувається ступенями до того остаточного моменту, коли руйнується сітка та/або шпангоут, а отже, ймовірно, термін експлуатації цих конструкцій може бути вищим, ніж у звичайних колон.

Список використаних джерел

1. Ahmed M. El-Kholy, Hany Dahish. Improved confinement of reinforced concrete columns. *Ain Shams Engineering Journal*. 34(2). 2016. P. 717-728.
2. M. F. Tahir, Q. U. Z. Khan, F. Shabbir, N. Ijaz, A. A. Malik. Performance of RC Columns Confined with Welded Wire Mesh Around External and Internal Concrete Cores. *Technical Journal*. University of Engineering and Technology (UET) Taxila, Pakistan. Vol. 22, No. I. 2017. P. 8-16.
3. Krishnapriya A. K., Saravana Kumar N., Sree Rameswari A. Study on the Compression behaviour of Self-Compacting Concrete Columns using Expanded Metal Mesh as Internal Confinement. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Vol. 04. Iss. 03. 2017. P. 2295-2300.
4. Шмуклер В. С., Синьковская Е. В. Экспериментальные исследования сталебетонных столбчатых мостовых опор при внецентренном малоцикловом сжатии. *Будівельні конструкції*. 2013. Вип. 79. С. 36–369.
5. Mohammad H., Shmukler V., Reznik P., Petrova O. On the criterion of the Limit State for Concrete. Proc. of the 12th fib International PhD Symposium in Civil Engineering. Prague, Czech Republic, 2018. P. 593-599.
6. Shmukler V., Petrova O., Mohammad H. Rationalization of the parameters of the cylindrical bridge support (theoretical basis). *MATEC Web of Conferences* 230, 02031 (2018).
7. Хаммуд М. Т., Пчолкін Р. М. Експериментальне дослідження коротких сталебетонних колон на статичні впливи. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. Харків: УкрДУЗТ, 2020. Вип. 194. С. 24–33.

Петрова Олена Олександрівна, канд. техн. наук, старший викладач кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. ORCID ID: 0000-0003-0683-9694. E-mail: petrova.bcd@gmail.com.

Хаммуд Мохаммад Тахран, аспірант кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова. ORCID ID: 0000-0002-5509-8741. E-mail: hammoud.m.t@outlook.com.

Olena Petrova, PhD, senior lecturer, Building Structures department, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. ORCID ID: 0000-0002-5509-8741. E-mail: petrova.bcd@gmail.com.

Mohammad Hammoud Tahran, postgraduate student at the Department of Building Structures of O. M. Beketov NUUE in Khrakiv. ORCID ID: 0000-0002-5509-8741. E-mail: hammoud.m.t@outlook.com.

Статтю прийнято 11.01.2021 р.

УДК 624.01

РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ КАНАЛІЗАЦІЙНОГО КОЛЕКТОРА ПРИ ЙОГО РЕМОНТІ ТА ВІДНОВЛЕННІ ВІДКРИТИМ СПОСОБОМ

Асп. Є. Г. Дегтяр

CALCULATION OF THE CONSTRUCTION OF THE SEWERAGE COLLECTOR DURING ITS REPAIR AND RESTORATION IN AN OPEN WAY

Postgraduate student Ye. Degtyar

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.195.2021.241047>

Анотація. Значну частину каналізаційних мереж у містах України складають залізобетонні трубопроводи діаметром від 500 до 1500 мм, які залягають на незначній глибині. В багатьох випадках вони транспортують стічні води до очисних споруд через території, вільні від руху транспорту і пішоходів. Ці фактори дають змогу ефективно виконувати ремонтно-відновлювальні роботи відкритим способом. Корозійні процеси, які відбуваються в надводній частині колекторів, призводять до руйнації склепової частини. Лоткова частина колекторів, яка постійно заповнена стічними водами, залишається при цьому незруйнованою. Як показали проведені дослідження, збережена лоткова частина може бути успішно використана як незнімна опалубка і опорний елемент при відновленні склепової частини колектора. При цьому для створення нової склепової частини колектора на місці зруйнованої доцільно використовувати монолітну конструкцію із полімербетону, армованого композитною арматурою. Ці роботи виконуються з використанням пневматичної та інвентарної опалубок. Для впровадження запропонованої конструкції необхідно виконати попередній розрахунок її несучої здатності за умови обпирання на збережену лоткову частину. В результаті цієї роботи можна отримати економію порівняно з використанням для ремонтно-відновлювальних робіт поліетиленових та склопластикових труб потрібного діаметра.

Ключові слова: каналізаційні колектори, корозія, відкритий спосіб ремонту, пневматична опалубка, розрахунок конструкції склепу.

Abstract. A significant part of sewerage networks in cities in the country are reinforced concrete pipelines with a diameter of 500 to 1500 mm, which lie at a small depth. In many cases, they transport wastewater to treatment plants through areas free of traffic and pedestrians. These factors allow you to effectively perform repair and restoration work in an open way. Corrosion processes that occur in the surface part of the collectors lead to the destruction of the basement. The tray part of the collectors, which is constantly filled with wastewater, remains intact. As studies have shown, the preserved tray part can be successfully used as a fixed formwork and support element in the restoration of the basement of the collector. In this case, to create a new basement part of the collector, in place of the destroyed, it is advisable to use a monolithic structure of polymer concrete reinforced with composite reinforcement. These works are performed using pneumatic and inventory formwork. To implement the proposed structure, it is necessary to perform a preliminary calculation of its load-bearing capacity, provided that it rests on the preserved tray part. As a result of this work it is possible to receive economy in comparison with use for repair and restoration works of polyethylene and fiberglass pipes of necessary diameter. During the calculation, a model of the collector was considered, consisting of a preserved tray part of the collector made of concrete class

C12 / 15, the upper part of the collector made of concrete class C20 / 25. The calculation proved the possibility of using polymer concrete structures for repair and restoration of sewers in an open way, provided that the new basement rests on the preserved tray part. The proposed open method allows to significantly reduce the cost of repair and restoration work in comparison with the use of polyethylene and fiberglass pipes.

Keywords: sewer collectors, corrosion, open method of repair, pneumatic formwork, calculation of basement construction.

Вступ. Каналізаційний колектор являє собою інженерну споруду діаметром до 1500 мм, головне призначення якої – забезпечення відведення стічних вод. Складність експлуатації каналізаційних колекторів полягає у тому, що більшість з них перебуває в аварійному стані. Це пов'язано з тим, що понад 80 % колекторів було побудовано більше 50–60 років тому, в той час, коли норми проектування та будівництва не регламентувались. При цьому основною причиною пошкоджень є схильність їх склепової частини до впливу біогенної корозії. Особливої уваги при розгляді проблеми відновлення конструкцій каналізаційних колекторів потребують питання корозії бетонних і залізобетонних конструкцій, повсюдне використання яких призвело до того, що майже всі колектори на сьогодні перебувають в аварійному стані. Це свідчить про те, що тематика досліджень, присвячених розробленню раціональних методів відновлення каналізаційних колекторів, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування пневматичної опалубки, яка здатна сприймати нормальні зусилля об'ємних зігнутих структур, можна розглядати як високоефективне рішення

задачі ремонту та відновлення каналізаційних колекторів відкритим способом [1–4].

Заслуговує на увагу публікація австрійських фахівців [1], присвячена використанню пневмоопалубки при формуванні овального перерізу каналізаційного каналу у Відні. Для обпирання пневмоопалубки в заводських умовах додатково виготовлялись лоткові елементи майбутнього каналу із полімербетону. Ці елементи використовувались як «загублена опалубка».

Визначення мети та завдання дослідження. Метою роботи є розроблення технічних, технологічних та організаційних рішень відновлення каналізаційного колектора відкритим способом.

До основних завдань слід віднести такі:

- розробити організаційно-технологічні рішення відновлення каналізаційного колектора відкритим способом;
- виконати розрахунок напружено-деформованого стану конструкцій каналізаційного колектора, що відновлюється, з використанням методу скінченних елементів.

Основна частина дослідження. В запропонованому автором способі як несучий елемент, замість так званої «загубленої опалубки», служить добре збережена лоткова частина колектора (рис. 1).

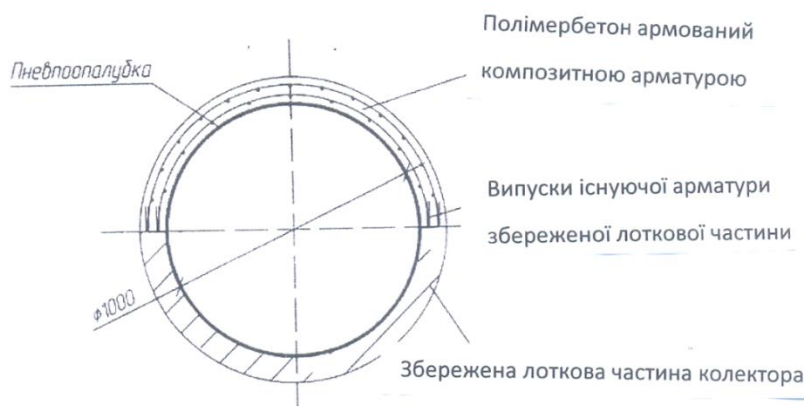


Рис. 1. Схема відновлення зруйнованого корозією колектора армованим полімербетоном

При виконанні ремонтно-відновлювальних робіт передбачено таку черговість технологічних процесів (рис. 2). Основними зовнішніми навантаженнями на колектор є: власна вага колектора;

вага стічної води, якою заповнений колектор; вага земляної засипки; тимчасові навантаження, які діють на поверхню засипки; зусилля від ґрунту, що облягає колектор.

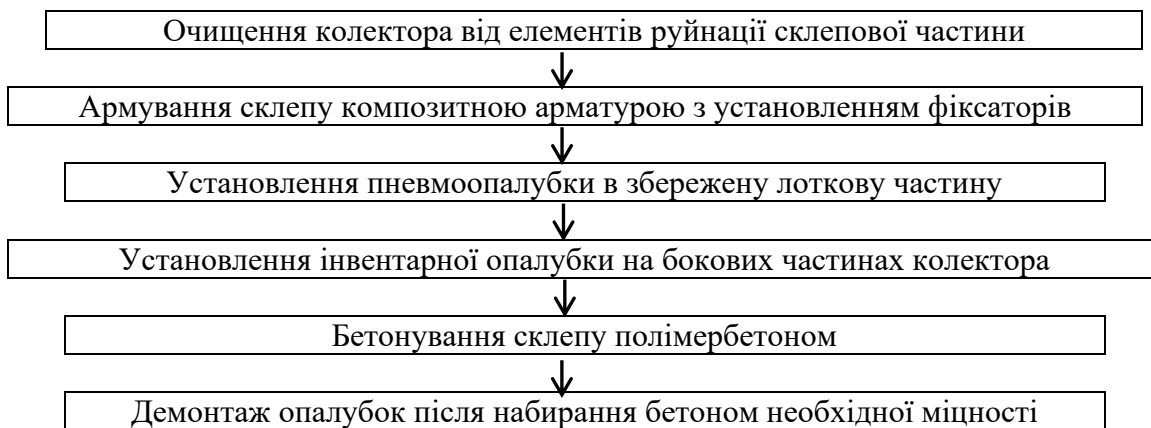


Рис. 2. Послідовність технологічних процесів відновлення каналізаційного колектора

Фрагмент колектора (рис. 1) у нашому випадку виконаний глибиною 6,7 м, шириною – 5,2 м. Довжина фрагмента – 1 м (плоска деформація).

У ході розрахунку було розглянуто модель колектора, що складається зі збереженої лоткової частини колектора, виконаної з бетону класу С12/15, верхньої частини колектора, виконаної з бетону класу С20/25.

Моделювання фрагмента колектора, яке здійснювалося в програмному комплексі Ліра-САПР [5–8], виконано шестивузловими об'ємними КЕ. Розмір КЕ не перевищують 0,1 м. Ґрунт змодельовано за допомогою КЕ-273 «Фізично нелінійний об'ємний КЕ ґрунту у формі тригранної призми».

Прийняті такі характеристики ґрунту:

- модуль деформації ґрунту першого роду по гілці первинного навантаження $E = 1000 \text{ т/м}^2$;
- коефіцієнт Пуассона $\nu = 0.4$;
- коефіцієнт переходу до модуля деформації ґрунту по гілці вторинного навантаження $k_e = 1$;
- зчеплення $C = 0.2 \text{ т/м}^2$;

- кут внутрішнього тертя $\varphi = 25^\circ$;
- максимальне напруження стиснення $\sigma = 20 \text{ т/м}^2$;
- питома вага ґрунту $R_0 = 2 \text{ т/м}^3$.

Як навантаження прийнято власну вагу ґрунту, а також рівномірно-розподілене навантаження по поверхні ґрунту 2 т/м^2 .

По периметру стикання з ґрунтом, у вузлах заборонено переміщення уздовж осей X, Y, Z.

Під час розрахунку отримано деформовану схему фрагмента (табл. 1, п. 1). Максимальні значення горизонтальних переміщень X склали 4,7 мм (табл. 1, п. 2). Максимальні значення горизонтальних переміщень Y склали 4,7 мм (табл. 1, п. 3).

Максимальні значення головних напружень N1 склали (-42,7; 965) кН/м^2 (табл. 1, п. 4). Максимальні значення головних напружень N2 склали (-145,7; 223) кН/м^2 (табл. 1, п. 5). Максимальні значення головних напружень N3 склали (-1320; 27,6) кН/м^2 (табл. 1, п. 6).

Перевірка несучої здатності елементів каналізаційного колектора для оболонки системи реалізована з використанням

енергетичного критерію Г. В. Василькова – В. С. Шмуклера, який записано для

матеріалів, що по-різному чинять опір деформаціям стиску, розтягу та зсуву [7]:

$$e_u = 0,5 \chi_\sigma^2 [(1 + \chi_\sigma)e_{uc} + (1 - \chi_\sigma)e_{ut}] + (1 - \chi_\sigma^2)e_{ush}, \quad (1)$$

де $\chi_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$ – параметр Лоде–Надаї напруженого стану; $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ – головні напруження;

e_u – граничне значення щільності потенційної енергії деформацій (ПЕД);
 e_{uc} , e_{ut} , e_{uch} – окремі граничні значення щільності ПЕД для деформацій стиску, розтягу, зсуву.

Таблиця 1

Оцінка напружено-деформованого стану конструкцій колектора, що відновлюється

№ з/п	Схема розрахунку		
1	2		
	Деформована схема фрагмента		
1	Вертикальне переміщення 	Вертикальне переміщення (вигляд спереду) 	Вертикальне переміщення (аксонометрія)
	Максимальне значення горизонтальних переміщень X		
2	Горизонтальне переміщення вздовж осі X 	Горизонтальне переміщення вздовж осі X (вигляд спереду) 	Горизонтальне переміщення вздовж осі X (аксонометрія)
	Максимальні значення горизонтальних переміщень Y		
3	Горизонтальне переміщення вздовж осі Y 	Горизонтальне переміщення вздовж осі Y (вигляд спереду) 	Горизонтальне переміщення вздовж осі Y (аксонометрія)
	Максимальні значення головних напружень N1		
4	Головні напруження N1 	Головні напруження N1 (вигляд спереду) 	Головні напруження N1 (аксонометрія)

1	2		
	Максимальні значення головних напружень N2		
5	Головні напруження N2 	Головні напруження N2 (вигляд спереду) 	Головні напруження N2 (аксонометрія)
	Максимальні значення головних напружень N3		
6	Головні напруження N3 	Головні напруження N3 (вигляд спереду) 	Головні напруження N3 (аксонометрія)

$$e_{uc} = \int_0^{\epsilon_{uc}} \sigma_c(\epsilon_c) d\epsilon_c;$$

$$e_{ut} = \int_0^{\epsilon_{ut}} \sigma_t(\epsilon_t) d\epsilon;$$

$$e_{ush} = \int_0^{\epsilon_{ush}} \tau_c(\gamma) d\gamma;$$

$\sigma_c(\epsilon_c); \sigma_t(\epsilon_t); \tau_c(\gamma)$ – залежності «напруження–деформація», отримані безпосередньо з експериментів. У разі лінійного пружного деформування:

$$e_{uc} = \frac{f_{ck}^2}{2E_0};$$

$$e_{ut} = \frac{f_{ctk}^2}{2E_0};$$

$$e_{ush} = \frac{f_{sk}^2}{2G}; \quad f_{sh} \approx 0,7\sqrt{f_{ck} \cdot f_{ctk}},$$

де E_0 – модуль деформацій 1-го роду (модуль Юнга);

$G = k \cdot E$ – модуль зсуву (2-го роду);

k – емпіричний коефіцієнт;

f_{ck}, f_{ctk}, f_{sh} – характеристичні значення міцності матеріалів на стиск, розтяг, зсув;

$\epsilon_{uc}, \epsilon_{ut}, \epsilon_{ush}$ – гранична деформативність.

Перевірка міцності здійснюється в кожному скінченному елементі за формулою

$$e_i \leq e_{ni}, \quad (2)$$

де $e_{ni} = \gamma \cdot e_{ui}$ – нормоване значення щільності потенційної енергії деформацій;

γ – статистично обґрунтований коефіцієнт надійності. Якщо диференційовано присвоювати різні значення цьому коефіцієнту для бетону оболонки, є можливість управління послідовністю виходу з ладу цього конструктивного елемента;

$$e_i = \frac{1}{2E_0} [\sigma_{1i}^2 + \sigma_{2i}^2 + \sigma_{3i}^2 - 2\mu(\sigma_{1i}\sigma_{2i} + \sigma_{2i}\sigma_{3i} + \sigma_{1i}\sigma_{3i})],$$

де μ – коефіцієнт Пуассона;

i – номер скінченного елемента;

e_i – щільність потенційної енергії деформацій – в i -му скінченних елементів [4].

Перевірка умови (2) для схеми, що розглядається, показала її виконання для всіх скінченних елементів.

Висновки. Проведений розрахунок довів можливість використання конструкцій із полімербетону для ремонту та відновлення каналізаційних колекторів

відкритим способом за умови спирання нового склепу на збережену лоткову частину. Запропонований відкритий спосіб дає змогу значно зменшити вартість ремонтно-відновлювальних робіт порівняно з використанням поліетиленових та склопластикових труб.

Список використаних джерел

1. Hlozek H., Smetaczek A. Rationeller Kanalbau für Profilkänäle mit der Pneumoschalung. *Korrespondenz Abwasser*. 2018. Vol. 45 (6). P. 1107-1109.
2. Sobek W. Schalungen aus pneumatisch vorgespannten Membranen. *Zelte, Planen, Markisen*. 1990. Vol 10 (8). P. 13-16.
3. Sobek W. Die Herstellung von Betonschalen auf pneumatisch gestützten Schalungen. *Bauingenieur*. 1991. Vol. 66 (1991). P. 545-550.
4. Gontscharenko D., Ratschkowskij A., Gudilin R., Degtjar E. Renovierung und Wiederherstellung von Abwasserkanälen flacher Verlegung in offenem Verfahren. *Korrespondenz Abwasser*. 2020. Vol. 8. P. 593-597.
5. Розрахунок за інструментарієм LIRA. URL: <http://www.liraland.ru/>.
6. Городецкий А. С., Шмуклер В. С., Бондарев А. В. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. 889 с.
7. Rational Design of Structural Building Systems / V. Babaev, Is. Ievzerov, S. Evel, A. Lantoukh- Liashchenko, V. Shevetovsky, O. Shimanovskyi, V. Shmukler, M. Sukhonos. DOM publishers, 2019. 384 p.
8. Филин А. П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. Сопротивление материалов с элементами теории сплошных сред и строительной механики. Москва: Наука, 1975. 832 с.

Дегтяр Євгеній Геннадійович, аспірант кафедри технології будівельного виробництва Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел. (066) 299-58-79. E-mail: evgeniydegtyar.kh@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7218-2179>.

Degtyar Yevgenij, Postgraduate student of Department of building technology Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel. (066) 299-58-79. E-mail: evgeniydegtyar.kh@gmail.com.

Статтю прийнято 14.01.2021 р.

УДК 69.059.

ОЦІНКА З ПІДВИЩЕННЯ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ ЦЕГЛЯНОЇ КЛАДКИ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД З ПОШКОДЖЕННЯМИ ТА ДЕФЕКТАМИ

Канд. техн. наук С. Л. Андрух, старш. викл. О. І. Теліченко

DETERMINATION OF THE ASSESSMENT ON INCREASING THE SEISMOSTICITY OF BRICK LAYING OF BUILDINGS AND STRUCTURES WITH DAMAGES AND DEFECTS

PhD (Tech.) S. Andruk, Sr. lecturer A. Telichenko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.195.2021.241055>

Анотація. У статті застосовується метод дослідження та визначення оцінки пошкодження та дефектів кам'яних конструкцій. Цей метод забезпечує усунення тріщин, їх довжину і ширину розкриття, дефектів цегляної кладки, ерозії в цегляній кладці, зміщення арочних і лучкових перемичок.

Розроблявся метод насамперед для старих житлових і громадських будівель (пам'яток архітектури) з метою збереження первісного вигляду конструкцій і архітектурного ансамблю будівель.

Ключові слова: сейсмічні впливи, статистичне і динамічне навантаження, діафрагма жорсткості, деформованість конструкції, модернізація конструкцій.

Abstract. The article uses a method of research and determination of damage and defects of stone structures. This method provides elimination: the presence of cracks, their length, and width of the opening, the presence of defects in the brickwork, the presence of erosion in the brickwork, the displacement of arched and arched bridges.

To assess the strength of bricks and mortar in masonry, the proposed method was as follows. Places for drilling in brickwork were chosen arbitrarily along with the entire height of the masonry. Drilling was performed perpendicular to the brickwork. The number of places required for drilling corresponded to the number of samples tested for compression, according to the normative document.

To determine the performance properties of brickwork, by following per under regulations in a complete inspection of buildings, sampling methods used a large number of studies. This problem is especially relevant for brick buildings to the defects and damages of constructive character established during the inspection which accounting by standard methods does not provide necessary reliability.

The task is complicated if the structure, under the influence of certain operational factors, there was a change in its stress state, which cannot be estimated by calculation. The structural element selected for inspection is responsible, which in turn will lead to the destruction of the redistribution of forces and will be dangerous, which can lead to the destruction of other elements and the collapse of the entire system of structures. In this situation, it is recommended to adopt a method that allows you to experimentally determine the actual level of stress of the whole element or its individual part.

The method was developed primarily for old residential and public buildings (architectural monuments) and helps to preserve the original appearance of structures, which does not violate the architectural ensemble of the whole house.

Keywords: seismic influences, statistical and dynamic loading, diaphragm of rigidity, deformation of a design, modernization of designs.

Вступ. Потреба оцінки цегляних будівель та споруд з підвищенням їх несучої здатності в умовах сейсмонестійких районів України і на території Автономної Республіки Крим стає дуже актуальною. В Україні зведено велику кількість будівель та споруд, які частково або повністю складаються з кам'яних конструкцій, значна частина яких має дефекти та пошкодження.

За останніми спостереженнями, значна частина будівель та споруд, що були побудовані 50–100 років тому, мають фізичний та моральний знос і потребують модернізації або підсилення конструкцій. Більшість цих будівель та споруд було побудовано без урахування сейсмостійкості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню проблем пошкоджень та оцінки міцності цегляних конструкцій присвячено роботи [1, 2].

Визначення мети та завдання досліджень. Основною метою і завданням статті є застосування методики з оцінки працездатності цегляної кладки в складних експлуатаційних умовах. Для досягнення поставленої мети вирішувались такі завдання досліджень: визначення міцнісних характеристик цегли та розчину за допомогою неруйнівного методу свердління; експериментально досліджувався рівень напруження у кладці

за кінетикою швидкоплинних деформацій повзучості.

Основна частина дослідження. Різні типи походження і види пошкоджень обумовлюють потребу визначення міцності цегляних конструкцій.

Сучасні методи визначення міцності кам'яних конструкцій – це методи пластичної деформації: молоток Фізделя, молоток Кашкарова, прилад типу ХПС стандарт «ДИН-4240», прилад ПМ-2, прилади системи ЛИСИ.

При розрахунку будівельних конструкцій та споруд пошкодження та дефекти враховують у разі їх суттєвого впливу на розподіл зусиль у розрахунковій схемі та несучу здатність конструкцій, беручи до уваги також клас наслідків споруди та категорії відповідальності конструкцій.

Найбільш поширені способи, а також етапи врахування пошкоджень і дефектів у розрахунках наведено на рис. 1.

На практиці розрахунку різних типів будівельних конструкцій на сейсмічні впливи було розроблено певну кількість методик урахування пошкоджень та дефектів. Наприклад, визначення жорсткості плоско-напружених стінових і стержневих залізобетонних конструкцій з урахуванням наявних тріщин досліджено автором М. Г. Мар'єнковим.

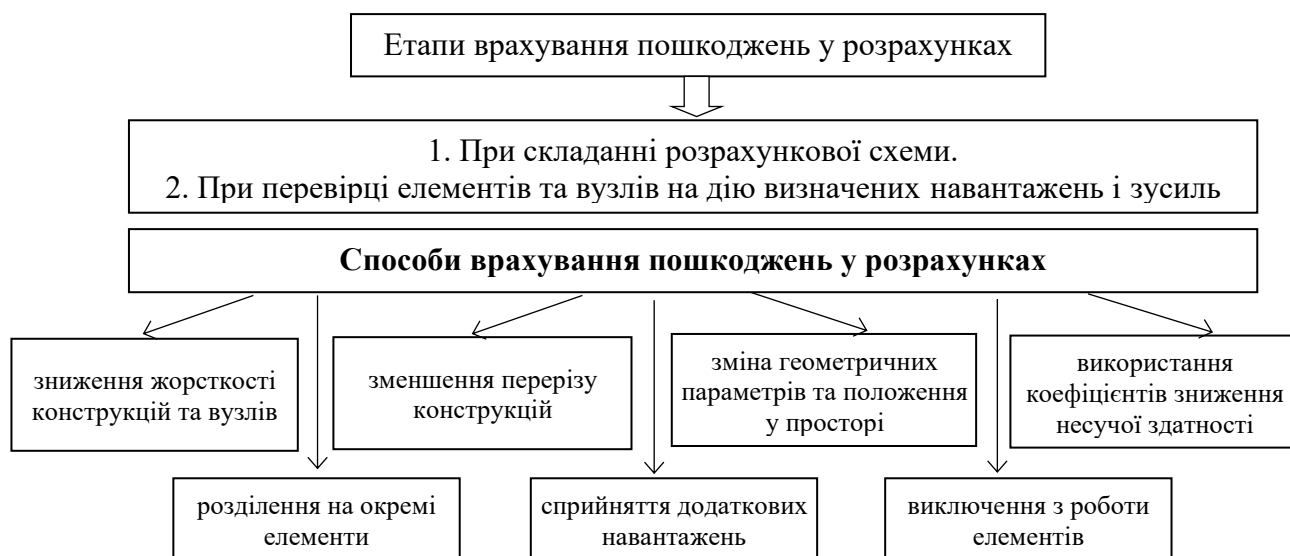


Рис. 1. Етапи та способи врахування пошкоджень у розрахунках

Пошкодження та дефекти кам'яної кладки можуть також враховуватись на етапі перевірки несучої здатності елементів. Окремі методики урахування пошкоджень у розрахунку відображено у чинних нормативах. Наприклад, у нормативних докумен-

тах з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації будівель та споруд (табл. 1) містяться дані щодо зменшення несучої здатності цегляної кладки на стиск залежно від інтенсивності силового тріщиноутворення.

Таблиця 1

Коефіцієнт зниження несучої здатності при утворенні силових тріщин від стискальних зусиль

№ з/п	Характер пошкодження	Коефіцієнт γ_t	
		Неармовані конструкції	Армовані конструкції
1	Тріщини в окремих цеглинах, що не перетинають розчинні шви	1,00	1,00
2	Волосяні тріщини в окремих цеглинах, що не перетинають розчинні шви	0,90	1,00
3	Те саме, при перетині не більше чотирьох рядів кладки при кількості тріщин не більше чотирьох на 1 м ширини (товщини) стіни, стовпа або простінка	0,75	0,90
4	Тріщини з розкриттям до 2 мм, що перетинають не більше восьми рядів кладки, при кількості тріщин не більш чотирьох на 1 м ширини (товщини) стіни, стовпа або простінка	0,50	0,70
5	Те саме, при перетині більше восьми рядів	0,00	0,50
6	Місьцеве (крайове) пошкодження кладки на глибину до 20 мм (дрібні тріщини, відшарування у вигляді лещадок та утворення вертикальних тріщин на кінцях опор або опорних подушок, балок, ферм або перемичок, що перетинають не більше двох рядів кладки)	0,75	0,90
7	Те саме, при перетині тріщинами не більше чотирьох рядів кладки	0,50	0,75
8	Крайове пошкодження кладки на глибину більше 20 мм та утворення вертикальних та косих тріщин по кінцях і під опорами (опорними подушками) балок та ферм, що перетинають більше чотирьох рядів кладки	0,00	0,50

Під терміном «працездатність» розуміють стан об'єкта, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної та конструкторської документації.

Під час реконструкції старих будівель і надання їм рівня комфортабельності відповідно до сучасних вимог необхідно

оцінити дійсний стан будівельних конструкцій, їх працездатність і тільки після цього вирішувати питання про можливість їх подальшої експлуатації або реконструкції.

Для оцінки визначення працездатності цегляної кладки проводиться обстеження будівлі та конструкцій і виконуються поетапно такі види робіт:

- попереднє ознайомлення з проектною документацією, робочими і виконавчими кресленнями, актами на приховані роботи (за їх наявності);
- візуальний огляд об'єкта, виявлення видимих дефектів і їх фіксація, складання схем дефектів споруди, проведення комплексу дослідження неруйнівними методами;
- відбір зразків цегли і розчину для визначення характеристик міцності матеріалів цегляної кладки;
- перевірні розрахунки (визначення міцності конструкцій і деформацій).

За результатами обстеження, як правило, приймається рішення про працездатність цегляної кладки. Нами в стандартну схему (рис. 2) пропонується внести два доповнення:

1) застосувати новий неруйнівний метод визначення міцності цегли і розчину в цегляній кладці;

2) використовувати дослідження кінетики швидкоплинної деформації повзучості цегляної кладки для оцінки її фактичного рівня навантаження як додатковий фактор для оцінки працездатності.

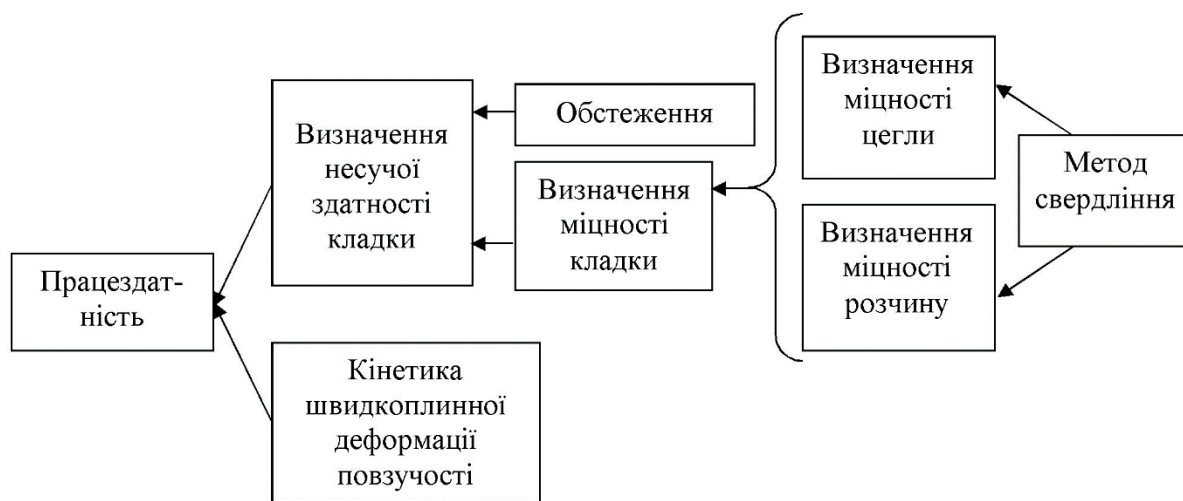


Рис. 2. Схема оцінювання працездатності старої цегляної кладки

Часто проектна документація відсутня, і візуальне обстеження є першим етапом виконуваних робіт.

Воно дає насамперед вихідну інформацію, дає змогу робити висновок про ступінь зношеності елементів конструкцій і конкретизувати подальші випробування.

Інструментальне обстеження пов'язане з використанням неруйнівних методів, які не порушують експлуатаційних якостей конструкцій у цілому. Таке обстеження можна проводити під статичним і динамічним навантаженням. Комплекс заходів містить уточнення значень геометричних параметрів споруди (прогонів, товщини, висоти і т. д.), структурних властивостей

матеріалів, розміщення арматури в цегляній кладці і т. д.

Для оцінки міцності цегли і розчину в цегляній кладці запропоновано такий метод. Місця для свердління в цегляній кладці вибиралися довільно по всій висоті кладки. Свердління виконувалося перпендикулярно до цегляної кладки. Кількість місць, необхідних для свердління, відповідала кількості зразків, випробовуваних на стиск, згідно з державним стандартом [3].

Метою натурних обстежень кам'яної кладки є визначення загального стану будівлі, що відповідає проекту, і наявності дефектів.

Для визначення експлуатаційних властивостей цегляної кладки, відповідно до нормативних документів [4, 5], при повному обстеженні будівель використання методів відбору проб є достатньо трудомістким. Актуальність проблеми пов'язана зі станом цегляних будівель під час обстеження, які мають пошкодження в конструкціях характерного типу.

Зважаючи на досвід проведення оцінки міцності повнотілої глиняної цегли (рис. 3) та вапняного розчину, в більшості випадків встановлена несуча здатність [6] істотно вища за фактичну міцність старої цегляної кладки.



Рис. 3. Загальний вигляд досліджуваної цегли

Необхідно брати до уваги фактори, що знижують несучу здатність кам'яних конструкцій:

- наявність тріщин, їх довжину і ширину розкриття (з появою тріщин у цегляній кладці відбувається дроблення на окремі елементи конструкцій, що

призводить до зниження несучої здатності кладки в цілому);

- наявність дефектів цегляної кладки (можна розділити на зовнішні і внутрішні дефекти, які у свою чергу легко піддаються виправленню, і такі, за яких необхідно виконати спеціальні роботи для їх усунення);

- наявність ерозії в цегляній кладці (призводить до зміни передчасного старіння, а так само зміни геометричних розмірів і ослаблення окремих конструкцій);

- роботи штрабування і виконання отворів (отвори під електропроводку в будинку);

- ексцентриситети, пов'язані з відхиленням стін, стовпів від вертикалі і випинанням з площини, а так само і з неоднорідністю кладки по перетину;

- порушення конструктивного зв'язку між стінами, кам'яними стовпами і перекриттями при утворенні тріщин;

- зміщення арочних і лучкових перемичок.

Розроблявся метод насамперед для старих житлових і громадських будівель (пам'яток архітектури) з метою збереження первісного вигляду конструкцій і архітектурного ансамблю будівель.

Запропонованим неруйнівним методом було визначено характеристики міцності цегли і вапняного розчину.

У табл. 2 наведено характеристики міцності старої повнотілої глиняної цегли та вапняного розчину, а також і відповідна їй міцність кладки.

Таблиця 2

Середньостатистичне значення міцності кладки

№ з/п	Розміри зразка, мм	Міцність стовпа, МПа	Міцність цегли на стиск, МПа	Міцність розчину на стиск, МПа
1	265x265x400	1,65	2,14	0,8
2	265x265x400	1,62	2,1	0,785
3	265x265x400	1,62	2,1	0,78

Працездатність цегляної кладки в експлуатації пов'язана з наявністю таких елементів, їх окремих ділянок, де, з одного боку, зосереджені несприятливі дефекти або є негативні відхилення міцності матеріалу, а з іншого – створюється несприятливий напружений стан. Завдання ускладнюється, якщо в конструкції, під дією певних експлуатаційних факторів, відбулася зміна її напруженого стану, яку неможливо оцінити розрахунковим шляхом.

Обраний для обстеження елемент конструкції є відповідальним, що у свою чергу призведе до руйнування перерозподілу зусиль і виявиться небезпечним, що може призвести до руйнування інших елементів і обвалення всієї системи конструкцій. У цій ситуації рекомендується застосувати метод, що дає змогу експериментально визначити фактичний рівень напруженого стану всього елемента або його окремої ділянки.

При реалізації методу необхідно враховувати:

1. Після фіксації дефектів випробуваної конструкції, визначення міцності цегляної кладки неруйнівним методом і

розрахунковим шляхом оцінюється несуча здатність цегляної кладки і виявляються найбільш небезпечні зони.

2. Аналізується взаємодія випробуваної конструкції з іншими частинами будівлі, з'ясовується, чи не буде це небезпечним для інших конструкцій зі зміною рівня напружень у випробуваній конструкції.

3. Встановлюється домкрат і підключається до насосної станції.

4. Встановлюються прилади для фіксації деформацій і підключаються до СІПТ-3.

5. За допомогою насосної станції створюється тиск у домкраті, що забезпечує повне розвантаження простінка.

6. Навантаження з домкрата знімається шляхом зливання масла з гідросистеми домкрата. Одночасно з розвантаженням проводиться запис процесу деформування протягом 10–20 секунд від початку навантаження (момент скидання масла).

За характером залежностей швидкоплинної деформації повзучості визначається фактичний рівень завантаження конструкцій.

Розміри простінка (рис. 4) з неармованої повнотілої глиняної цегли склали 560 x 700 x 2800 мм.

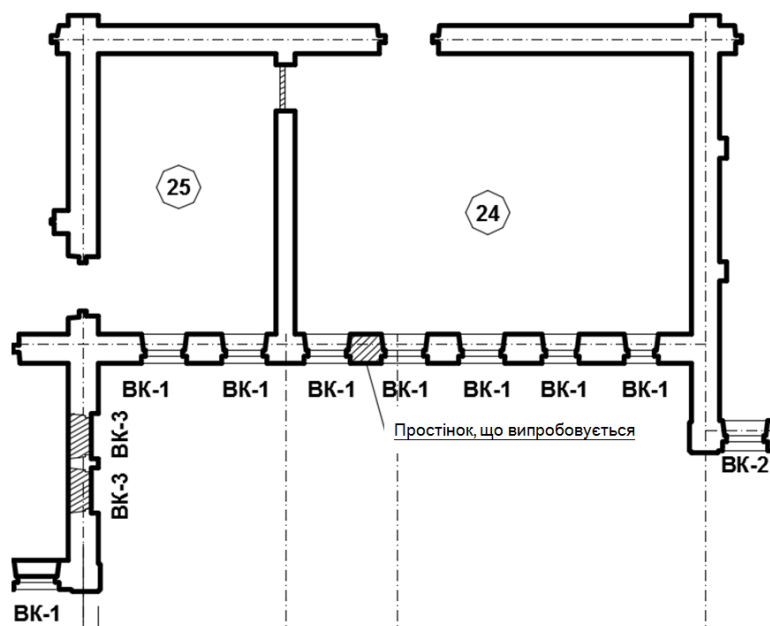


Рис. 4. Випробування простінка на першому поверсі

Зроблено підрахунок навантаження на простінок. Розрахункове постійне навантаження склало $N = 17,64$ т. Несуча здатність Φ простінка визначалася за формулою з урахуванням дефектів у цегляній кладці і склала:

$$\Phi = 22,52 \text{ т} \left(\eta = \frac{N}{\Phi} = \frac{17,64}{22,52} = 0,78 \right). \quad (1)$$

Для визначення фактичного рівня напружень у простінку проведено випробування з кінетики швидкоплинної деформації повзучості. Фактичний рівень напружень від постійного навантаження в цегляному простінку склала $\eta = 0,78$. При такому рівні навантаження в простінку утворювалися численні вертикальні тріщини, які призвели до розшарування простінка і передували його руйнуванню.

Аналізуючи дані, отримані в процесі експерименту, можна сказати, що характер завантаження простінка свідчить про небезпеку руйнування конструкції, тому що запас несучої міцності простінка склав 20 %, що недостатньо для сприйняття повного розрахункового навантаження з урахуванням тимчасових навантажень. При оцінці сейсмостійкості експлуатованих споруд Уздіним А. М. у [8] запропоновано принцип їх класифікації, який базується на визначенні класів сейсмостійкості споруди та її елементів. Під класом сейсмостійкості елемента споруди при цьому розуміємо максимальну силу землетрусу в балах, яку може витримати елемент без переходу в граничний стан. Під класом сейсмостійкості споруди – мінімальний клас його елементів. При цьому клас сейсмостійкості елемента K_s має визначатися з рівняння

$$\Phi(K_s^*) = \Phi_{gr}(K_s^*), \quad (2)$$

де $\Phi(K_s^*)$ – сумарне значення фактора, що перевіряється в елементах споруди, від сейсмічного навантаження, викликаного землетрусом силою K_s^* балів, і від несейсмічного навантаження;

$\Phi_{gr}(K_s^*)$ – гранично допустиме значення фактора.

Для несейсмостійких споруд необхідно вирішити питання про доцільність їх підсилення. При цьому в роботі [9] Уздіним А. М. запропоновано можливість врахування передбачуваного терміну служби споруди, повторюваності землетрусів на майданчику розташування споруд для вирішення питання про доцільність їх підсилення.

Найпростіший підхід до поставленої задачі виходить з впливу класу сейсмостійкості на ресурс довговічності споруди. При цьому передбачається, що за відсутності землетрусів споруда буде виведена з ладу через T_c років. За наявності землетрусів відмова споруди може статися від звичайного або сейсмічного навантаження. Імовірність такої відмови визначається за формулою

$$P = P_1 + P_2 - (P_1 * P_2), \quad (3)$$

де P_1 – імовірність відмови за відсутності землетрусу;

P_2 – імовірність відмови від землетрусу.

З цієї залежності можна отримати залежність зниження ресурсу довговічності споруди від її очікуваного терміну служби і повторюваності землетрусів силою K_s балів. Графіки цих залежностей наведено на рис. 5.

Беручи з інженерних міркувань те чи інше допустиме значення зниження ресурсу довговічності, отримуємо критерій доцільності антисейсмічного підсилення споруд. При нормуванні критеріїв необхідності антисейсмічного підсилення допустиме зниження ресурсу довговічності прийнято рівним 20 %.

Проте недоліком такого способу є відсутність урахування умов експлуатації та зовнішніх сейсмічних факторів.

Для оцінки рівня безпеки залізобетонних будівель при землетрусах в роботі [7] М. Г. Мар'єнковим розроблена інженерна методика розрахунку нелінійних переміщень

і перекосів їх поверхів з урахуванням пластичних деформацій та тріщин на основі методу спектра несучої здатності. Виконувався кроковий розрахунок просторової моделі будівлі на статичні вертикальні і горизонтальні сейсмічні навантаження. За значеннями сейсмічних навантажень, мас і нелінійних переміщень поверхів будівлі, обчисленими на кожному кроці, розраховувалися параметри еквівалентної одномасової системи: період і модальна маса власних коливань за і-ю формою, нелінійна жорсткість, межа плинності і відповідне їй прискорення.

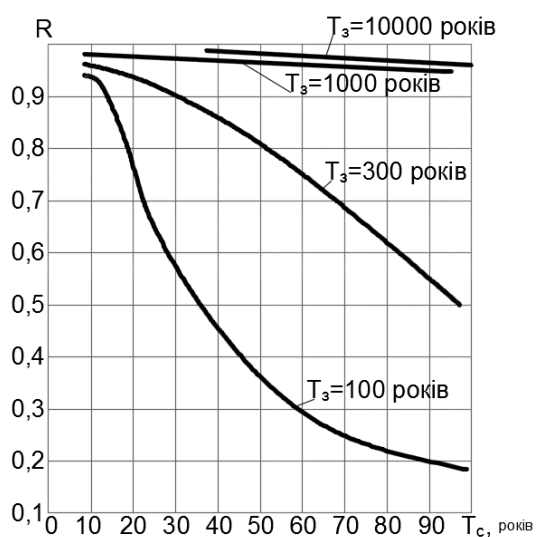


Рис. 5. Графік зниження ресурсу довговічності R залежно від терміну служби споруди T_c і повторюваності землетрусів T_3

Ця методика реалізована для розрахунку залізобетонних діафрагм жорсткості у програмних комплексах. В даному випадку вона призначена для розрахунку граничної зсувної міцності діафрагм жорсткості при сейсмічних знакозмінних навантаженнях і дає змогу визначати коефіцієнт запасу міцності стінової конструкції, горизонтальне граничне переміщення і кут зсуву залежно від інтенсивності сейсмічних дій.

За допомогою цієї методики було проведено експериментальні динамічні дослідження будівель і їх фрагментів з метою оцінки сейсмостійкості конструкцій [7]. Отримано фактичні значення періодів власних поперечних і поздовжніх коливань обстежених будівель. За результатами випробувань натурального фрагмента великопанельної будівлі авторами запропонована залежність відносної зсувної жорсткості стінових панелей $K_T(\xi)$ (відношення нелінійної жорсткості до лінійної) від відношення пластичних переміщень до пружних при знакозмінних небагатократних повторних сейсмічних навантаженнях: $K_T(\xi) = 1,6\xi^{-0,6}$. У роботі враховані наявні тріщини в конструкціях протягом динамічних досліджень для віднайдення жорсткісних характеристик. Проте для повної оцінки сейсмічності споруди з урахуванням пошкоджень потрібно на підставі отриманих результатів оцінити її технічний стан.

У нормах державного стандарту [9] наведено ступені пошкоджень і класифікація пошкоджень будівель з несучими кам'яними стінами залежно від спостережуваних ефектів, що дає змогу оцінити стан будівлі. Згідно з цими нормами пошкоджуваність будівель при землетрусі підрозділяється на шість ступенів d (від 0 до 5) у порядку зростання шкоди та зменшення залишкового ресурсу несучої здатності.

Проте лише на підставі відомостей про ступінь пошкодження будівлі неможливо дати оцінку про конкретний ступінь впливу пошкоджень та дефектів на її несучу здатність.

У [10] для визначення залишкової несучої здатності конструкції запропоновано використання граничних значень її деформованості Z . Величина Z становить відношення періодів вільних коливань однієї й тієї самої будівлі у різний час:

$$Z_{кр} = \frac{T_{кр}}{T_0}, \quad (4)$$

де T_0 і $T_{кр}$ – періоди коливань, виміряні при введенні об'єкта і в той момент, коли він через значний ступінь пошкоджень вже не придатний до експлуатації.

За допомогою цієї методики спостерігається врахування лише загального стану конструкції після отриманих пошкоджень. До того ж значення деформованості конструкції не є основним показником її сейсмостійкості.

В [11, 12] наведено ряд конструктивних рішень підсилення кам'яних конструкцій та будівель для підвищення їх сейсмостійкості, таких як:

1) підсилення простінка з наскрізною похилою, хрестоподібною, горизонтальною та хаотично спрямованою тріщиною установленням металевих сіток з обох сторін простінка з подальшим покриттям їх торкрет-бетоном;

2) підсилення стовпів, що окремо стоять, сталевими, залізобетонними й армованими штукатурними обоями;

3) улаштування в місцях перетину зовнішніх стін (у кутах) двосторонніх торкрет-сорочок;

4) монтаж металоконструкцій для зміцнення стін будівлі при їх відриві;

5) горизонтальне армування раніше закладених прорізів та ін.

Наведені конструкції підсилення кам'яних будівель запропоновані у випадках їх руйнування від зазнаваних землетрусів. Але для більш об'єктивного вибору рішень підсилення конструкцій необхідно чітко враховувати отримані пошкодження різного характеру та визначені внаслідок них категорії технічного стану будівель, а також техніко-економічну ефективність обраного способу.

Висновки:

1. Запропоновано методику оцінки працездатності цегляної кладки, особливістю якої є використання нового методу свердління для визначення міцності цегли і розчину, методу оцінки фактичного рівня напружень за характером кінетики швидкоплинної деформації повзучості.

2. Показником працездатності є один зі складових: визначення міцності цегли і розчину в цегляній кладці методом свердління, а також рівня напружень в існуючій цегляній кладці, де запропонована методика дає більше даних порівняно з існуючою.

3. Методика апробована на семи існуючих об'єктах, відхилення від руйнівних методів склало 10 %.

4. Значні поверхневі пошкодження кладки старих будівель роблять неможливим застосування існуючих неруйнівних методів визначення міцності матеріалів цегляної кладки. Запропонований метод дав достовірні результати завдяки глибинному зондуванню.

5. Дослідження кінетики швидкоплинної повзучості дає змогу отримати додатково інформацію про фактичний рівень навантаження конструкції і більш точно оцінити працездатність простінка, рівень якого склав $\eta = 0,79$, що свідчить про критичну роботу і вимагає прийняття рішення про посилення конструкції.

6. Очікувана наукова новизна досліджень:

- розроблено класифікацію пошкоджень і дефектів кам'яних будівель широкого спектра властивостей і факторів з точки зору їх впливу на сейсмостійкість;

- отримано чітку методику врахування тріщиноутворення різного типу та походження при розрахунку кам'яних конструкцій на сейсмічні впливи;

- визначено ефективну універсальну методику перевірки кам'яних конструкцій за напруженнями, отриманими в скінченно-елементній моделі;

- визначено та обґрунтовано залишкову несучу здатність кам'яних конструкцій з пошкодженнями при розрахунку на сейсмічні впливи;

- визначено чіткі натурні фактори і категорії технічного стану кам'яних будівель з точки зору їх сейсмостійкості;

- розроблено узагальнену систему вибору найбільш ефективних рішень з підвищення сейсмостійкості будівель.

Результати мають практичне значення і можуть бути використані для підвищення ефективності обстеження, розрахунку та

підсилення кам'яних будівель, що експлуатуються в умовах сейсмонебезпечних територій.

Список використаних джерел

1. Андрух С. Л. Методи визначення фізико-механічних властивостей кладки. *DYNAMICS OF THE DEVELOPMENT OF WORLD SCIENCE: X* Междунар. науч.-практ. конф. 10–12 июня, Ванкувер, Канада. 2020.
2. Андрух С. Л. Визначення несучої здатності цегляної кладки на прикладі 8-ї школи в м. Суми. *Сучасний рух науки: VII* Міжнар. науч.-практ. конф. Київ, 2019. 254 с.
3. ДСТУ Б В.2.7-42-97. Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів. Чинний від 1997-07-01. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=4067 (дата звернення: 24.11.2020).
4. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Чинний від 2017-04-01. URL: http://pdf.sop.zp.ua/standart_dstu-n_b_v_1_2-18_2016.pdf (дата звернення: 20.12.2020).
5. ДБН В.3.2-2-2009. Реконструкція, ремонт, реставрація об'єктів будівництва. Чинний від 2010-01-01. URL: <https://kga.gov.ua/files/doc/normy-derjavy/dbn/DBN-V23-2-2009-Zhytlovi-budynky-Rekonstrukcija-ta-kapitalnyj-remont.pdf> (дата звернення: 26.12.2020).
6. Теоретические и экспериментальные исследования каменных конструкций. *Сборник трудов Т. А. Горькова*. Москва: Стройиздат, 1978. 210 с.
7. Хохлін Д. О. Конструктивний захист житлових будинків масових серій, що експлуатуються в умовах просідаючих ґрунтів сейсмонебезпечних територій: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Київ, 2009. 155 с.
8. Уздин А. М., Усачева Н. М. Оценка влияния класса сейсмостойкости моста на ресурс его долговечности. *Экспресс-информ. ВНИИИС*. Сер. 14. Сейсмостойкое строительство. 1985. № 2. С. 1–5.
9. ДСТУ Б В. 1.1-28:2010. Шкала сейсмічної інтенсивності. Чинний від 2011-10-01. URL: http://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY4/dsty_b_v.1.1-28-2010.pdf (дата звернення: 28.12.2020).
10. Мартемьянов А. И. Инженерный анализ последствий землетрясений 1946 и 1966 гг. в Ташкенте. Ташкент: Издательство «ФАН», 1969. 200 с.
11. Мартемьянов А. И., Ширин В. В. Способы восстановления зданий и сооружений, поврежденных землетрясением. Москва: Стройиздат, 1978. 204 с.
12. Рекомендации по восстановлению и усилению зданий массовой застройки / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. Москва, 1990. 193 с.

Андрух Сергій Леонідович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри архітектури та інженерних вишукувань Сумського національного аграрного університету. ORCIDiD: 0000-0001-5041-885X. Тел.: (050)9972758. E-mail: sl_a@ukr.net.

Теліченко Олександр Іванович, старший викладач кафедри будівельного виробництва Сумського національного аграрного університету. ORCIDiD: 0000-0001-6018-6976. Тел.: (050)73-33-616. E-mail: telichenko.natali@ukr.net.

Andruk Serhii, PhD (Tech.), Senior Lecturer, Department of Engineering Research, Sumy National Agrarian University. ORCID iD: 0000-0001-5041-885X. E-mail: sl_a@ukr.net.

Telichenko Alexander, Senior Lecturer, Department of Construction Production, Sumy National Agrarian University. ORCID iD: 0000-0001-6018-6976. E-mail: telichenko.natali@ukr.net.

Статтю прийнято 21.01.2021 р.

УДК 691.3

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СВЕТОПРОВОДЯЩЕГО БЕТОНА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЕГО В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Канд. техн. наук П. В. Ковтун, магистрант К. С. Разводов

LIGHTING CONCRETE PRODUCTION FEATURES AND PROSPECTS OF APPLICATION IN RAILWAY CONSTRUCTION

PhD (Tech.) P.V. Kovtun, master K. S. Razvodov

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.195.2021.241073>

Аннотация. Светопроводящий бетон, впервые предложенный в 2002 году, дает возможность увеличить безопасность безбарьерной среды на железных дорогах и не только. Использование такого бетона позволяет видеть пешеходную разметку в темное время суток и обезопасить движение пешеходов на опасных участках.

Светопроводящий бетон не изменяет свои свойства под действием природных факторов, что позволит значительно сократить расходы на содержание инженерных сооружений вокзалов, пешеходных переходов и т. д.

Одной из сфер применения светопроводящего бетона может стать транспортное строительство и благоустройство приобъектных территорий (тротуары, лестницы, платформы) в части повышения их интерактивности в темное время суток.

Ключевые слова: светопроводящий бетон, эксперимент, оптические волокна, прочность, дорожное строительство.

Abstract. The prospect of light-conducting concrete in railway construction is associated with an increase in recent years in interest in creating a barrier-free environment, including at railway stations, platforms, pedestrian crossings, in pedestrian tunnels, and so on. The material makes it possible to duplicate marking elements in hazardous areas of passenger movement at night without breaking the material environment, which will facilitate care for it in the winter.

When creating innovative pedestrian crossings (equipped with interactive lanes that duplicate the traffic light for pedestrians), the use of light-conducting concrete will increase the antivandistance of the engineering arrangement. Unlike polymeric materials, the litracon material considered in the article does not change its properties under the influence of high temperatures, is not susceptible to instantaneous violation of the integrity and loss of surface properties under mechanical stresses.

The high cost of the material does not yet allow its widespread use in the construction of railway infrastructure facilities on an industrial scale, however, with an increase in the production of optical fiber (the most expensive component of light-conducting concrete) and the search for new technologies that reduce the cost of its production, a drop in prices for this type of raw material is naturally expected.

One of the areas of application of light-conducting concrete can be transport construction and landscaping of on-site territories (sidewalks, stairs, platforms) in terms of increasing their interactivity in the dark.

The article proposes a composition (No. 1) corresponding to the compressive strength and tensile strength when bending, the requirements for products used in railway construction, for which light-conductive concrete can be used.

The problem of light-transmitting concrete in the maintenance of railway infrastructure in the Republic of Belarus is being raised for the first time.

Keywords: *lightconducting concrete, experiment, optical fibers, strength, road construction.*

Введение. Светопроводящий бетон впервые был создан венгерским архитектором Ароном Лосконши в 2002 году. Задумавшись над тем, как добавить в помещения из бетона солнечного света, не нарушая при этом прочности конструкции, он пришел к идее модификации внутреннего строения бетона. Добавив в состав бетонной смеси светопроводящее оптическое волокно, Лосконши получил внешне привлекательные блоки, полностью соответствующие эксплуатационным характеристикам искусственного камня. Новый строительный материал он назвал литраконом, взяв за основу словосочетание light transmitting concrete, которое дословно переводится как светопроводящий бетон.

Светопроводящий бетон впервые использовался по своему прямому назначению при строительстве в 2005 году особняка в стиле hi-tech, спроектированном его коллегой из Германии Юргеном Ломаном. Именно этот пример и продемонстрировал все качества, присущие новейшему строительному материалу. Другим сооружением, при строительстве которого был использован этот вид бетона, стало главное здание Лейпцигского автомобильного концерна BMW, созданное известным архитектором Захой Халид, ставшей впоследствии обладательницей Немецкой архитектурной премии.

Высокая стоимость материала пока не позволяет довольно широко применять его в строительстве объектов железнодорожной инфраструктуры в промышленных масштабах, однако с увеличением производства оптического волокна (самого дорогого компонента светопроводящего бетона) и поиском новых технологий, снижающих стоимость его производства, закономерно ожидается падение цен на данный вид сырья.

Одной из сфер применения данного материала может стать железнодорожное и мостовое строительство, а также благоустройство приобъектных территорий (тротуары, лестницы) в части повышения их интерактивности в темное время суток.

Применение светопроводящего бетона позволит сделать объекты железной дороги более заметными, что в свою очередь повысит безопасность как пешеходов, так и подвижного состава.

Анализ последних исследований и публикаций. Светопроводящий бетон – современный материал, появившийся в 2002 году. Сейчас основной проблемой применения материала является его высокая стоимость, что отражено в работах таких ученых, как М. Х. Кодзоев, С. Л. Исаченко, И. М. Арцукевич, М. Zielińska, A. Ciesielski, K. Shreyas. В этих трудах описана технология, компоненты, необходимые для получения светопроводящего бетона, а также отражены результаты испытаний материала.

М. Х. Кодзоев, С. Л. Исаченко [1] в своей работе «Светопроводящий бетон» показывают технологию производства и применения светопроводящего бетона, его прочностные характеристики. Использование светопроводящего бетона позволяет обеспечить экономию энергии и затрат на теплоизоляцию. Но главным его недостатком является высокая стоимость.

Белорусский ученый И. М. Арцукевич [2] в своих работах описывает способ получения светопроводящего материала, используя различные составы вяжущих веществ и оптические волокна.

М. Zielińska, A. Ciesielski [3] изучают прочностные характеристики светопроводящего бетона и его особенности.

К. Shreyas [4] описывает прозрачный бетон как новый тип бетона, представленный в современную эпоху, который обладает особыми свойствами

пропускания света благодаря наличию стеклянных стержней или оптических волокон. Он легче обычного бетона с такими особенностями, как низкая плотность и теплопроводность. Основной целью его исследования является разработка светопрозрачных бетонных блоков с использованием стеклянных стержней и оптических волокон с песком и цементом, а затем анализ их различных физико-технических свойств по сравнению с обычными бетонными блоками.

Применение в сфере рельсового транспорта может повысить безопасность пешеходов и пассажиров путем выполнения границ посадочных платформ изделиями из светопроводящего бетона, а также дублирование ими сигнала светофора, запрещающего пешеходам движение через железнодорожные пути.

В данной статье впервые говорится о возможности использования светопроводящего бетона в железнодорожном строительстве: при возведении посадочных платформ, организации переходов через железнодорожные пути. Кроме того, приведена стоимость 1 м^3 бетонной смеси для изготовления плитки тротуарной в соответствии с СТБ 1071-2007.

Определение цели и задачи исследования. Основной целью данной статьи является рассмотрение возможности применения светопроводящего бетона в транспортном строительстве и благоустройстве приобъектных территорий железнодорожных станций, вокзалов и т. д.

Главная задача исследования – анализ экспериментальных образцов, изготовленных из светопроводящего бетона, и по результатам испытаний – выбор наиболее подходящего состава при наименьшей стоимости изготовления.

Основная часть исследования. Для определения вида используемого оптического волокна было применено оптическое волокно торцевого и бокового свечения. Разность распределения светового потока обусловлена разными химическими

составами оптического волокна. Так, оптическое волокно торцевого свечения проводит световой поток без потерь на расстояние до нескольких десятков метров, в то время как оптическое волокно бокового свечения теряет значительную часть светового потока уже на расстоянии в несколько метров от источника света (рис. 1).

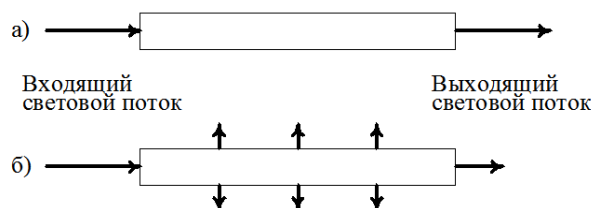


Рис. 1. Схема распределения светового потока в оптическом волокне:
а – торцевого свечения; б – бокового свечения

Однако в условиях бетонных изделий для дорожного и мостового строительства [5], где максимальная толщина слоя светопроводящего бетона составит 15 см (для камня бортового БР 100.30.15, выпускаемого по СТБ 1097-2012 [6]), и при отсутствии потерь светового потока в теле бетона у волокна бокового свечения для производства допустимо использовать оба вида оптического материала [7].

Поскольку состав оптического волокна неизвестен, то необходимо провести анализ химического взаимодействия с компонентами планируемой бетонной смеси: добавкой-пластификатором Хидетал ГП-9а (альфа) на основе поликарбоксилатов и пропиткой для поверхности бетонов Сифтор Б. При температуре производственной среды $20 \text{ }^\circ\text{C}$ время воздействия химической добавки на оптическое волокно (до завершения процесса схватывания бетонной смеси) не превысит 12 часов. При обработке концентратом пропитки время полного высыхания составляет 4 часа. В связи с этим оптическое волокно каждого вида было

помещено в раствор добавки-пластификатора и концентрата пропитки для бетонов на 12 часов. В результате выявлено полное отсутствие химического взаимодействия оптического волокна с данными веществами. На боковой и торцевой поверхности отсутствуют разрушения целостности поверхностного слоя, цвет не изменен. Таким образом, данные химические вещества можно использовать для производства светопроводящего бетона [8].

Для изготовления экспериментальных образцов в соответствии с СТБ 1182-99 [9] было подобрано три состава бетонной смеси

и произведены на их основе опытные лабораторные замесы для получения наилучших свойств при наименьшей стоимости.

Для бетонной смеси были использованы следующие инертные материалы (табл. 1):

- песок крупнозернистый (карьер Боруны);

- песок мелкозернистый (карьер УПТК Гомельского горисполкома);

- щебень фракции 5–10 мм (РУПП «Гранит»).

Для получения марок бетона по прочности на сжатие 300–400 наиболее рационально использовать бездобавочный портландцемент марки ПЦ500 Д0.

Таблица 1

Расход материалов на 1 м³ бетонной смеси

Материал	Расход материалов по составу, кг		
	Номер пробного состава		
	1	2	3
Цемент	595	730	405
Песок (Боруны)	1425	-	-
Песок (УПТК)	-	1290	765
Щебень фракции 5–10 мм	-	-	1045
Вода	180	200	150
Химическая добавка	3,85	4,75	2,45
Оптическое волокно	8,6	8,6	8,6

Для изготовления светопроводящего бетона щебень фракции крупнее 10 мм не применяется в связи с небольшой прослойкой бетона между слоями оптического волокна. Оптическое волокно будет располагаться послойно на расстоянии 1,5–2 см. Также неприменимость щебня крупнее 10 мм связана с тем, что при вибрации в процессе изготовления изделий он будет оседать (стремиться к дну формы), попутно продавливая и изменяя положение и рядность оптического волокна, тем самым нарушая его ориентированность, что

повлияет на распределение света по рабочей грани изделия и прочностные свойства.

Для исследования прочности на сжатие светопроводящего бетона с послойным расположением оптического волокна в теле бетона используются образцы-кубы размером 100x100x100 мм, изготовленные по каждому из трех составов [10]. В связи с тем, что применение оптического волокна является аналогом армирования, а разрушающая нагрузка ожидаемо должна быть выше, то принимаются схемы армирования образцов, приведенные на рис. 2.

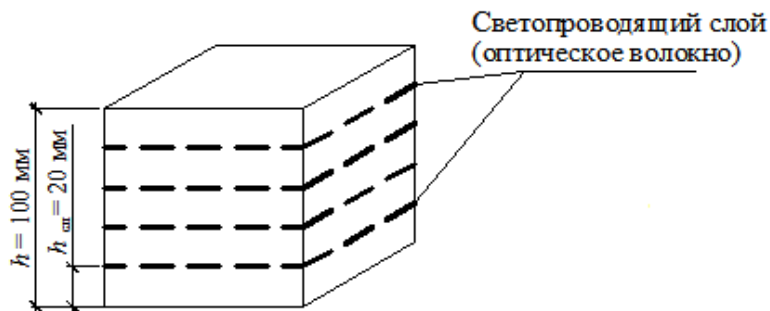


Рис. 2. Схема армирования образцов-кубов 100x100x100 мм

В целях исключения налипания бетонной смеси на поверхности формы используется смазка для форм или машинное масло, нанесенное на поверхность тонким слоем. В подготовленную смазанную форму укладывается и распределяется бетонная смесь толщиной 20 мм. Смесь тщательно штыкуется 10 раз, после чего на поверхность уплотненной бетонной смеси раскладывается оптическое волокно с интервалом 4-5 мм. Волокна слегка утапливаются в выступившем цементном молоке во избежание их смещения при укладке следующих 20 мм бетонной смеси. Схема раскладки оптического волокна приведена на рис. 3.

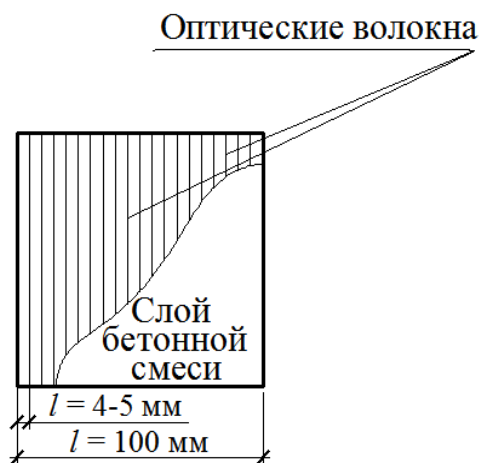


Рис. 3. Схема раскладки оптического волокна в светопродводящем слое (вид сверху) образцов-кубов 100x100x100 мм

Далее форма снова заполняется бетонной смесью на толщину 20 мм. Смесь опять тщательно штыкуется 10 раз, но только на толщину чуть менее толщины слоя уложенной бетонной смеси, поскольку при проникновении штыковки в светопродводящий и ранее уложенный слой ориентированность волокон может быть нарушена. Далее процесс повторяется. После четвертого светопродводящего слоя форма заполняется полностью, штыкуется на толщину слоя до выступления цементного молока и выравнивания поверхности, после чего образец маркируется.

Изготовленные образцы помещаются в нормальные условия с температурой воздуха в помещении $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажностью $W_{\text{отн}} = 95\%$. Образцы расплубливаются через двое суток. Испытания по показателям прочности на сжатие проводятся на седьмые сутки.

Также в ходе проведения лабораторных замесов необходимо отметить низкую технологичность состава № 2. В связи с отсутствием зерен крупнее 2,5 мм бетонная смесь практически не уплотняется, оптические волокна не удерживаются на поверхности ранее уложенного и уплотненного слоя бетонной смеси и смещаются при заполнении формы следующим слоем бетонной смеси.

Для оценки влияния на прочность направленности волокон испытания бетона проводятся по способу приложения

нагрузки в двух направлениях: нормально уложенным слоям волокон и параллельно уложенным слоям волокон (рис. 4).

Результаты испытания бетона по показателям прочности на сжатие представлены в табл. 2.

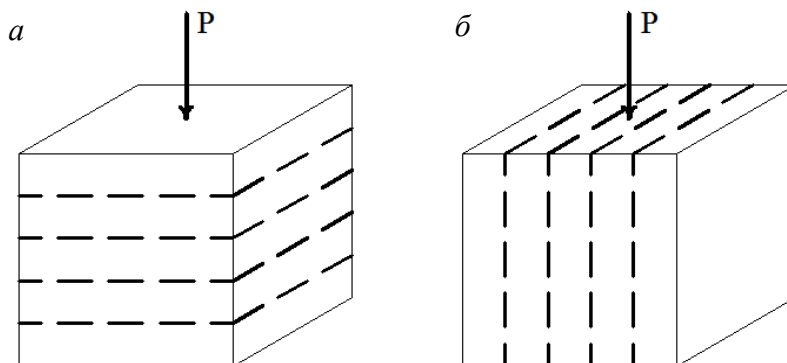


Рис. 4. Способы приложения нагрузки при испытании прочности бетона:
a – приложение нагрузки нормально уложенным слоям;
б – приложение нагрузки параллельно уложенным слоям

Таблица 2

Результаты испытания бетона по показателям прочности на сжатие (*B*), МПа

Показатель	Номер пробного состава					
	1		2		3	
	С оптическим волоконном	Без оптического волокна	С оптическим волоконном	Без оптического волокна	С оптическим волоконном	Без оптического волокна
на 7-е сутки						
<i>B</i> (при приложении нагрузки нормально уложенным слоям)	43,5	40,4	34,8	32,4	31,5	29,6
<i>B</i> (при приложении нагрузки параллельно уложенным слоям)	23,4	37,1	21,4	26,8	20,9	25,1
на 28-е сутки						
<i>B</i> (при приложении нагрузки нормально уложенным слоям)	61,9	56,2	49,4	46,2	45,0	42,6
<i>B</i> (при приложении нагрузки параллельно уложенным слоям)	33,4	52,1	31,4	38,8	29,9	36,1

Результаты испытаний показали, что недопустимо расположение волокон параллельно прикладываемой нагрузке. Поэтому для конструкций из светопроводящего бетона необходимо предусматривать направление волокон под углом, как можно более близким к 90° по отношению к направлению приклады-

ваемой нагрузки, что повышает прочность на сжатие на 7,1 %.

График темпа набора прочности бетона представлен на рис. 5.

В дальнейшем был проведен анализ стоимости бетона по каждому составу. Стоимость сырья приведена в табл. 3.

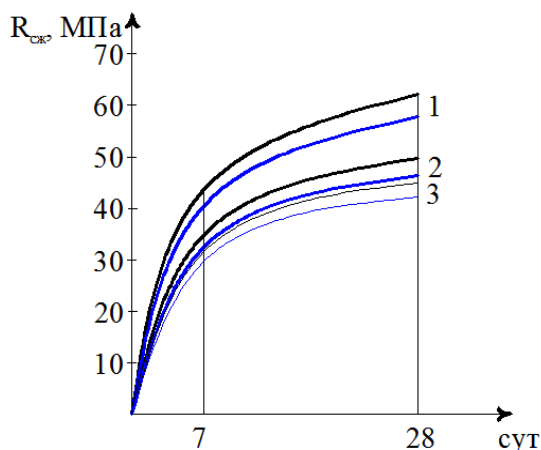


Рис. 5. График темпа набора прочности бетона на сжатие (образцы, изготовленные с применением оптического волокна (черный цвет); образцы, изготовленные без применения оптического волокна (синий цвет)): 1, 2, 3 – номер состава

Таблица 3

Стоимость сырья и расчет стоимости 1 м³ бетонной смеси (бел. руб.)

Материал	Цена за 1 т (1 м.п.)	Номер пробного состава					
		1		2		3	
		Кол-во, т (м.п.)	Цена на состав	Кол-во, т (м.п.)	Цена на состав	Кол-во, т (м.п.)	Цена на состав
Цемент	114,7	0,595	68,25	0,73	83,73	0,405	46,1
Песок (Боруны)	9,29	1,425	13,24	-	-	-	-
Песок (УПТК)	4	-	-	1,290	5,16	0,765	3,06
Щебень фракции 5–10 мм	14,93	-	-	-	-	1,045	15,6
Вода	0,8	0,180	0,14	0,2	0,16	0,15	0,12
Химическая добавка	1750	0,00385	6,73	0,00475	8,31	0,00245	4,28
Оптическое волокно	0,43	799,6	343,83	799,6	343,83	799,6	343,83
Итоговая стоимость (за 1 м³ бетонной смеси):		432,19		441,19		412,99	

На основании анализа стоимости и технологичности смеси, а также наибольших значений прочности для дальнейшей работы принимается состав № 1.

Для работы светопроводящего бетона в условиях воздействия раствора соли в воде и соляного тумана необходимо предусмотреть пропитку для поверхности бетона с целью предотвращения разрушения при работе в условиях агрессивной среды (класс XF4), особенно на границе оптическое волокно – бетон. Сегодня в Беларуси успешно зарекомендовала себя пропитка Сифтор Б. Она активно применяется в обработке железобетонных парапетных ограждений на автомобильных дорогах республики.

Перспективность светопроводящего бетона в железнодорожном строительстве связана с повышением в последние годы интереса к устройству безбарьерной среды, в том числе на железнодорожных вокзалах, перронах, пешеходных переходах, в пешеходных тоннелях и т. д. Материал делает возможным дублирование в темное время суток элементов разметки на опасных участках передвижения пассажиров без разрыва среды материала, что облегчит уход за ним в зимнее время.

При создании инновационных пешеходных переходов (оборудованных

интерактивными полосами, дублирующими сигнал светофора для пешеходов) применение светопроводящего бетона позволит повысить антивандальность инженерного обустройства. В отличие от полимерных материалов, литракон не изменяет своих свойств под действием высоких температур, не подвержен мгновенному нарушению целостности и потере свойств поверхности при механических воздействиях.

Для повышения архитектурной привлекательности и снижения травматичности светопроводящий бетон можно применять на кромках ступеней лестничных маршей [11].

Выводы:

1. Оптическое волокно не взаимодействует с химическими веществами, входящими в состав бетонной смеси.

2. Оптическое волокно при расположении под углом, близким к 90° к направлению действия нагрузки, повышает прочность изделий, выполняя в них роль армирующего элемента.

3. Предложенный состав № 1 соответствует по показателям прочности на сжатие (В) требованиям к изделиям, используемым в железнодорожном строительстве, для которых можно применить светопроводящий бетон [12].

Список использованных источников

1. Кодзоев М. Х., Исаченко В. Л. Светопроводящий бетон. *Бюллетень науки и практики*. 2018. Т. 4. № 6. С. 184–187.
2. Арцукевич И. М. Получение светопроводящего бетона. *Наука и образование сегодня*. 2017. С. 19–20.
3. Monika Zielińska, Albert Ciesielski. Analysis of Transparent Concrete as an Innovative Material Used in Civil Engineering. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017. № 245. P. 1–7.
4. Shreyas Krishnappa. Litracon. *International Journal of New Technologies in Science and Engineering*. 2018. Vol. 5. Issue. 6. P. 41–56.
5. СТБ 2221-2011. Бетоны конструкционные тяжелые для транспортного и гидротехнического строительства. Технические условия. Минск: Госстандарт, 2012. 30 с.
6. СТБ 1097-2012. Камни бетонные и железобетонные. Технические условия. Минск: Госстандарт, 2008. 18 с.

7. Губанов Д. О., Комарова Н. Д. К вопросу модифицирования цементов и бетонов. *Университетская наука: сб. статей. Минеральные Воды*, 2016.
 8. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Кардумян Г. С. Новые модифицированные бетоны. Москва: Типография «Парадиз», 2010. 25 с.
 9. СТБ 1182-99. Бетоны. Правила подбора состава. Минск: Госстандарт, 2000. 16 с.
 10. СТБ 1545-2005. Смеси бетонные. Методы испытаний. Минск: Минстройархитектуры, 2005. 24 с.
 11. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Минск: Госстандарт, 2015. 36 с.
 12. Разводов К. С., Ковтун П. В., Этин П. Ю. Инновационные материалы в дорожной отрасли. *Теория и практика исследований, проектирования и САПР в строительстве: сборник статей IV Междунар. науч.-техн. конф.* 2020. С. 153–161.
-

Ковтун Павел Владимирович, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов Белорусского государственного университета транспорта. Тел.: +375291887701. E-mail: sed@bsut.by. ORCID iD: 0000-0002-1507-3531.
Разводов Константин Сергеевич, магистрант кафедры проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов Белорусского государственного университета транспорта. Тел.: +375447350305. E-mail: kostia.raz@mail.ru. ORCID iD: 0000-0003-1279-8649.

Kovtun Pavel Vladimirovich, PhD (Tech.), Associate Professor of the Department «Design, construction and operation of transport facilities» of the Belarusian State University of Transport. Tel.: +375291887701. E-mail: sed@bsut.by. ORCID iD: 0000-0002-1507-3531.

Razvodov Konstantin Sergeevich, master, Department «Design, Construction and Operation of Transport Facilities» of Belarusian State University of Transport. Tel:+375447350305. E-mail: kostia.raz@mail.ru. ORCID iD: 0000-0003-1279-8649.

Статтю прийнято 25.01.2021 р.

МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ (131, 132, 133)

УДК 621.874.04

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЗУСИЛЬ ПРИ РОБОТІ
МЕХАНІЗМУ ПЕРЕСУВАННЯ ВАНТАЖНОГО ВІЗКА МОСТОВОГО КРАНА**

Д-р техн. наук Н. М. Фідровська, канд. техн. наук Є. Д. Слепужніков,
д-р техн. наук Р. В. Пономаренко, канд. техн. наук Д. С. Козодой

**EXPERIMENTAL STUDY OF DYNAMIC EFFORTS DURING THE OPERATION OF
THE MECHANISM OF MOVEMENT OF THE CARGO TROLLEY OF AN OVERHEAD
CRANE**

**D. Sc. (Tech.) N. Fidrovskaya, PhD (Tech.) E. Slepuzhnikov, Dr. Sc. (Tech.) R. Ponomarenko,
PhD (Tech.) D. Kozodoi**

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.195.2021.241092>

***Анотація.** У статті проведено визначення динамічних навантажень, що виникають у ходових колесах звичайної (штатної) та модернізованої конструкції під час пересування вантажного візка мостового крана. Модернізоване колесо має вставку, яка виготовлена з гумової суміші 7-7130. Також було визначено метод діагностування ходових коліс звичайної та модернізованої конструкції.*

Для реєстрації та аналізу сигналу обрано програму ZETLAB. Вона дає змогу відображати зареєстрований сигнал не тільки в режимі реального часу з подальшим масштабуванням, а й виконувати оцифрування сигналу з подальшою можливістю обробити отримані результати в різних стандартах.

Отримані результати вказують на доцільність використання коліс модернізованої конструкції на вантажному візку мостового крана.

***Ключові слова:** колесо ходове, вантажний візок, мостовий кран, гума вставка, динамічні навантаження.*

***Abstract.** The article deals with the determination of the dynamic loads arising in the running wheels of a conventional (standard) and modernized design during the movement of the cargo carriage of an overhead crane. The redesigned wheel has an insert made from 7-7130 rubber compound. Also, a method for diagnosing running wheels of conventional and modernized design was determined.*

The ZETLAB program was chosen as a program for signal registration and analysis. This program allows not only displaying the signal in real time with the possibility of scaling, but also allows you to digitize the signal with the possibility of further processing the results in various standards.

Finding out the occurrence of a defect in wheels and rails is mainly carried out by two methods, when shock pulses appear and according to an increased background of vibration. In practice, there is a process of "dry" rolling friction, and this means that the method of shock pulses for diagnosing the condition of wheels and a rail track can be used only in some cases in the form of extreme wear of the friction pairs of a wheel and a rail. That is, the method of spectral analysis of fluctuations in the power of random vibration can be successfully applied to diagnose the state of the rail track and crane wheel.

The diagnostic method based on the overall vibration level allows for an overall assessment of the technical condition. Such diagnostics makes it possible to identify defects only at the very last stage of development, when they lead or have already led to partial destruction of the rolling surface of the wheel and the surface of the rail, that is, to an increase in the overall level of vibration.

The performance evaluation criteria are fully focused on the corresponding standard vibration levels for the investigated friction pair. A friction pair is considered to be defective, the vibration of which exceeds the general standard. When determining an increased overall level of vibration, maintenance personnel must make a decision to replace parts or a unit to prolong its operation.

The results obtained indicate the advisability of using the wheels of the modernized design on the cargo carriage of an overhead crane.

Keywords: *running wheel, truck, overhead crane, rubber insert, dynamic loads.*

Вступ. У сьогоденній промисловості все частіше можна натрапити на конструкції, які складаються з декількох неоднорідних шарів. Це циліндричні деталі, які поєднані між собою за допомогою різних засобів, наприклад, футеровані барабани, труби для транспортування різноманітних речовин, ходові колеса.

В авіабудуванні, суднобудуванні, будівництві та інших галузях застосовуються багатошарові конструкції, в основному тришарові пластини та оболонки. Така конструкція складається з двох міцних зовнішніх шарів, які з'єднані за допомогою заповнювача. Заповнювачем є матеріал, який має меншу міцність, ніж зовнішні шари, але забезпечує пружні властивості оболонці або пластинці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Металоконструкція крана опирається на ходові колеса і тримає на собі вантажний ходовий візок [1]. При цьому вона в декілька разів зовнішньо статично невизначена система, порядок якої залежить від кількості реборд ходових коліс, які контактують з рейкою [2, 3].

На мостовий кран, який працює у приміщенні, діють такі сили:

– сили руху приводних двигунів відповідного краю крана, які залежать від швидкості приводного колеса і часу перемикання пускових реостатів з одного на інший ступені [4];

– сили опору пересування відповідного краю крана, які залежать від маси вантажу, місця розташування вантажного

візка на мосту крана, кількості реборд кранових ходових коліс, які контактують з рейками, і сили тертя, які створюються при цьому між ребордами та головками рейок [5–7];

– горизонтальна складова сили натягнення в канатах при гнучкому підвісі вантажу, яка виникає при пуску або гальмуванні [8];

– реакції зв'язку, які діють з напрямку рейок на ходові колеса мостового крана по доріжці кочення [9, 10];

– контактні сили, які діють на реборди коліс з напрямку рейок [11, 12].

На розмір динамічних сил, що виникають при переміщенні ходових коліс, впливають не тільки геометричні, а також і масові параметри металоконструкції мостового крана. Вони визначають кінематичну енергію під час його поздовжнього та поперечного руху в горизонтальній площині, а також коефіцієнт жорсткості металоконструкції мостового крана та дисипативні параметри, які характеризують поглинання енергії під час пружних коливань. Прогін мосту і база крана – це геометричні складові. Маса крана належить до масових параметрів, вона приведена до його поздовжнього переміщення. Питома вага основних балок, маса візка, маса механізму пересування та момент інерції головної балки крана відносно вертикальної осі також належать до масових параметрів [13].

Структурні сили демпфування запобігають пружним коливанням. До таких

сил слід віднести сили тертя в з'єднаннях мостового крана з ходовими колесами візка.

На хід динамічних процесів, які відбуваються в кранах, впливають і конструктивні параметри механізмів пересування мостового крана та візка. Також впливає і різновид ходових коліс та їхня кількість, загальна схема механізму пересування крана, тип підкранової рейки і засоби її кріплення, технічні характеристики приводного двигуна [14].

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є визначення динамічних навантажень при застосуванні модернізованих ходових коліс на вантажному візку мостового крана.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- визначити метод діагностування кранових ходових коліс;
- визначити динамічні навантаження штатних та модернізованих ходових коліс.

Основна частина дослідження. Виявлення дефекту ходових коліс і рейок, як правило, здійснюється двома методами. Перший метод пов'язаний з появою ударних імпульсів. Другий метод пов'язаний з підвищенням фону вібрації. Практично триває процес «сухого» тертя кочення, а це означає, що метод ударних імпульсів для діагностики стану ходових коліс і рейкової колії може застосовуватися тільки в окремих випадках у вигляді екстремального зносу пар тертя ходового колеса і рейки. Тобто метод спектрального аналізу коливань потужності випадкової вібрації може бути успішно використаний для діагностування стану рейкової колії та кранового ходового колеса [15].

Необхідно звернути увагу на методи з'ясування технічного стану вузлів та механізмів для пошуку дефектів:

- метод виявлення загального рівня вібрації;
- метод середнього квадратичного значення (СКЗ) віброшвидкості;
- метод визначення спектра вібросигналу;

– метод співвідношення пікових та фонових даних вібросигналу;

– метод спектра обгинальної сигналу.

Провести загальну оцінку технічного стану можна за допомогою методу діагностування загального рівня вібраційних ознак. Але такий метод дає змогу визначити дефекти лише на останньому етапі розвитку, коли вони руйнують або вже призвели до руйнування поверхні кочення ходового колеса і поверхні рейки. Тобто коли загальний рівень вібрації вже збільшений.

Під час дослідження пари тертя використовують уже відомі критерії оцінювання працездатності, які зорієнтовані на відповідні нормовані рівні вібраційних ознак. Тому пара тертя, у якій є перевищення загальних норм вібраційних ознак, вважається дефектною. В таких випадках збільшення загального рівня вібраційних ознак технічні працівники мають прийняти рішення: або виконати заміну тільки однієї деталі, або всього вузла для збільшення терміну його експлуатації.

Прерогативою цього методу є також відсутність потреби використання додаткового обладнання і проведення спеціальної підготовки технічного персоналу для його застосування. Витрати на спеціальне технічне обладнання і впровадження цього методу зведені до мінімуму.

Діагностування за середнім квадратичним значенням віброшвидкості дає змогу з'ясувати питання щодо наявності дефектів тільки на останніх етапах їх розвитку, коли загальний рівень вібраційних ознак значно зростає. Цей метод майже не відрізняється від вищевказаного методу, але він є точнішим, оскільки використовується обладнання більшої чутливості. Також він не потребує великих витрат, а, навпаки, витрати зведені до мінімуму. Технічний персонал також не треба додатково готувати до проведення цих робіт.

Порівняно з попередніми методами діагностування, метод діагностування за спектром вібросигналу дає змогу поряд з

виявленню дефектів основних вузлів виявити також дефекти відповідних механізмів або вузлів. Під час застосування цього методу можна розпочати діагностування з середини стадії розвитку дефектів. На цій стадії енергія резонансних коливань збільшується і стає помітною в частотному розподіленні вібраційних ознак.

Але для застосування цього методу необхідне більш дороге устаткування і потрібен технічний персонал з належною підготовкою.

Метод співвідношення пікових та фонових даних віброцигналу розроблявся багатьма організаціями і має кілька назв:

- метод реєстрації високочастотного сигналу (High Frequency Detection);
- метод реєстрації ударних імпульсів (Shock Pulse Measurement);
- метод реєстрації енергії імпульсу (Spike Energy).

Різновиди цього методу дають змогу зареєструвати дефекти на досить ранніх стадіях розвитку. Обладнання, за допомогою якого можна провести діагностування, досить просте і дешеве.

Метод діагностування спектра обгинальної сигналу дає змогу зареєструвати дефекти на ранніх стадіях розвитку, починаючи з дефекту на поверхні елементів кочення. Цей метод ґрунтується на спеціальному датчику вібрації та аналізаторі спектра. На сьогодні цей метод слід вважати класичним для аналізу вібраційних сигналів. Він дає змогу провести більш ретельний аналіз устаткування і є найбільш ефективним з усіх вищевказаних методів.

Під час використання цього методу є можливість поступового накопичення проаналізованих результатів спектра.

Для виконання діагностування стану кранових ходових коліс та рейок найбільш придатним є метод діагностування за спектром обгинальної. Цей метод дає змогу провести діагностування на працюючому обладнанні та зімітувати робочі навантаження. Для впровадження цього

методу слід використовувати устаткування, яке дасть змогу зареєструвати та проаналізувати частотні складові вібраційних ознак у парі тертя рейка – колесо.

Експериментальні дослідження проводились на штатних та модернізованих холостих колесах вантажного візка мостового крана.

Є такі особливості роботи вузлів кранових ходових коліс та механізму пересування:

– швидкість обертів ходових коліс крана і вантажного візка складає не більше 3–5 об/с, це обмежує можливості використання методів вібродіагностування за високими частотами;

– довгий термін під час експлуатації. Механізми пересування мостового крана та вантажного візка перебувають у режимі гальмування або прискорення, внаслідок чого швидкість обертів ходових кранових ходових коліс змінюється, це не дає змоги чітко встановити головні частоти дефектів внаслідок їх плавної зміни;

– навантаження, під дією якого перебуває ходове кранове колесо, є мінливим, оскільки на нього діє нерівність підкранової колії, проходження ходового колеса через стики рейок та контакт реборд ходових коліс з рейками;

– термін встановленого режиму роботи, при якому є можливість більш якісно провести вібродіагностування ходових кранових коліс, обмежене часом, за який відбувається 3–7 обертів ходового колеса залежно від якісного стану рейкової колії.

Тому, зважаючи на ці обставини, необхідно мати таке обладнання, в якому є можливість виконувати запис сигналу протягом значного часу. Також має бути можливість перегляду зареєстрованих даних з метою виключення хибних сигналів і вибору для аналізу ділянок, при яких кранові ходові колеса обертаються в установлених режимах роботи. Це буде забезпечувати найбільшу достовірність результатів, отриманих під час експериментального дослідження.

Для реєстрації вібраційних ознак у ходових колесах, що встановлені на вантажному візку мостового крана, було обрано два вібродатчики Д 14. Ці датчики

були встановлені в корпус букси ходового кранового колеса і шупами упирались у зовнішнє кільце підшипника кочення (рис. 1).

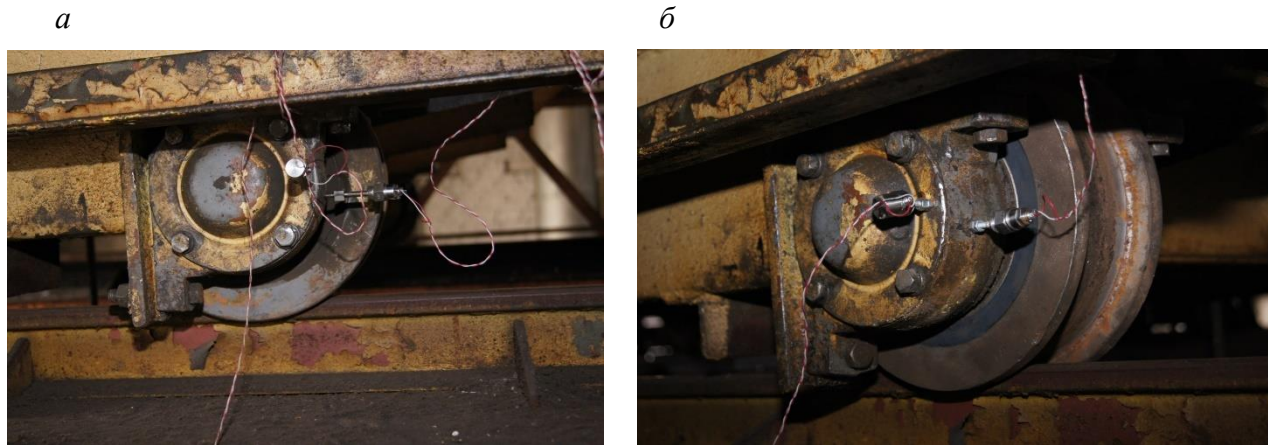


Рис. 1. Установлення датчиків реєстрації шуму і вібрації на буксу ходового колеса вантажного візка мостового крана: *а* – штатне ходове колесо; *б* – модернізоване ходове колесо

Для реєстрації осьової вібрації був призначений перший датчик. Другий – для реєстрації радіальної вібрації. Також було проведено перевірку опорних підшипників за рівнем вібрації та виконано заміну зношених підшипників на нові. Передача сигналу від датчиків здійснювалась на посилювач з подальшою передачею сигналу на аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Як АЦП було застосовано універсальне ZETLAB з можливістю оцифрування 14 біт і тактовою частотою 140 кГц. Це дало змогу перетворити аналоговий сигнал у цифровий і цифровий в – аналоговий.

Реєстрацію експериментальних даних та первинну обробку результатів було виконано на комп'ютері, складеному на платформі Intel Celeron з частотою процесора – 2000 МГц. У комплект вимірювально-реєструвальної апаратури входив двоканальний підсилювач ZETLAB з фіксованими коефіцієнтами підсилення (рис. 2). Також для налаштування та перевірки працездатності обладнання було

використано генератор низької частоти та цифровий мультиметр.

Програма ZETLAB використовувалась для реєстрації і аналізу сигналу. Ця програма дала змогу відображати сигнал не тільки в режимі реального часу з можливістю масштабування. Також була можливість виконати оцифрування сигналу з подальшою обробкою результатів у різних стандартах і проводити запис сигналу.

Проведення тарування датчиків було необхідне для аналізу отриманих експериментальних даних. Тарування дасть змогу оцінити рівень сприймання датчиками вібрації у фізичних величинах [16]. Необхідно чітко визначити ті фізичні величини, в яких найбільш зручно проводити оцінку рівня вібраційних ознак.

Для проведення тарування датчиків Д 14 було розроблено спеціальний стенд. За основу джерела сигналу низької частоти та індукційно-магнітного вібростолу було використано гучномовець ГДШ 10, вимірювач шуму і вібрації ВШВ-М3-003,

вібродатчики, комп'ютер. За допомогою цього обладнання проводилось подальше

дослідження. Принципову схему подано на рис. 3.



Рис. 2. Вимірювально-реєструвальне обладнання

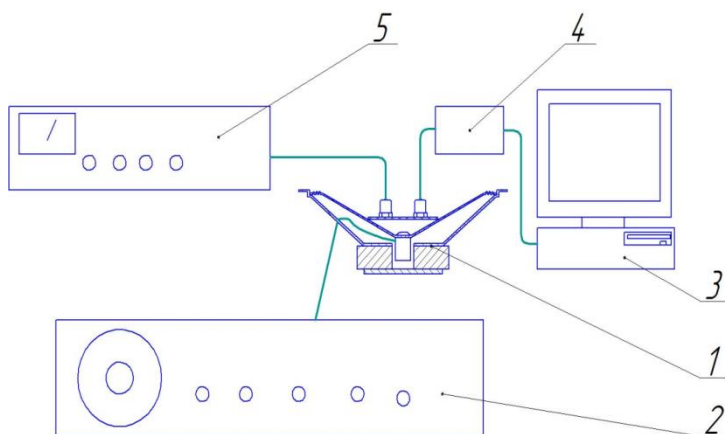


Рис. 3. Випробувальний стенд для проведення тарування датчиків:
1 – гучномовець ГДШ 10; 2 – генератор низької частоти; 3 – комп'ютер для реєстрації даних; 4 – попередній підсилювач; 5 – віброшумомір ВШВ-МЗ-003

Розглянемо принцип роботи випробувального стенда. За допомогою генератора низької частоти 2 формується базовий електричний сигнал змінного струму низької частоти. Цей сигнал переходить у вібрацію заданої частоти за допомогою вібростолу 1. Далі виконується порівняння показників між даними вібродатчика, який з'єднано з комп'ютером,

і показниками віброшумоміра ВШВ. За результатами аналізу отриманих експериментальних даних було отримано тарувальний графік залежності між показниками віброшумоміра ВШВ і оцифрованих даних спектра вібрації (рис. 4). По осі абсцис наведено отримані значення віброприскорення. По осі ординат – показники вібродатчика.

Натурний експеримент був проведений на ходових колесах штатної та модернізованої конструкції вантажного візка мостового двобалкового крана вантажопідйомністю 5 т, висотою підйому 8 м, прогоном 22,5 м, режимом роботи 7К [17].

Спектральний аналіз сигналу високочастотної вібрації при використанні штатного ходового колеса наведено на рис. 5.

Спектральний аналіз сигналу високочастотної вібрації при використанні модернізованого ходового колеса наведено на рис. 6.

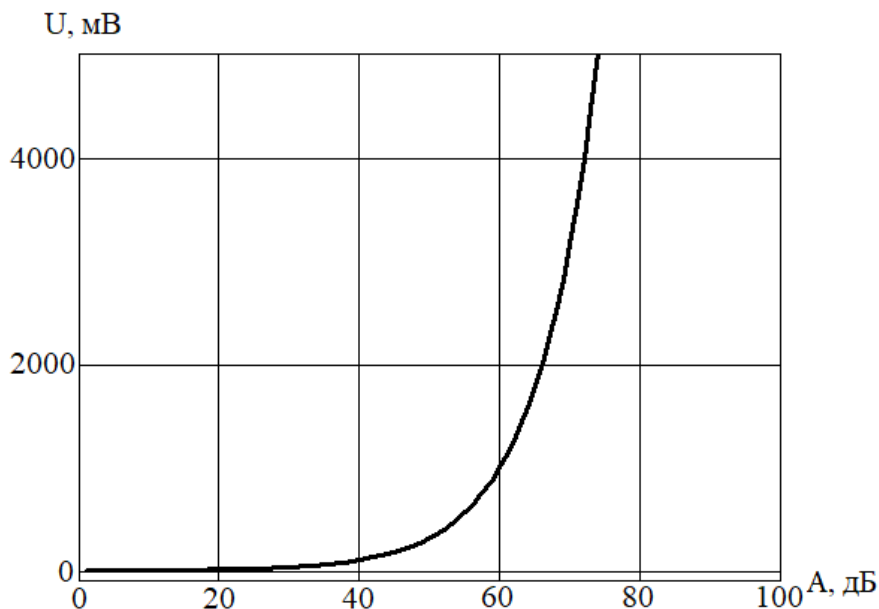


Рис. 4. Тарувальний графік

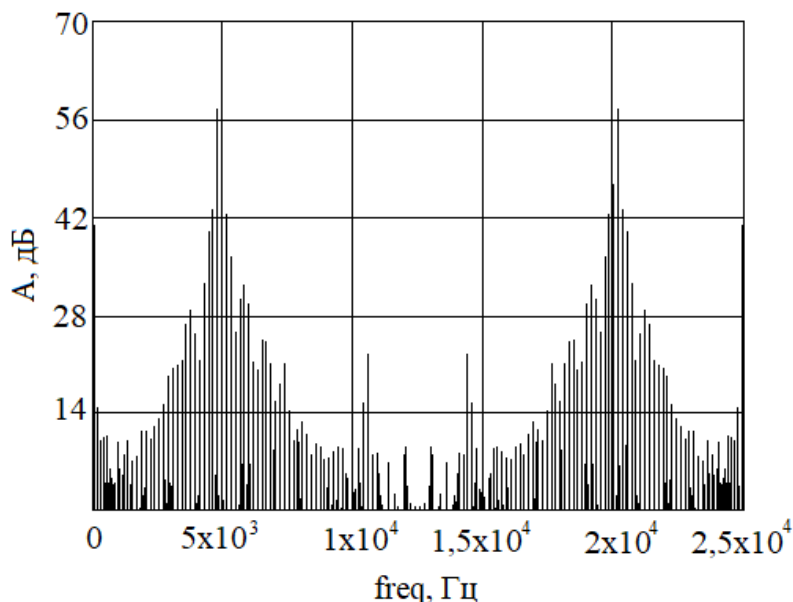


Рис. 5. Спектральний аналіз сигналу високочастотної вібрації штатного кранового колеса

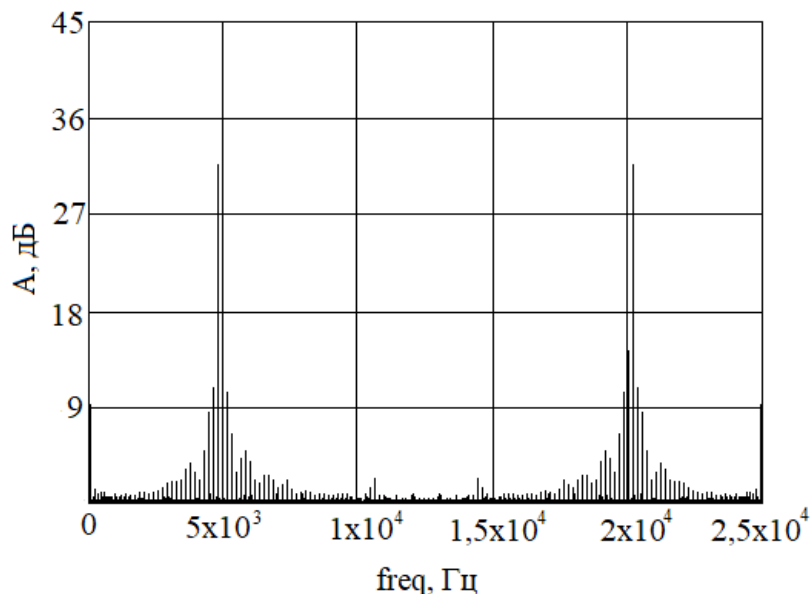


Рис. 6. Спектральний аналіз сигналу високочастотної вібрації модернізованого кранового колеса

У ходовому колесі модернізованої конструкції потужність сигналу не має періодичних низькочастотних коливань. У звичайному ходовому колесі ці коливання досить сильні і добре відображаються у спектрі об'єкту у вигляді гармонічних складових.

Висновки. Визначено метод діагностування кранових ходових коліс.

Запропонована модернізована конструкція ходового колеса зменшує динамічні навантаження в колесі і знос ходової частини, в тому числі реборд. Спектральний аналіз сигналу високочастотної вібрації при використанні штатного кранового колеса дорівнює 57 Дб, а колеса з пружним кільцем – 32 Дб.

Список використаних джерел

1. Nischeta S. A., Chernyshova E. P., Narkevich M. Y., Krishan A. L., Sagadatov A. I. Damage of bridge lifting cranes and crane metal structures. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. №12 (23). P. 6587–65890. doi: <https://www.researchgate.net/publication/325416488>.
2. Fidrovskaya N., Slepuzhnikov E., Perevoznik I. A contact problem solution with taking into account shear deformations. Science and Education a New Dimension. *Natural and Technical Sciences*. 2019. Issue193. P. 80–81. doi.org/10.31174/SEND-NT2019-193VII23-20.
3. Фідровська Н. М., Слепужніков Є. Д., Чернищенко О. В. Динамічні навантаження при пересуванні ходових коліс з гумовими вставками. *Машинобудування*. 2015. Вип. 15. С. 87–91.
4. Ловейкін В. С., Крушельницький В. В. Динамічний аналіз переміщення мостового крана з урахуванням механічної характеристики приводного двигуна. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2017. Вип. 262. С. 26–37. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnu_tech_2017_262_4.
5. Ловейкін В. С., Човнюк Ю. В., Кадикало І. О. Мінімізація динамічних навантажень в механізмі підйому вантажопідйомних машин. *Науковий вісник Національного університету*

біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 251. С. 55–69. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnuu_tech_2016_251_7.

6. Development of a method for computer simulation of a swingings pringload movement path / L. Kutsenko, O. Semkiv, A. Kalynovskyi, L. Zapolskiy, O. Shoman, G. Virchenko, V. Martynov, M. Zhuravskij, V. Danylenko, N. Ismailova. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. №1 (7–97). P. 60–73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154191>.

7. Modeling the resonance of a swingings pringbased on the synthesis of a motion trajectory of its load / L. Kutsenko, V. Vanin, O. Shoman, P. Yablonskyi, L. Zapolskiy, N. Hrytsyna, S. Nazarenko, V. Danylenko, E. Sivak, S. Shevchenko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 3/7 (99). P. 53–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.168909>.

8. Mathematical and S-models of cargo oscillations during movement of bridge crane / S. V. Raksha, P. G. Anofriev, V. M. Bohomaz, O. S. Kuropiatnyk. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2019. № 2. P. 108–115. URL: <https://DOI:10.29202/nvngu/2019-2/16>.

9. On wheel rolling along the rail regime with longitudinal load / V. P. Franchuk, K. A. Ziborov, V. V. Krivda, S. O. Fedoriachenko. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2017. № 3. P. 62–67. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2017_3_12.

10. Konowrocki R., Chojnacki A. Analysis of rail vehicles' operational reliability in the aspect of safety against derailment based on various methods of determining the assessment criterion. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2020. Vol. 22. № 1. P. 73–85. URL: <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2020.1.9>.

11. Markine V., Mashal A, Ren M. Effect of wheel–rail terface parameters on contact stability in explicit finite element analysis. *Proc IMechE, Part F: J Rail and Rapid Transit*. 2018. Vol. 232 (6). P. 1879–1894. DOI: 10.1177/0954409718754941.

12. Molyneux-Berry P., Davis C., Bevan A. The Influence of Wheel/Rail Contact Conditions on the Microstructure and Hardness of Railway Wheels. *The Scientific World Journal*. 2014. Vol. 2014. Article ID 209752. P. 1–16. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/209752>.

13. Haniszewski T. Modeling the dynamics of cargo lifting process by overhead crane for dynamic overload factor estimation. *Journal of vibroengineering*. 2017. Vol. 19. Issue 1. P. 75–86. URL: <https://doi.org/10.21595/jve.2016.17310>.

14. Bogdevičius M., Žygiėnė R., Bureika G., Dailydka S. An analytical mathematical method for calculation of the dynamic wheel–rail impact force caused by wheel flat. *Vehicle system dynamics*. Issue 54 (5). 2016. P. 689–705. URL: <https://doi.org/10.1080/00423114.2016.1153114>.

15. Слепужніков Є. Д., Фідровська Н. М., Варченко І. С. Механізми пересування мостових кранів: монографія. Харків: НУЦЗУ, 2019. 124 с. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/8646/1/krane%20monogr%202019.pdf>.

16. Обґрунтування проведення тарировки тензорезисторів в комплексі з вимірювальним обладнанням / Н. М. Фідровська, Р. В. Пономаренко, Є. Д. Слепужніков, Д. С. Козодой. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків: УкрДУЗТ, 2020. Вип. 194. С. 72–80.

17. Обґрунтування конструкції кранового ходового колеса з еластичною вставкою / Н. М. Фідровська, Є. Д. Слепужніков, Р. В. Пономаренко, Д. С. Козодой. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*. Харків: УкрДУЗТ, 2020. Вип. 193. С. 33–40.

Фідровська Наталія Миколаївна, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних і дорожніх машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. ORCIDiD: 0000-0002-5248-273X. Тел.: +38(097) 396-98-83. E-mail: nfidrovskaya@ukr.net.

Слепужніков Євген Дмитрович, канд. техн. наук, викладач кафедри спеціальної хімії та хімічної технології Національного університету цивільного захисту України. ORCIDiD: 0000-0002-5449-3512. Тел.: +38(067)922-99-14. E-mail: ors2011@ukr.net.

Пономаренко Роман Володимирович, д-р техн. наук, с.н.с., заступник начальника кафедри пожежної та рятувальної підготовки Національного університету цивільного захисту України. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6300-3108>. Тел.: +38(066)-029-71-21. E-mail: prv@nuczu.edu.ua.

Козодой Дмитро Сергійович, канд. техн. наук, доцент кафедри охорони праці та навколишнього середовища Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-3615-1815. Тел: +38(066)519-47-31. E-mail: Dmitry_1980@ukr.net.

Fidrovska Nataliia, Dr. Sc. (Tech.), professor of the department of construction and road machines, Kharkiv national automobile and road university. ORCIDiD: 0000-0002-5248-273X. E-mail: nfidrovskaya@ukr.net.

Slepuzhnikov Evgen, PhD (Tech.), lecturer at the department of special chemistry and chemical technology of the National university of civil defense of Ukraine. ORCID iD: 0000-0002-5449-3512. E-mail: ors2011@ukr.net.

Ponomarenko Roman, Dr. Sc. (Tech.), Deputy Head of the Department of fire and rescue training National university of civil defence of Ukraine. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6300-3108>. Email: prv@nuczu.edu.ua.

Kozodoi Dmytro, PhD (Tech.), Associate Professor, Department of labor protection and environment, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-3615-1815. E-mail: Dmitry_1980@ukr.net.

Статтю прийнято 29.01.2021 р.

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (275)

УДК 656.022.8

**АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РИНКУ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ
ТА НАПРЯМИ ЙОГО РОЗВИТКУ НА МАРШРУТІ КИТАЙ – УКРАЇНА – ЄС**

Д-р техн. наук Д. В. Ломотько, магістрант К. Р. Головань

**ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE CONTAINER TRANSPORTATION
MARKET AND WAYS OF ITS DEVELOPMENT ON THE CHINA-UKRAINE-EU ROUTE**

D. Sc. (Tech.) D. Lomotko, masters K. Holovan

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.195.2021.241090>

***Анотація.** Зважаючи на глобалізацію міжнародних товарних відносин, у роботі було досліджено сучасний ринок міжнародних контейнерних перевезень на маршруті Китай – Україна – ЄС. У ході дослідження з'ясовано, що ринок залізничних міжнародних контейнерних перевезень стрімко розвивається і є дуже перспективним для вкладання коштів та розвитку залізничної інфраструктури у цьому напрямі. У статті обговорюються проблеми, пов'язані з підвищенням конкурентної спроможності української залізниці на міжнародному рівні. На підставі аналізу всіх недоліків залізниці України було запропоновано побудову високошвидкісної магістралі та контейнерної логістичної системи з метою підвищення рівня конкурентної спроможності і розвитку транзитного потенціалу держави.*

***Ключові слова:** вантажні перевезення, контейнерні перевезення, міжнародні перевезення, контейнер, залізничний транспорт.*

***Abstract.** Considering the globalization of international market relations, the article deals with the modern market for international container traffic on the China-Ukraine-EU route. Through my research, it has become clear that the international rail container transportation market is evolving rapidly and the development of railway infrastructure is rapidly becoming a lucrative investment. The potential is evident as demonstrated by the fact that China is considering rail container transportation as an effective alternative to the traditional transportation methods such as sea- and airfreight intermodal container transportation of goods in the nearest future. There are distinct advantages to rail container transportation, namely: versatility; mobility; distribution of container handling equipment; safety of cargo as well as speed of delivery. The article points out the major problems related to container transportation in Ukraine: poor condition of highways; deterioration of rolling stock and railway infrastructure in general; lack of sufficient quantity and low availability of modern equipment at container terminals in Ukraine; a low competitive level of transport service; high level of bureaucracy on the railway and in customs clearance. In a free-market economy and, in particular, during industry restructuring, the author proposes a new approach to organize container transportation in Ukraine and for the Ukrainian railway, which should reduce the costs of railway traffic, on the one hand, and make it more attractive to the users, thereby confirming its competitive advantages. The author came to the conclusion that, owing to the development of the railway infrastructure, namely the construction of a container logistics system and high-speed railways on the territory of Ukraine, it is possible to not only reach a competitive level of transit states on the China-EU route but also to take a preferred position as the most economical and fastest*

means of transit, obtaining a substantial profit and an incentive for the further development of the transit potential of our country.

Keywords: *freight transportation, container transportation, international transportation, container, railways.*

Вступ. Міжнародні залізничні перевезення – значна частина світової глобальної транспортної системи. Із загального обсягу залізничних перевезень в Україні дві третини складають вантажні перевезення. Розвинена залізнична мережа дає змогу здійснювати прямі вантажні залізничні перевезення в країни СНД, Угорщину, Словаччину, Румунію і Польщу. Українська залізнична система є важливою частиною загальноєвропейської залізниці, через територію України проходить кілька важливих залізничних транспортних коридорів, з яких слід зазначити напрямки Балтика – Чорне море і Транскаспійський міжнародний транспортний коридор. Це дає можливість здійснювати залізничні контейнерні вантажоперевезення з Китаю в європейські країни. Контейнерні перевезення є невід’ємною частиною міжнародних транспортних систем, що забезпечують надійну та безперебійну доставку вантажів різними видами транспорту.

Майбутнє залізничного транспорту України як інфраструктурного суб’єкта економіки пов’язане з реалізацією стратегічних рішень, серед яких – реформування галузі та впровадження великомасштабних інвестиційно-інноваційних проєктів.

Найбільш актуальним на сьогодні, на наш погляд, є організація високошвидкісного контейнерного руху, розбудова міжнародних транспортних коридорів з урахуванням вектора національної транспортної політики на Схід–Захід; формування вітчизняної транспортно-логістичної системи; об’єднання з іншими суб’єктами транспортної мережі при удосконаленні єдиної транспортної системи України.

Робота в цьому напрямі сприятиме ряду позитивних ефектів, головні з яких – це використання транзитного потенціалу країни, локалізація промисловості уздовж

транспортних коридорів, розвиток експорту та транзиту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми українського ринку контейнерних перевезень розглядають багато науковців. Вони поділяють проблеми на дві частини: технічні та законодавчі. З аналізу публікацій можна зробити висновок, що ці проблеми дуже гостро стоять у сучасному науковому світі. Так, можна виокремити основні проблеми щодо контейнерних перевезень в Україні:

- незадовільний стан автомобільних доріг;
- зношеність рухомого складу та загальної інфраструктури залізниці;
- відсутність достатньої кількості та низька забезпеченість сучасним обладнанням на контейнерних терміналах в Україні;
- низький конкурентний рівень транспортного сервісу;
- високий рівень бюрократизації на залізниці та при оформленні митних процедур.

Це все значно впливає на конкурентоспроможність українського ринку контейнерних перевезень.

Аналіз публікацій [4–6] показує, що вони спрямовані на збереження і розвиток транзитного потенціалу держави, що дасть змогу надолужити відставання від провідних залізничних країн світу, враховуючи їх досвід у створенні мережі вантажних високошвидкісних перевезень в Україні.

Статтю [13] спрямовано на підвищення якості планування інтермодальних, зокрема контейнерних перевезень. Запропоновано впровадження сучасної технології планування інтермодальних перевезень для забезпечення врахування можливих затримок у пунктах зміни виду транспорту, а також визначення оптимального маршруту не лише за

критерієм витрат, але й за критерієм тривалості перевезення. Для вирішення цього завдання авторами було розроблено багатоцільову математичну модель і запропоновано оригінальний метод її оптимізації.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою статті є аналіз сучасного стану ринку контейнерних перевезень в Україні та його напрямів розвитку на маршруті Китай – Україна – ЄС.

Для досягнення поставленої мети потрібно:

- проаналізувати світовий та вітчизняний ринок контейнерних перевезень;
- дослідити сучасний стан системи контейнерних перевезень в Україні;
- виконати дослідження перспектив зростання обсягів контейнерних вантажів на маршруті Китай – Україна – ЄС.

Основна частина дослідження.

Проаналізувавши ринок міжнародних залізничних вантажних перевезень, було зроблено висновок, що контейнерні перевезення – це один із сегментів ринку, який найбільш динамічно розвивається не лише в Україні, а й у світі. На перспективність цього напрямку вказує той факт, що Китай розглядає контейнерні перевезення залізничним транспортом дієвою альтернативою традиційним способам транспортування, який вже найближчим часом складатиме конкуренцію контейнерним морським та авіаперевезенням вантажів. Крім того, останнім часом контейнери використовуються для перевезення не тільки товарів народного споживання, а й також наливних вантажів, зерна та ін. (рис. 1, 2).



Рис. 1. Вантажі, перевезені контейнерами в мережі ПАТ «Укрзалізниця» за 2017 рік [8]

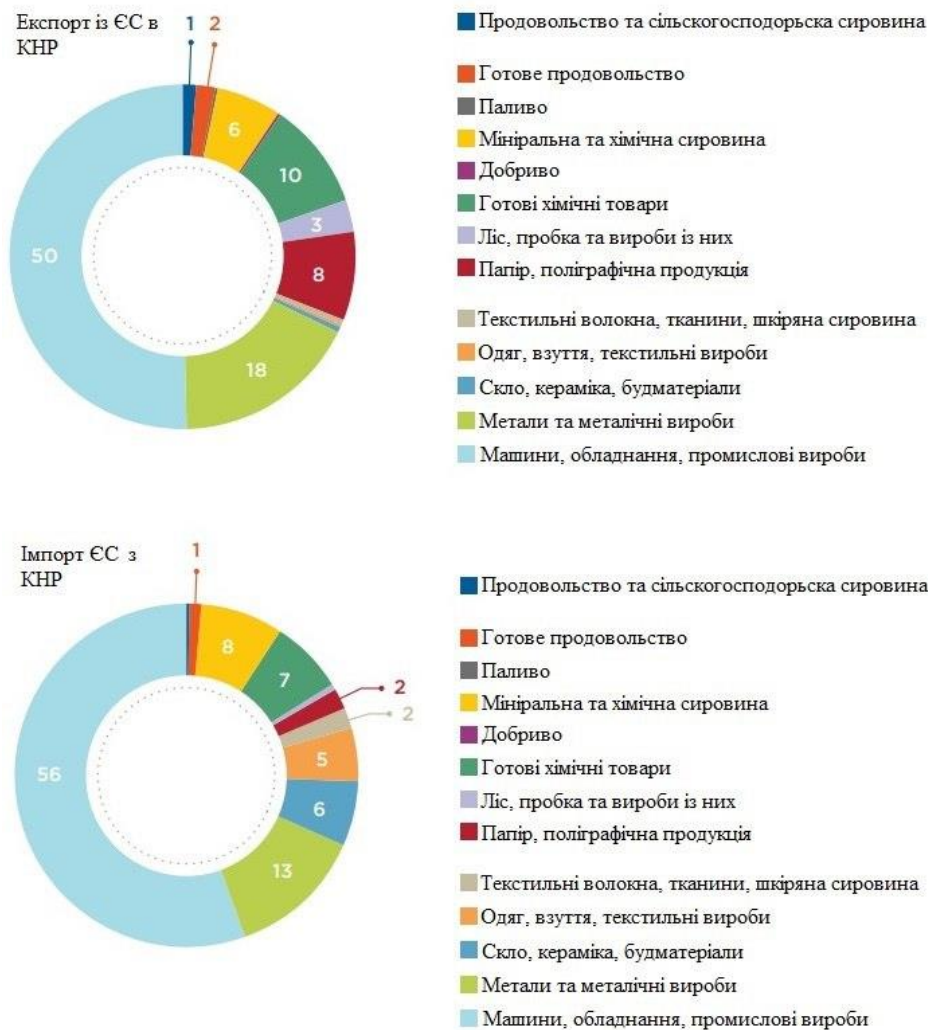


Рис. 2. Товарна структура Експорту ЄС у КНР та Імпорту ЄС із КНР, що обслуговується залізничним транспортом 2016 р., % (джерело Eurostat [7])

Контейнерні залізничні перевезення мають такі переваги: універсальність; мобільність; поширення приладів для обробки контейнерів; збереження вантажу; швидкість доставки. Дослідивши ринок міжнародних перевезень з Китаю до країн ЄС, використовуючи залізничний транспорт та мультимодальні перевезення, було зроблено висновок про перспективність розвитку перевезень залізничним транспортом. Так, у ході вивчення ринку перевезень рекомендовано виділити такі переваги цього виду перевезень: економічність, швидкість доставки, збереження вантажу на шляху прямування.

Ринок залізничних перевезень з Китаю в напрямку Європи є найдинамічнішим і стрімко розвивається в нинішньому десятилітті.

За даними Китайської залізничної корпорації (КЗК), у період з 2011 до 2016 року річна кількість відправлених поїздів становила 17, 42, 80, 308, 815 і 1702 відповідно. Різкий стрибок було зазначено у 2017-му, коли за маршрутами Китай–Європа було відправлено 3673 поїзди. У 2018 році ця кількість збільшилась до 6363 составів – на 73 % більше, ніж у 2017 році.

Одночасно з цим збільшилась і різноманітність номенклатури вантажів: від

перевезень з Китаю переважно IT-продукції спектр товарів у контейнерному імпорті розширився за рахунок одягу, взуття, головних уборів, автозапчастин, сільгосппродукції, харчових продуктів, вина, кавових бобів, деревини, меблів, продукції хімічної промисловості, машинобудівного устаткування і дрібних промислових товарів.

Як бачимо з даних статистики (рис. 3), ринок залізничних перевезень з Китаю в Європу стрімко контейнеризується. У цього явища є кілька взаємопов'язаних причин:

1. Частка вантажів, придатних для перевезення в контейнерах на напрямку КНР–Європа, сягає близько 80 %. Більше половини вантажів в ЄС припадає на товарну групу «машини, обладнання і промислові вироби», 10–15 % – на металопродукцію, 5–10 % – товари зі скла і кераміки, готові будматеріали, одяг, взуття, текстиль.

2. Зниження тарифу на перевезення контейнерів з Китаю до ЄС у середньому з 9 тис. \$/FEU в 2011 році до 5,5 тис. \$/FEU на цей час істотно збільшило попит на послугу.

3. Залізничні тарифи досягли рівня, коли істотно збільшили свою вагу такі конкурентні переваги залізничного транспорту порівняно з морським, як

швидкість, перевезення за розкладом і збереження вантажів. З огляду на це для великих партій товарів з високою вартістю навіть дворазове збільшення витрат на транспортування не надто помітно впливає на собівартість. При цьому прискорюється оборот капіталу, що дає змогу швидше отримати прибуток.

4. Збільшення кількості маршрутів і частоти відправлень контейнерних поїздів розширює можливості цього сегмента вантажоперевезень і стимулює інтерес до нього з боку вантажовласників.

5. Основним контрагентом Китаю в Європі є Німеччина, яка забезпечує приймання близько 60 % усіх контейнерів на цьому напрямку. При поставках з Китаю до Німеччини майже 100 % вантажів перевозиться в контейнерах, включаючи будівельний камінь, рудну й нерудну сировину, паливо тощо, завдяки домінуванню технологій контейнерної перевалки вантажів як у китайських, так і в німецьких портах.

Доставка з Китаю залізницею по праву вважається оптимальним способом перевезення вантажу за співвідношенням ціна / терміни (рис. 4).

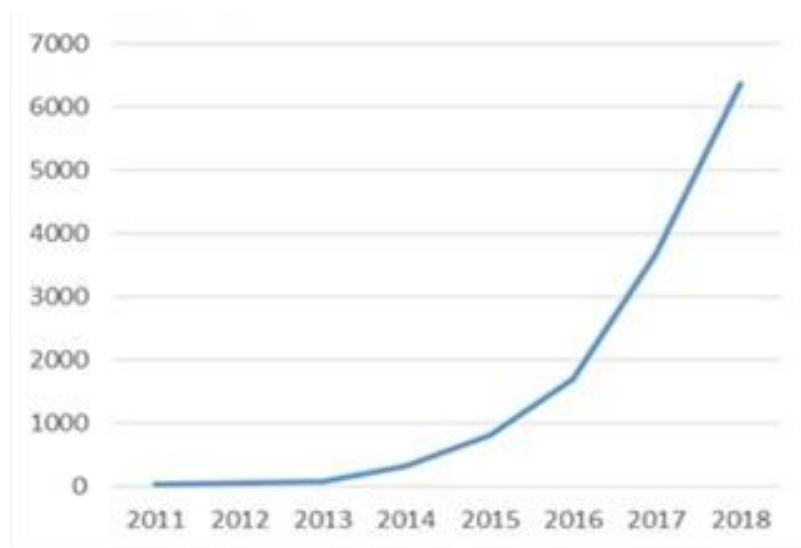


Рис. 3. Кількість відправлених контейнерних поїздів із Китаю в Європу [9]

Сухопутний шовковий шлях може значно розвиватися тільки за участю китайського інвестиційного капіталу



Рис. 4. Різниця ціни і терміну доставки контейнера з КНР до ЄС [10]

Сьогодні все більше компаній вибирають для перевезення замовленого в Китаї товару саме залізничний транспорт. Адже цей тип транспортування дає змогу не тільки знизити витрати, але і отримати свій вантаж протягом місяця. Загальновідомо, що доставка залізницею з Китаю швидша за морську і дешевша за авіаперевезення.

Очікується подальше зростання залізничного контейнерообігу між ЄС і Китаєм. Для залучення додаткового вантажопотоку між ЄС і КНР країнам, через які відбуватиметься транзит, потрібен подальший розвиток транспортної інфраструктури і усунення бар'єрів, що у свою чергу збільшить прибуток від транзиту.

Плановий прибуток Укрзалізниці за рахунок транзиту (П) визначається за формулою

$$П = С * Р / 100, \quad (1)$$

де Р – рентабельність перевезення, %;
С – собівартість перевезення FEU, \$.

Собівартість перевезення FEU визначається за формулою

$$С = а + в * л, \quad (2)$$

де а – витрати на початково-кінцеві операції на FEU, \$; в – витрати на переміщення FEU на 1 км, \$; л – відстань перевезення, км.

Використовуючи цю формулу, розраховують собівартість перевезення зі збільшенням відстані перевезення вантажів, собівартість перевезення зменшується, через те що зменшуються відносні витрати на початково-кінцеві операції з переміщення вантажів на 1 км.

Для прикладу було проведено розрахунки з вихідними даними табл. 1, 2.

Собівартість перевезення FEU за маршрутом Алтинколь / Достик – Актау – Алят – Батумі – Чорноморськ-Порт – Мостиська:

$$С = 1197,47 + 0,41 * 6333 = 3794 \$.$$

Плановий прибуток Укрзалізниці за рахунок транзиту дорівнює:

$$П = \frac{3794 * 18,82}{100} = 714 \$.$$

У наші дні філія «Центр Транспортного Сервісу «Ліски» спільно із залізничними перевізниками і операторами Казахстану, Азербайджану і Грузії здійснили запуск контейнерного поїзда за маршрутом: країни Європи – Україна –

Грузія – Азербайджан – Казахстан – Китай. Розрахунковий термін доставки контейнера по маршруту складає 15 днів в одну сторону. У складі поїзда можна відправляти до 40 вагонів з 20-футовими або 40-футовими контейнерами.

Таблиця 1

Вартість доставки вантажу із Китаю в ЄС

Маршрут СХІД – ЗАХІД	Відстань, км	Час, доба	Вартість (\$)*	
			20-фут.	40-фут.
Алтинколь / Достик – Актау – Алят – Батумі – Чорноморськ-Порт – Мостиська	6333	15	2797	4508
Алтинколь / Достик – Актау – Алят – Батумі – Чорноморськ-Порт – Чоп	6569	15	2822	4557
Алтинколь / Достик – Актау – Алят – Батумі – Чорноморськ-Порт – Ізов – Славкув	6893	15	2982	4757
Алтинколь / Достик – Актау – Алят – Батумі – Чорноморськ-Порт – Ужгород	6597	14	2740	4478

Таблиця 2

Вартість доставки вантажу із ЄС у Китай

Маршрут ЗАХІД – СХІД	Відстань, км	Час, доба	Вартість (\$)*	
			20-фут.	40-фут.
Мостиська – Чорноморськ-Порт – Батумі – Алят – Актау – Алтинколь / Достик	6333	15	1956	3276
Чоп – Чорноморськ-Порт – Батумі – Алят – Актау – Алтинколь / Достик	6569	15	1965	3293
Ізов – Чорноморськ-Порт – Батумі – Алят – Актау – Алтинколь / Достик	6893	15	2982	4757
Ужгород – Чорноморськ-Порт – Батумі – Алят – Актау – Алтинколь / Достик	6597	14	1939	3277

* До ставки включено:

- оплату залізничного тарифу по територіях Казахстану, Грузії, Азербайджану і України;
- оплату морського фрахту залізничного порома Актау – Алят і Батумі / Поті – Чорноморськ-порт (Каспійське і Чорне море);
- надання рухомого складу на всьому шляху проходження;
- оплату обов'язкових портових і додаткових зборів у портах Актау, Алят, Батумі / Поті, Чорноморськ-Порт;
- збори за перевантаження по станції Достик / Алтинколь;
- оплату зборів АТ «Каскор Трансервіс»;
- транспортно-експедиційне обслуговування [12].

Зараз близько 98 % обсягів взаємних поставок країн ЄС і Китаю обслуговується морським транспортом, 1.5–2 % припадає на авіаційний транспорт і 0.5–1 % – на залізничний. Приблизно 80 % вантажів між

країнами ЄС і Китаєм перевозяться в контейнерах: близько 90 % вантажів, що ввозяться в ЄС з Китаю (імпортних), і 70–75 % – що вивозяться з ЄС до Китаю (експортних).

Висновки. На підставі аналізу світового та вітчизняного ринків контейнерних перевезень можна зробити висновок, що в умовах ринкової економіки та реструктуризації галузі для України та української залізниці постає потреба нового підходу в організації контейнерних перевезень, який надав би змогу скоротити витрати залізниць та підвищити їх привабливість для користувачів, тим самим виявляючи свої конкурентні переваги:

- спрощення митного контролю та оформлення документів;
- велика пропускна спроможність прикордонних станцій;
- швидкість доставки вантажів;
- збереженість вантажів під час руху та ін.

На підставі дослідження сучасного стану контейнерних перевезень в Україні слід зробити висновок, що побудова контейнерної логістичної системи та швидкісних магістралей на території України дасть можливість не лише вийти на конкурентний рівень транзитних держав на шляху Китай – ЄС, а й зайняти там передові позиції, отримавши тим самим великий

прибуток та поштовх для подальшого розвитку транзитного потенціалу нашої країни.

Для залучення більш широкої аудиторії споживачів та зростання обсягів контейнерних перевезень на маршруті Китай – Україна – ЄС доцільно використовувати LCL – Less Container Load. Термін LCL – це такий тип вантажоперевезення, що пропонує доставку невеликих партій товарів від різних вантажоодержувачів у складі одного вантажу, в одному контейнері. Це дає змогу зменшити витрати на доставку, а також раціонально використовувати контейнери для перевезень. Досить часто підприємці потрапляють у таку ситуацію, коли обсяг товару, який необхідно доставити, наприклад, з Китаю в Україну, надто малий, щоб завантажити цілий контейнер, це можуть бути нові партії товару на «пробу», невеликі регулярні доставки, або є товари, якими фізично важко завантажити повний контейнер, наприклад, канцтовари та ін. Отже, LCL є слушним рішенням низки проблем та одним із варіантів розвитку високошвидкісних контейнерних перевезень в Україні.

Список використаних джерел

1. Транспортные коридоры шелкового пути: потенциал роста грузопотоков через ЕАЭС. Санкт-Петербург. 2018. URL: <https://eabr.org/analytics/integration-research/cii-reports/transportnye-koridory-shelkovogo-puti-potentsial-rosta-gruzopotokov-cherez-eaes/> (дата обращения 25.10.2020).
2. Евразийский Банк Развития. Центр интеграционных исследований. Транспортные коридоры шелкового пути: анализ барьеров и рекомендации по направлению инвестиций. Санкт-Петербург. 2018. URL: <https://eabr.org/analytics/integration-research/cii-reports/transportnye-koridory-shelkovogo-puti-analiz-barerov-i-rekomendatsii-po-napravleniyu-investitsiy-/> (дата обращения 25.10.2020).
3. Міжнародні залізничні перевезення – КИЙ АВІА КАРГО. URL: <https://www.cargo-ukraine.com/uk/mizhnarodni-zaliznichni-perevezennya/> (дата звернення 25.10.2020).
4. Огороков А. М. Аналіз перспектив розвитку ринку контейнерних перевезень в Україні. *Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. Дніпропетровськ, 2015. № 10. С. 98–104.
5. Клок Є. М. Удосконалення інтермодальних перевезень в умовах узгодженої роботи залізничного та морського транспорту. URL: <http://csw.kart.edu.ua/article/view/111048/105926> (дата звернення 07.11.2020).
6. Костенніков О. М. Перспективи розвитку контейнерних поїздів у напрямку міжнародних транспортних коридорів та територією УКРАЇНИ. URL: <http://csw.kart.edu.ua/article/view/93051> (дата звернення 07.11.2020).

7. Eurostat. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat> (last accessed 12.11.2020).

8. Контейнерні перевезення – ключ до європейського ринку. URL: <https://info.uz.ua/analitika/konteynerni-perevezennya-klyuch-do-evropeyskogo-rinku> (дата звернення 12.11.2020).

9. Китай – Европа: сухопутный контейнерный прорыв вопреки «экономиксу». URL: <http://eurostat.com/news/463/> (дата обращения 07.11.2020).

10. Новый шелковый путь и Украина: 5 ключевых вопросов. URL: https://cfts.org.ua/spetsproekty/novuuy_shelkovuyu_put_i_ukraina_5_klyuchevykh_voprosov (дата обращения 07.11.2020).

11. Lomotko D. V., Prymachenko H. O., Hryhorova Y. I. The Role of Ukrainian Railway Transport in Modern Logistic Processes. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. Science and Transport Progress*. 2019. № 5 (83). P. 43–51. URL: <http://stp.diit.edu.ua/article/download/184487/188350> (last accessed 20.11.2020).

12. Контейнерные поезда. URL: http://www.liski.ua/container_trains/22.html (дата обращения 20.11.2020).

13. Розробка автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень на основі векторної оптимізації / Т. В. Бутько, О. М. Костеніков, В. М. Прохоров, О. О. Шапатіна. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Харків: УкрДАЗТ, 2019. Вип. 188. С. 71–85.

Ломотко Денис Вікторович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортних систем та логістики Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-7624-2925. Тел: (057) 730-19-55. E-mail: den@kart.edu.ua.

Головань Крістіна Родіонівна, магістрант, група 221-ОПУТ-Д19 Українського державного університету залізничного транспорту. Тел: (066) 779-65-79. E-mail: kristinkavanil@gmail.com.

Lomotko Denis, Dr. Sc. (Tech.), professor, head of department of Transport Systems and Logistics at Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-7624-2925. Tel.: (057) 730-19-55. E-mail: den@kart.edu.ua. Holovan Kristina, master, Group 221-OPUT-D19, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (066) 779-65-79. E-mail: kristinkavanil@gmail.com.

Статтю прийнято 22.01.2021 р.

UDC 656.13:159.91

SOCIAL ORIENTATION OF ROAD SAFETY IN THE TRANSPORT PROCESS

D. Sc. (Tech.) O. Stepanov

СОЦІАЛЬНА СПРЯМОВАНІСТЬ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ У ТРАНСПОРТНОМУ ПРОЦЕСІ

Д-р техн. наук О. В. Степанов

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.195.2021.241097>

***Abstract.** The article considers the problem of social orientation of road safety taking into account the professional reliability of the driver in the transport process. It is shown that road traffic is a certain social process of society in which people's behavior is always determined by the social environment and in which road safety is of paramount importance. It is concluded that in the transport process, road safety is determined both by the basis of the professional reliability of the driver and the level of his or her "social adaptation".*

Keywords: road safety, transport process, professional reliability of the driver, social process, human factor.

Анотація. У статті розглядається проблема соціальної орієнтації безпеки дорожнього руху з урахуванням професійної надійності водія в транспортному процесі. Показано, що дорожній рух – це певний соціальний процес суспільства, в якому поведінка людей завжди визначається соціальним середовищем і в якому безпека дорожнього руху має першорядне значення.

Аналіз джерел про професійну надійність водія автотранспорту дав можливість виділити його психофізіологічні причини, які знижують безпеку дорожнього руху і на які слід звернути особливу увагу. Слід зауважити, що безпеку дорожнього руху можна розглядати як спеціалізовану діяльність із запобігання аваріям у транспортному процесі. Така діяльність базується на відповідних підрозділах, які підтримують безпеку дорожнього руху. Профілактичні заходи цих органів відрізняються своїм особливим призначенням із застосуванням спеціальних методів і засобів.

Відповідно особливо важливим стає віктимологічний фактор учасника дорожнього руху в ДТП. Зрозуміло, що віктимологічна профілактика серед учасників дорожнього руху не є панацеєю і не вирішує всіх проблем. Віктимологічна профілактика не є абстрактною за своєю суттю, але постає як певна цілеспрямована система і спирається на фактор людини як учасника дорожнього руху. Водночас принципи побудови та функціонування цієї системи мають цілком конкретну теоретичну та практичну спрямованість.

Зроблено висновок, що в транспортному процесі безпека дорожнього руху визначається як на основі професійної надійності водія, так і рівня його «соціальної адаптації». Актуальність висновку підтверджується не лише тим, що він відповідає Стратегії на період до 2030 року, але й тим, що Європейська рада з безпеки транспорту (ETSC) у Мальтійському меморандумі (січень 2017 р.) переглянула Директиви про початкові кваліфікації та підготовку водіїв автотранспортних засобів з урахуванням людського фактора.

Ключові слова: дорожня безпека, транспортний процес, професійна надійність водія, соціальний процес, людський фактор.

Introduction. According to the National Transport Strategy of Ukraine (hereinafter referred as the Strategy), which "determines the priorities of integrated transport policy... and the main directions of development of the transport sector for the period up to 2030..." [5], road safety (RS) is essentially a social issue. At the same time, road traffic is a certain social process of society, in which the behavior of people is always determined precisely by the social environment and in which road safety is of paramount importance. In this regard, the social orientation of the road safety in the transport process is one of the priorities of national security of Ukraine [5]. That is, the general social measures, the system of social regulation, management of social processes, "the widespread use of innovative technologies to ensure road safety..." [5] are meant.

Analysis of basic research and publications. In the scientific literature, the road safety is considered in different aspects, respectively, its concept has a different meaning [1, 5, 6, 8, 11]. Various scientific works of V. O. Alekseev, S. I. Antypov, T. P. Hrechko, O. V. Bazhynov, V. O. Bohomolov, V. M. Varfolomieiev, M. Ya. Hovorushchenko, Ye.M. Lobanov, Ye. V. Nahorny, V. P. Polischuk, M. A. Podryhalo, A. S. Polianskyi, A. N. Romanov, V. M. Samsonkin, V. Yu. Stepanov, A. M. Turenko and others. Are devoted to the issues of research of transport safety and road safety, to the general principles of ensuring the efficiency of transport. In scientific works, the authors point to the need to consider the safety of vehicles and road safety as a difficult, complex phenomenon characterized by certain internal and

external processes. However, despite the large number of general works, it should be noted that the social orientation of the road safety, taking into account the reliability of the driver in the transport process requires further research.

The purpose of the study, problem statement. To consider the social orientation of road safety taking into account the professional reliability of the driver in the transport process.

Study materials. As noted in the Transport Strategy, “the level of transport safety, the amount of energy consumption and the impact on the environment in Ukraine do not meet modern requirements. Over the past decades, a rapid increase in the number of vehicles and increase in traffic intensity has been observed in the world, which leads to the increase in the number of traffic accidents and their negative consequences...” [5]. That is, activities to ensure road safety in the transport process are no exception. For road safety, the necessary social measures that give a preventive effect in order to eliminate the criminogenic factors to prevent road safety offenses.

In accordance with this, two areas merge: prevention of crimes (road traffic crimes) and prevention of administrative and legal violations (violation of traffic rules) [2, 3]. These areas are "included" in the system of crime prevention with the definition of the basic principles of construction and operation of this system and developed the appropriate concepts [8, 11]. From the point of view of the social orientation of this warning, this is the fundamental legal principle of transport safety and road safety in the transport sector [2, 3, 8].

Note that the safety of transport and road safety in the transport process runs through the entire social component of legal measures to combat the offense of road users (RU). It permeates all measures aimed at preventing unlawful human behavior in order to prevent road accidents.

Specifying the concept of "prevention of offenses", which are made by the road user, one should pay attention to the fact that it is aimed at preventing violations of legal norms, and determines the social significance of this

warning. In this regard, a kind of law enforcement activity is being streamlined to ensure "order on the roads" within the framework of criminal law and criminal procedure [3].

It should be emphasized that road safety can be considered as a specialized activity to prevent accidents in the transport process. Such activities are based on the relevant units that support the road safety. Preventive measures of these bodies differ in their special purpose, with the use of special methods and tools [2, 8].

Accordingly, the victimological factor of the road user in the road accident becomes especially important [10]. It is clear that victimological prophylaxis among the road users is not a panacea and does not solve all problems. Victimological prevention is not abstract in nature, but looks like a certain purposeful system and relies on the factor of human as the road user. At the same time, the principles of the construction and functioning of this system have a very specific theoretical and practical orientation. If this system is understood as a kind of theoretical scheme, the provision of the road safety in the transport process in practice is considered as the applied activity, as the methodological orientation of practice to solve the specific problem – road accident prevention.

Based on this, the question arises about the objects of the precautionary measure of influence. In this regard, we can distinguish two directions of precautionary measures: victimogenic situations and potential victims of road accidents. When implementing the first of the directions, special attention should be paid to measures that are aimed at eliminating victimogenic situations and immediately preceding road accidents. This is due to the moral, psychological and social characteristics of road users. In the implementation of the second direction it is necessary to carry out measures of educational influence and legal promotion of the road safety [4, 9]. In addition, to carry out professional training of drivers of motor vehicles (MT) to educate their professional reliability as a factor in the safety of transport and road safety in the transport process.

The analysis of sources on professional reliability of the driver of the motor vehicles gave the chance to allocate its psychophysiological reasons which reduce the road safety and to which it is necessary to pay special attention:

– imperfection of the driver's motivational sphere (DMS) – deliberate execution of the driver's actions to control the motor vehicle, non-observance of traffic rules;

– imperfection of the driver's motivational sphere, low professional readiness of the driver for safe driving of the motor vehicle - deliberate execution of actions to control the motor vehicle, non-observance of traffic rules, errors in driving;

– imperfection of the driver's motivational sphere, low professional readiness of the driver for discretion – deliberate execution of actions to control the motor vehicle, non-observance of traffic rules and errors in discretion;

– imperfection of the driver's motivational sphere, low professional readiness of the driver for road orientation – deliberate execution of actions to control the vehicle, non-observance of traffic rules and errors in road orientation;

– imperfection of the driver's motivational sphere, low professional readiness of the driver to interact – deliberate execution of actions to control the vehicle, non-observance of traffic regulations and mistakes at interaction with other road users;

– low professional readiness of the driver to safely drive the motor vehicle - errors when driving the motor vehicle with violation of traffic rules or inappropriate behavior;

– inadequate professional readiness of the driver – reduction or loss of professional ability to work.

The above allows us to assert that the safety of transport and road safety in the transport process depends on the human factor – the psychophysiological reliability of the driver. Accordingly, the following classification of psychophysiological causes of road accidents is formed.

The first psychophysiological reason is low driver reliability, which can be expressed through: low driver qualifications; decreased motivation to work; inability of the driver to assess the road situation in a timely manner; insufficient training in road traffic accidents; unpreparedness in the psychology of driving the motor vehicle; decrease in the state of professional ability to work.

The second psychophysiological reason is the professional reliability of the driver. It is a set of necessary knowledge, skills and abilities that provide effective and safe driving of the motor vehicle in emergency road situations. Professional reliability of the driver includes three components: technical reliability; preparation for the specific trip; psychological reliability. The latter includes the necessary knowledge of the driver about himself, his own capabilities and limitations, methods of control and management of the functional state, the causes of incorrect decisions, prevention of errors and violations, and others. The decrease in the psychological reliability of the driver can be manifested in the following: low qualification of the driver; insufficient training in road traffic accidents; psychological unpreparedness when interacting with other road users, etc. That is, in modern road conditions, the importance of psychological reliability of the driver increases significantly. In conclusion, these components of professional reliability should be additionally included in the program of training the motor vehicle drivers in driving schools.

The third psychophysiological reason that forms the potential for driver reliability is the state of professional efficiency. This is the integral property of the driver, which depends on the level of functioning of the mental and physiological systems of the driver. It determines his ability to safely drive the motor vehicle for the required time. Professional efficiency is determined by the state of health and reserve capabilities of the driver's body. In violation of these characteristics, there is either a decrease or loss of professional efficiency of the driver.

The fourth psychophysiological reason that determines the potential of driver reliability is the development of driver quality training, which determines his ability to master the profession.

Other causes of road accidents - technical malfunctions of the motor vehicles, a condition of highways, environment, criminal activity of the road user, etc.

It is known that before starting training at the driving school, candidates for driving motor vehicle undergo a medical examination. It allows to exclude persons who do not meet the established regulatory requirements for the driving motor vehicles for health reasons. The psychophysiological qualities of future drivers are not evaluated. As a result, some of them may have insufficient driver's psychophysiological reliability (DPR) to safely control the motor vehicle in the transport process.

The analysis of psychophysiological reasons for the implementation of accidents by drivers and their assessment allows us to consider driver's psychophysiological reliability as the indicator of the human factor. In this regard, a set of characteristics of the driver, such as: state of the driver's motivational sphere, level of professional reliability, state of efficiency, level of development of professional qualities of the driver should be attributed to the complex indicator of the factor of the driver's professional reliability – DPR.

The psychology of the road user and in particular drivers in the transport process is based solely on the road safety. In addition, the analysis of the content of the theoretical exam for future drivers shows that the questions that allow to determine the level of knowledge in the field of culture of behavior and psychology of the road safety and safe driving of motor vehicle are not provided [4, 7, 9].

Note that in the transport process the road safety is largely determined by the basis of psychophysiological characteristics of the driver, and the level of his "social adaptation". All this ensures the adequate human response to factors of the road situation and environmental factors of the DVRE system. Accordingly, one

of the main reasons for drivers' mistakes is the low quality of special and psychological training at the driving school and the development of motor vehicle driving skills.

Thus, we can come to the conclusion that the genesis of the road safety violations is based on failures of complex sensorimotor reactions of a person. In particular, the failure of the central neuropsychological mechanisms of regulation of the automated motor professional skills of the driver.

It should be noted another reason that affects the road safety due to the professional reliability of the driver. In driving schools, when analyzing the road safety problems, there is no classification of psychophysiological causes of accidents, which is associated with the physiological characteristics of the driver. Without a doubt, this drawback is a consequence of the imperfection of training programs for future drivers, who do not receive sufficient information about the psychological reasons for non-standard driver actions in extreme situations.

To this we add that when analyzing the causes of road accidents, experts do not take into account the mechanism for determining the psychological causes of events to identify the personal shortcomings of drivers and other road users. That is, there is no feedback between the actions of drivers and their personal characteristics, which negatively affects their professional reliability and, as a result, the safety of the motor vehicles and road safety in the transport process.

In addition, the minimum training time in driving schools on the psychology of safe driving of the motor vehicles can be considered as a systemic and dangerous factor in the road safety. Obviously, this is one of the main contradictions at the present stage of training future motor vehicle drivers.

Taking into account the above and in order to prevent road accidents, it is proposed to include in the driver training program the following issues: psychological features of the motor vehicle driving; psychological dangerous factors in the motor vehicle driving; psycho-

logical features of interaction between the road users; psychological analysis of driver errors; psychological causes of road accidents, etc.

Thus safety of the motor vehicle is connected not only with the condition of motor skills of the driver but also with erroneous programs of behavior and inability to control himself in transport process. In particular, keeping the distance, driving into the oncoming lane, exceeding the set speed, as well as ignorance of the psychological hazards of other road users. To this we add that the training programs for future motor vehicle drivers do not consider the private activities of the driver, taking into account the complex of psychological training.

Accordingly, consider some of the driver's private activities while driving the motor vehicle.

Safety of the motor vehicle in the transport process. The content of this activity is the safe work of the driver in accordance with the information received from the systems of motor vehicle. The sources of information are both instrument readings and other signals (noise, vibration, acceleration, smell, etc.). The formation of skills to perform this activity should be carried out on the site. When driving outside, the conditions of their practice become more complicated (other types of activity are added), and the quality of education deteriorates. Such activities are connected with such road accidents as collision with the pedestrian while confusing the pedals (pressing "gas" instead of "brake"), collision with another motor vehicles during its braking, etc.

Compliance with traffic regulations and prevention of collisions with objects is defined as precaution. The content of this activity is represented by traffic regulation, objects that may violate the road safety, as motor vehicle in accordance with the requirements of regulatory means - signs, traffic lights, markings, etc. This is the highest priority in the safe driving of motor vehicle. Of course, practicing the skills of its implementation is possible when modeling road conditions. But, unfortunately, this activity in the training of drivers is practically not considered.

The motor vehicle position on the road – road orientation in the transport process. The content of this activity is to determine the current state of the motor vehicle in relation to road landmarks (marking, road edge, roadside, etc.) and its correction. After graduating from the driving school, drivers learn about this activity only in practice, when, being in a traffic flow, they face negative environmental factors - snow, rain, fog, lack of road markings, etc. The formation of road orienteering skills allows drivers to feel the importance and complexity of this activity when changing the driving conditions of motor vehicles. For example, because of poor visibility of the road or at a snow covering of the road, because of shifts in other row, especially during turning, etc.

Location of motor vehicle in relation to significant landmarks - conducting orienteering on the site. The content of this activity includes determining the location of the motor vehicle and its correction. This is a private activity, making a driver from a small settlement a "novice at the wheel" when driving through a metropolis. Practice of skills of performance of this activity can occur only during driving motor vehicle on the unfamiliar route. Without the ability to navigate the terrain to master this activity is extremely difficult.

Creating optimal conditions for drivers and other road users. The content of this activity includes: the use of alarm; control of the motor vehicle taking into account other drivers; reaction to signals by the road users, etc. This activity determines the driver's culture and knowledge of traffic rules. The formation of skills for its implementation occurs when driving motor vehicle on the street. The following accidents are associated with the ineffectiveness of the organization of interaction: collision with other motor vehicles during the lane change without the warning switch on the direction indicator; hitting a pedestrian who began to cross the street, etc.

Complications of the road situation, preventing the development of the emergency situation on the road. The content of this activity includes: detection of the emergency situation on the road; situational assessment; recognition of

the special situation on the road; decision making; decision execution and control, etc.

Thus, taking into account the human factor, you can determine the content and structure, get a set of private activities and justify the rational approach to the road safety. That is, the complex activity of the driver is a set of private activity of the driver of the motor vehicle which is directed on achievement of the general final purpose – safety of the motor vehicle and road safety, prevention of road accident.

Conclusions. Summing up the study of social orientation and reliability of the driver, we conclude that one of the ways to ensure the road safety in the transport process is to develop a modern methodology for driver training. It

should focus on improving the professional reliability of drivers by improving the mechanism of preventive action taking into account the human factor.

The relevance of the conclusion is confirmed not only by the fact that it is in line with the Strategy for the period up to 2030, but also by the fact that the European Transport Safety Council (ETSC) in the Maltese Memorandum (January 2017) initiated a revision of the Initial Qualifications and Training Directive for Motor Vehicle Drivers taking into account the human factor [1]. In particular, the formation of the single information and analytical support of the road safety, but this is a matter of further research.

References

1. ETSC 2012. Підходи до безпеки дорожнього руху: від оцінки ризику до навчання. URL: information@etsc.eu.
2. Кодекс України про адміністративні правопорушення. Харків: Парус, 2008. 252 с.
3. Кодекс України про кримінальні правопорушення (із змінами та доповненнями). Харків: ТОВ «Одіссей», 2008. 288 с.
4. Лончинский Б. Ф. ДТП. Ошибки водителей, приведшие к их возникновению. Сарма, 2005. 104 с.
5. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р., № 430-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>.
6. Daniele Stam, Adriano Alessandrini. ARTS for Last-Mile Transport Designing and Integrating in Cities. *Implementing Automated Road Transport Systems in Urban Settings*. 2018. Chapter 2. P. 17-80. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812993-7.00002-4>
7. Романов А. Н. Автотранспортная психология. Москва: Изд. центр «Академия», 2002. 224 с.
8. Транспортне право України / М. Л. Шелухін, О. І. Антонюк, В. О. Вишнівецька та ін.; за ред. М. Л. Шелухіна. Київ: Вид. Дім «Ін Юре», 2008. 896 с.
9. Усольцева И. В. Психологические основы безопасного управления транспортным средством. *Автополис*. Саратов, 2009. 240 с.
10. Франк Л. В. Виктимология и виктимность. Душанбе: ОАО «Кафкак», 1972. 577 с.
11. Центр безпеки дорожнього руху та автоматизованих систем. *Аварійність на автошляхах України*. URL: <http://www.sai.gov.ua/ua/people/5.htm>.

Stepanov Oleksii, D. Sc. (Tech.), professor, organization and road safety Department, Kharkov National Automobile and Highway University. ORCID iD: 0000-0003-4954-2532. E-mail: cc_7@ukr.net.

Степанов Олексій Вікторович, д-р техн. наук, професор кафедри організації та безпеки дорожнього руху Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. ORCID iD: 0000-0003-4954-2532. E-mail: cc_7@ukr.net.

Статтю прийнято 25.01.2021 р.

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

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

Випуск 195

«Збірник наукових праць УкрДУЗТ» включено до списку друкованих (електронних) періодичних видань, що включаються до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Наказ МОН України від 15.10.2019 р. № 1301).

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

Відповідальний за випуск Новікова М. А.

Редактор Буранова Н. В.

КВ № 21515 - 11415ПР від 27.07.2015 р. Підписано до друку 02.02.2021 р.
Формат паперу А4. Папір писальний.
Умовн. друк. арк. 7,0. Тираж 55. Замовлення № .

Видавець Український державний університет залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейсбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018р.