

Міністерство освіти і науки України  
ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти»

Український державний університет  
науки і технологій



МАТЕРІАЛИ  
VIII Міжнародної науково-практичної конференції

# МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

м. Дніпро, 19-20 жовтня 2022 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДНУ «ІНСТИТУТ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗМІСТУ ОСВІТИ»

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

**«МОСТИ ТА ТУНЕЛІ:  
ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА»**

**МАТЕРІАЛИ  
VIII МІЖНАРОДНОЇ  
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

19.10.2022–20.10.2022

Дніпро – 2022

Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика [Текст] : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика», 19-20 жовтня 2022 р. / за заг. ред. О. Л. Тютькіна. Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Дніпро, 2022. – 50 с.

У збірнику тез доповідей розглянуто рішення питань відновлення транспортної інфраструктури, зруйнованої під час війни РФ проти України, теорії, проектування і будівництва мостових переходів, будівництва транспортних тунелів і підземних споруд, вирішення проблеми утримання і експлуатації інженерних споруд та розрахунку основ і фундаментів для будівництва інженерних споруд на транспорті. Матеріали подано в рамках VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика», яку проведено 19-20 жовтня 2022 р. в Українському державному університеті науки і технологій (УДУНТ).

Збірник тез доповідей рекомендовано для наукових та інженерно-технічних працівників будівельної та залізничної галузей, викладачів, докторантів, аспірантів та студентів закладів освіти, які провадять підготовку фахівців у транспортній галузі.

© Всі права авторів застережені, 2022  
© Укр. держ. ун-т науки і технологій,  
оригінал-макет, 2022

### **Науковий комітет Конференції:**

Пішінко О. М., д.т.н., проф., в.о. ректора, УДУНТ

Радкевич А. В., д.т.н., проф., перший проректор, УДУНТ

Пройдак Ю. С., д.т.н., проф., проректор з наукової роботи, УДУНТ

Тютюкін О. Л., д.т.н., проф., зав. каф. «Транспортна інфраструктура», УДУНТ

Винников Ю. Л., д.т.н., проф., Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Гапєєв С. М., д.т.н., доц., зав. каф. будівництва, геотехніки і геомеханіки, НТУ «Дніпровська політехніка»

Киричок В. М., заступник начальника служби колії регіональної філії Придніпровської залізниці АТ «Укрзалізниця» (м. Дніпро)

Ковальчук В. В., д.т.н., проф., проф. каф. рухомого складу залізниць і колії, УДУНТ (Львівський інститут)

Кулябко В. В., д.т.н., проф., Придніпровська державна академія будівництва і архітектури (м. Дніпро)

Кузнецов В. В., д.т.н., проф., Instytut Kolejnictwa (Poland)

Лантух-Лященко А. І., д.т.н., проф., Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Лучко Й. Й., д.т.н., проф., каф. «Будівельні конструкції», Львівський національний університет природокористування (м. Дубляни)

Мамажанов Р. К., д.т.н., проф., директор з перспективного розвитку і науки АЖ «УЗОГИРСАНОАТЛОЙИХА» (м. Ташкент, Узбекистан)

Мінеєв С. П., д.т.н., проф., завідувач відділу керування динамічними проявами гірського тиску, Інститут геотехнічної механіки імені М. С. Полякова НАН України (м. Дніпро)

Петренко В. Д., д.т.н., проф., каф. «Транспортна інфраструктура», УДУНТ

Попович М. М., к.т.н., доц., директор Навчально-наукового центру «Мости і тунелі», УДУНТ

Ahmad Alkhdour, PhD, Al-Balqa' Applied University (Al-Salt, Jordan)

Stanisław Fic, д.т.н., проф., Politechnika Lubelska (Poland)

Mykola Sysyn, PhD, Technische Universität Dresden (Germany)

Текст тез доповідей учасників Конференції подано мовою оригіналу в авторській редакції.

Офіційна наукова конференція з проблем вищої освіти і науки в системі Міністерства освіти і науки України на 2022 рік: лист Державної наукової установи «Інститут модернізації змісту освіти» від 06.09.2021 р. № 22.1/10-2018 «Про формування Переліку проведення наукових конференцій з проблем вищої освіти і науки у 2022 році».

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТРОТУАРНИХ БЛОКІВ ДЛЯ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ<br>Бугаєвський С. О., Бугаєвський В. О. ....                | 7  |
| МЕТОДОЛОГІЯ ПЛАНУВАННЯ ПІДЗЕМНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В ЗОНІ ВПЛИВУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ<br>Гайко Г. І., Ган А. Л., Бачинська Л. М. ....                                 | 9  |
| СУЧАСНІ ПРОПОЗИЦІЇ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ<br>Гезенцевей Ю. І., Банніков Д. О. ....                                                      | 11 |
| УЗАГАЛЬНЕННЯ ДОСВІДУ ВІДБУДОВИ ЗРУЙНОВАНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ МОСТІВ<br>Ключник С. В., Горбатюк Ю. М. ....                                                         | 13 |
| ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВОЇ ГЕОДЕЗІЇ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД<br>Краснощок С. Л. ....                                                                  | 15 |
| ПРО МОЖЛИВИЙ ШЛЯХ ПОКРАЩЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЦІ<br>Крисан В. І., Крисан В. В. ....                                                       | 16 |
| ТЕХНОЛОГІЯ СПОРУДЖЕННЯ ТРЬОХСКЛЕПІНЧАСТОЇ ПІЛОННОЇ СТАНЦІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ ІЗ ЗБІРНОГО ЗАЛІЗОБЕТОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ НАТМ<br>Купрій В. П., Старина Р. О. ....    | 19 |
| МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ І КОЛІЇ НА ДІЛЯНКАХ ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ<br>Курган Д. М., Курган М. Б., Гусак М. А. ....                                  | 21 |
| УЛАШТУВАННЯ ДІЛЯНОК ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ У МІСЦЯХ СПОЛУЧЕННЯ МОСТА З НАСИПОМ<br>Курган М. Б., Лужицький О. Ф., Хмелевська Н. П. ....                            | 23 |
| СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ВИБОРУ ВАРІАНТУ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ АВТОДОРОЖНЬОГО МОСТУ<br>Мірошник В. А., Овчинников П. А. ....                        | 26 |
| ВИГОТОВЛЕННЯ ЦЕМЕНТОГРУНТОВИХ ПАЛЬ ПІД ЧАС УЛАШТУВАННЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ФУНДАМЕНТІВ<br>Мішук К. М., Радкевич А. В. ....                                       | 28 |
| ПРОБЛЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ ПІД ЧАС / ПІСЛЯ ВІЙНИ<br>Нетеса А. М., Яковлєв С. О. ....                                            | 30 |
| ПРОБЛЕМИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ТРУДОВИМИ РЕСУРСАМИ БУДІВЕЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ<br>Нікіфорова Н. А., Косячевська С. М. ....                          | 31 |
| ВИКОРИСТАННЯ ІНВЕНТАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЗРУЙНОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ<br>Остапенко І. С. .... | 33 |

|                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЗАСАД ЕКОЛОГІЧНОГО БУДІВНИЦТВА<br><b>Пастухова С. В., Арутюнян І. А.</b> .....                                                                    | 35 |
| РЕЗУЛЬТАТИ ЛОТКОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ПІДСИЛЕНОГО<br>МІКРОПАЛЕЮ СТРІЧКОВОГО ФУНДАМЕНТУ<br><b>Петренко В. Д., Андрєєв В. С., Харченко В. В.</b> .....                  | 36 |
| АНАЛІЗ ПРИЧИН АВАРІЙ В ТУНЕЛЯХ І МЕТРОПОЛІТЕНАХ ДЛЯ<br>ПІДВИЩЕННЯ ЇХ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ<br><b>Петренко В. Д., Бондаренко Н. К., Мірошник В. А.</b> ..... | 38 |
| СТАЦІОНАРНІ КОЛИВАННЯ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ ВІД ДІЇ<br>ПЕРІОДИЧНИХ ОДНОСТОРОННІХ ІМПУЛЬСІВ<br><b>Попович М. М., Ключник С. В.</b> .....                               | 40 |
| ПИТАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ МОСТОВИХ АРКОВИХ ПРОГОНОВИХ<br>БУДОВ ІЗ ТРУБОБЕТОНУ<br><b>Співак Д. С.</b> .....                                                            | 41 |
| ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОБСТЕЖЕННЯ СПОРУД<br><b>Трикоз Л. В., Зінченко О. С.</b> .....                                                                             | 43 |
| ПРОЄКТУВАННЯ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ ЗА НОРМАМИ<br>ЄВРОКОДІВ<br><b>Тютюкін О. Л., Дубінчик О. І., Кільдєєв В. Р.</b> .....                                           | 46 |
| АНАЛІЗ ЗМІНИ КОНЦЕПЦІЇ СПОРУДЖЕННЯ ПІЛОННОЇ СТАНЦІЇ<br>МЕТРОПОЛІТЕНУ В СКЕЛЬНИХ ПОРОДАХ<br><b>Тютюкін О. Л., Федоров К. Є.</b> .....                              | 48 |

# УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТРОТУАРНИХ БЛОКІВ ДЛЯ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ

Бугаєвський С. О.\*, Бугаєвський В. О.\*\*

\*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

\*\*Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків

*Serhii Buhaievskiy, Volodymyr Buhaievskiy. Improvement of the design of pavement blocks for precast-monolithic reinforced concrete spans.*

**Abstract.** In Ukraine, precast prestressed beams have been developed according to the new design standards for precast monolithic bridge spans. When developing design solutions for the span slab, it is necessary to concretize it in height in two stages. The use of fixed polystyrene foam inserts in the construction of the pavement block reduces its weight by up to 40 %. The use of lightweight reinforced concrete structures for the monolithic part of the precast-monolithic span for beams 21...33 m long will reduce the constant load by 14...25 %.

В Україні розроблено ряд збірних попередньо-напружених балок з дотриманням вимог нових норм проектування для збірно-монолітних прогонових будов мостів [1]. Влаштування монолітної плити проїзної частини дозволяє покращити умови роботи прогонових будов та підвищити їх довговічність.

У чинних державних будівельних нормах України з проектування мостів [1] вказується, що плиту проїзної частини мостів слід виконувати монолітною, товщиною не менше 20 см. У випадку застосування збірних залізобетонних балок їхню поверхню слід вкрити шаром монолітного залізобетону завтовшки не менше 14 см. Враховуючи ці вимоги, залізобетонні прогонові будови автодорожніх мостів влаштовуються переважно збірно-монолітними: встановлюються збірні балки, на яких бетонується монолітна плита.

Основні виробники конструкцій для прогонових будов мостів, балки яких застосовуються на об'єктах будівництва в Україні – це ТОВ «Мост Строй Комплект» (м. Дніпро), ТОВ «З Бетони» (м. Калуш, Івано-Франківська обл.), ТОВ «Ковальська» (м. Київ), компанія «Обербетон» (м. Житомир) та ін. (табл. 1) [2].

Таблиця 1

## Характеристики мостових залізобетонних балок виробництва ТОВ «З Бетони» [3]

| Найменування    | Довжина балки, м | Висота балки, см | Об'єм бетону, м <sup>3</sup> | Вага 1 м балки, т | Площа поперечного перерізу балки, м <sup>2</sup> |
|-----------------|------------------|------------------|------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------|
| 3Bet-90 – 12,0  | 12               | 90               | 3,70                         | 9,25              | 0,308                                            |
| 3Bet-90 – 15,0  | 15               | 90               | 4,62                         | 11,55             | 0,308                                            |
| 3Bet-90 – 18,0  | 18               | 90               | 5,55                         | 13,88             | 0,308                                            |
| 3Bet-90 – 21,0  | 21               | 90               | 6,48                         | 16,20             | 0,308                                            |
| 3Bet-90 – 24,0  | 24               | 90               | 7,41                         | 18,53             | 0,308                                            |
| 3Bet-120 – 24,0 | 24               | 120              | 8,53                         | 21,33             | 0,355                                            |
| 3Bet-120 – 27,0 | 27               | 120              | 9,60                         | 24,00             | 0,355                                            |
| 3Bet-120 – 30,0 | 30               | 120              | 10,67                        | 26,68             | 0,355                                            |
| 3Bet-120 – 33,0 | 33               | 120              | 11,74                        | 29,35             | 0,355                                            |

При розробленні проєктних рішень плити прогонової будови необхідно проєктувати залізобетонну плиту, виходячи з умов її влаштування в дві стадії бетонування по висоті: спочатку влаштовують основну частину плити, а після досягнення бетоном необхідної міцності бетонують тротуарний блок підвищеного типу (рис. 1).

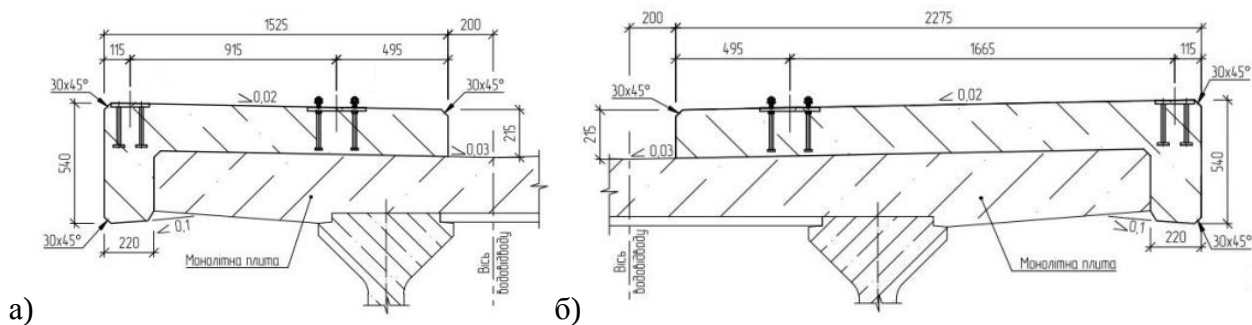


Рис. 1. Конструкція тротуарного блоку:  
а) ширина тротуару 0,75 м; б) ширина тротуару 1,5 м

Конструкція мостового полотна та вимоги до водовідводу з мосту потребують збільшення загальної товщини плити прогонової будови разом із тротуаром до 45...50 см. У разі відсутності на мосту тротуарів або службових проходів проїзну частину слід огородити піднятим над проїзною частиною бортом заввишки не менше, ніж 20 см [4]. Усе перераховане призводить до збільшення постійного навантаження на крайні балки прогонової будови (табл. 2).

Таблиця 2

**Постійне навантаження на крайню балку 21 м прогонової будови  
(крок балок 1,9 м, зовнішня консоль 0,95 м, товщина тротуару 21,5 см)**

| Розмір тротуару, м | Площа поперечного перерізу балки |    | Площа поперечного перерізу плити |    | Площа поперечного перерізу тротуару |    | Площа загальна |
|--------------------|----------------------------------|----|----------------------------------|----|-------------------------------------|----|----------------|
|                    | м <sup>2</sup>                   | %  | м <sup>2</sup>                   | %  | м <sup>2</sup>                      | %  |                |
| 0,75               | 0,308                            | 27 | 0,437                            | 39 | 0,380                               | 34 | 1,125          |
| 1,50               | 0,308                            | 27 | 0,437                            | 38 | 0,405                               | 35 | 1,150          |
| 2,25               | 0,308                            | 27 | 0,437                            | 38 | 0,405                               | 35 | 1,150          |

Застосування в конструкції тротуарного блоку незнімних вкладишів із пінополістиролу або іншого легкого матеріалу дозволить отримати полегшені залізобетонні конструкції зі складною внутрішньою геометрією та зменшити вагу тротуарного блоку до 40 %. Форма вкладишу – паралелепіпед товщиною 14 см та розміром в плані 0,6×0,8 м, а внутрішні ребра повинні бути товщиною 20 см із кроком 1,0 м. Загальне зниження постійного навантаження на крайню балку складає близько 14...15 %. Конструктивні рішення із застосування незнімних вкладишів в монолітній плиті проїзної частини, дозволять знизити постійне навантаження на проміжні балки та додатково на крайні теж.

Таким чином, застосування полегшених залізобетонних конструкцій для монолітної частини збірно-монолітної прогонової будови може суттєво знизити постійне навантаження від 14 до 25 %, особливо це актуально для прогонів довжиною 21...33 м.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]. – Київ: Держбуд України, 2006. – 360 с.
2. Рекомендації щодо конструктивних рішень для відбудови пошкоджених мостів і труб [Текст]. – Київ: ДП «ДерждорНДІ», 2022. – 167 с.
3. Сайт ТОВ «З Бетони» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://3betony.com.ua/page-mostovi-konstrukcii>.
4. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Текст]. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 72 с.



## МЕТОДОЛОГІЯ ПЛАНУВАННЯ ПІДЗЕМНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В ЗОНІ ВПЛИВУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Гайко Г. І., Ган А. Л., Бачинська Л. М.

НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

*Hennadii Haiko, Anatoly Han, Lyudmila Bachynska. Underground infrastructure planning methodology in the zone of influence of water objects.*

**Abstract.** The task of the system methodology for planning tunnel routes and ensuring reliable geotechnical protection of underground structures from water influences is considered. The possibilities of methods of system analysis (in particular, morphological analysis) for risk analysis of various variants of underwater tunnel routes and influencing factors in these conditions are revealed.

Сучасний розвиток підземної інфраструктури великих міст значною мірою гальмується в зонах впливу водних об'єктів, оскільки високі ризики в більшості випадків відвертають інвесторів від будівництва таких споруд. Підземні переходи великих річок, озер, морських заток залишаються в усьому світі поодинокими прикладами тунельного будівництва, не зважаючи на надзвичайно високі потреби в таких спорудах. В Україні до сьогодні не збудовано жодного підводного тунелю, навіть із передбачених у Генеральних планах міст (обов'язкових для виконання), зокрема трьох тунельних переходів Дніпра в м. Києві. Для зміни такої ситуації доцільно розробити системну методологію планування тунельних трас та забезпечити надійний геотехнічний захист підземних споруд від водних впливів.

Основними особливостями, які відрізняють підводні тунелі, є зниження точності підводних геологічних досліджень; високий тиск порової води та градієнти просочування на глибині тунелю; великі довгострокові навантаження, викликані гідростатичним тиском, та вимоги до скорочення часу будівництва і фінансової вартості. В умовах невизначеності, неповноти й неточності вихідних даних планування трас підземних споруд в зоні впливу водних об'єктів повинно спиратися на системну методологію, зокрема на модифікований морфологічний аналіз геологічного середовища, фрактальний аналіз траси тунелю, сценарний аналіз зміни стану підземної інфраструктури та ін.

В КПІ ім. Ігоря Сікорського розроблено інструментарій, що формалізує планування і супроводжує освоєння міського підземного простору на базі системної методології мультидисциплінарного характеру, цільовою функцією якої є надійність підземної інфраструктури [1]. Широке застосування знайшов тут метод морфологічного аналізу [2], що є потужним інструментом оцінювання складних об'єктів і систем з великим набором взаємопов'язаних характеристик, в тому числі якісних. В основі методу лежить експертне оцінювання, яке на етапі прийняття рішення часто є головним джерелом інформації щодо об'єкта. Метод морфологічного аналізу дозволяє певною мірою подолати різноманітність і суб'єктивізм за рахунок використання незалежних оцінок окремих альтернатив кожного з параметрів, і проведення перерахунку оцінок альтернатив з використанням матриці взаємозв'язків, що коригує початкові грубі оцінки шляхом урахування впливу інших характеристик об'єкта (рис. 1).

Задачу побудови морфологічних таблиць для проведення модифікованого методу морфологічного аналізу з метою прийняття рішення щодо потенційної ділянки (траси) будівництва автомобільного тунелю під водним об'єктом (у нашому випадку – під Дніпром) було вирішено розбити на два завдання, які б враховували впливи факторів геологічного середовища та структурно-функціональних характеристик території з ризиками екологічних та техногенних загроз.

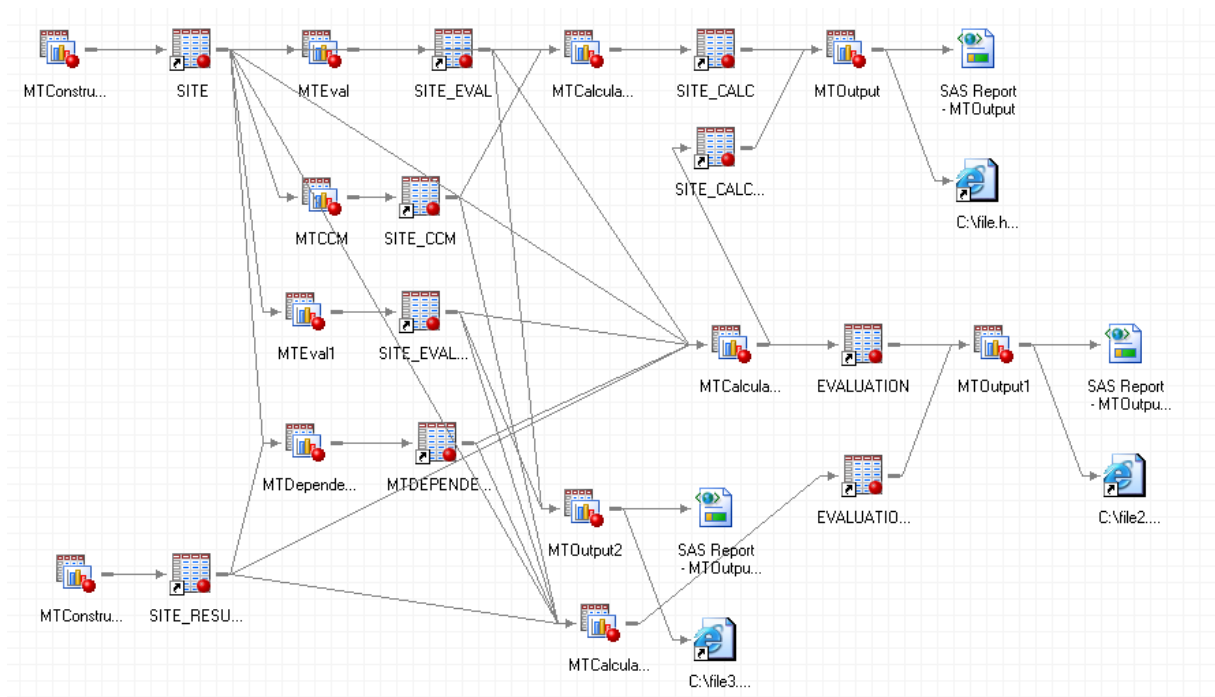


Рис. 1. Модель в SAS Studio для оцінювання території для підземного будівництва

На відміну від відносно невеликих ділянок будівництва для локальних об'єктів (у попередніх роботах такий аналіз був проведений для підземних автомобільних паркінгів [3, 4]), що розміщуються переважно в умовах однотипного геологічного середовища, тунелі мають значну протяжність (тисячі метрів) і можуть знаходитись у різних інженерно-геологічних та морфологічних умовах (мати змінні альтернативи параметрів впливу). Для коректного відображення цієї ситуації була запропонована методика врахування змінності альтернатив параметрів вздовж траси тунелю шляхом внесення експертом в опитувальні форми для кожної альтернативи такої оцінки, що відповідає протяжності ділянки з альтернативним параметром, віднесений до всієї довжини тунелю: однозначно ні – 0; переважно ні – від 0 до 0,25; скоріш ні, ніж так від 0,25 до 0,5; і так і ні в рівній мірі – 0,5; скоріше так ніж ні – від 0,5 до 0,75; переважно так – від 0,75 до 1; однозначно так – 1. Таким чином, кожна альтернатива параметру отримала свою оцінку у відповідності до імовірності реалізації по довжині тунелю.

У випадку коли загрозові альтернативи факторів зосереджуються на відносно невеликій ділянці тунелю, а ситуація на інших його ділянках є переважно безпечною, треба окремо оцінювати весь тунель і найбільш ризиковану окрему ділянку. Оскільки протяжна траса тунелю може потрапити в зону пливуну, який різко погіршує сприятливість ділянки підземному будівництву, ця важлива альтернатива була особливим чином врахована в морфологічній таблиці параметрів. Також до параметрів впливу були віднесені гідростатичний тиск та градієнт просочування води на глибині тунелю.

Крім того, враховувались структурно-функціональні характеристики території, в районі якої проходить тунель та виходять його портали. Метою цього завдання було визначення доцільності («логістики») проведення тунелю даною трасою, а також різномісних ризиків, які є актуальними для цієї території, з огляду на забудову, характерну для цієї території, дорожню мережу, характеристики руху транспорту в районі порталів потенційного тунелю.

Таким чином, створення морфологічної моделі траси підводного тунелю з можливістю оцінки ризиків для будівництва та експлуатації тунелю забезпечує принципово новий підхід до проектування, який є більш стійким до умов невизначеності, неповноти й неточності вихідних даних, ніж традиційні розрахункові моделі та здатен забезпечити високу надійність підземних споруд з меншими витратами матеріалів та інших ресурсів, ніж проєктні моделі з високим ступенем резервування надійності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Панкратова, Н. Д. Розвиток підземної урбаністики як системи альтернативних проєктних конфігурацій. Монографія. [Текст] / Н. Д. Панкратова, Г. І. Гайко, І. О. Савченко. – Київ : Наукова думка, 2020. – 134 с.
2. Панкратова, Н. Д. Морфологічний аналіз. Проблеми, теорія, застосування. Навчальний посібник [Текст] / Н. Д. Панкратова, І. О. Савченко. – Київ : Наукова думка, 2015. – 245 с.
3. Haiko, N. I. Development of a morphological model for territorial development of underground city space [Текст] / N. I. Haiko, I. O. Savchenko, I. O. Matviichuk // Naukovyi Visnyk NBU, 2019. – № 3. – Р. 92-98. Доступ: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-3/14>
4. Гайко Г. І. Оцінювання ділянок будівництва підземних паркінгів на основі модифікованого методу морфологічного аналізу [Текст] / Г. І. Гайко, І. О. Савченко, І. О. Матвійчук // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2019. – № 15. – С. 18-25. Доступ: <http://bttpr.diit.edu.ua/article/view/172373>

### СУЧАСНІ ПРОПОЗИЦІЇ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ

Гезенцевей Ю. І.\*, Банніков Д. О.\*\*

\*БАТ «Метінвест Інжиніринг», м. Дніпро

\*\*Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Yukhym Hezentsvei, Dmytro Bannikov. The modern propositions for quality assurance of constructive solutions.*

**Abstract.** This paper presents a concise analysis of the positive and negative points regarding the proposed latest standard DSTU in the current regulatory base of Ukraine in the field of construction. The standard is dedicated to the rather recent issue of assessing the quality of constructive solutions. The novelty, complexity and ambiguity of many aspects of the considered issue require, in our opinion, a more thorough improvement of this standard.

На тепер в Україні доволі значними темпами, незважаючи на різноманітні формажорні обставини, продовжується оновлення вітчизняної нормативної бази в галузі будівництва. Доволі новітнім питанням в цій сфері є питання оцінки якості конструктивних рішень. Його розвиток, напевно, пов'язаний із прагненням протидіяти як зниженню загальної ефективності сучасних конструктивних рішень, так й інших їх показників, таких як їх надійність, довговічність, матеріаломісткість тощо.

Стосовно забезпечення якості запропонований спеціально розроблений стандарт ДСТУ [1]. Новизна, складність та неоднозначність багатьох аспектів розглядуваного питання сприяла проведенню цілої низки обговорень та дискусій, що на практиці вилились у вісім (!) підготовлених редакцій цього нормативного документу. Також цей стандарт запропонований в якості лише рекомендованого до чинного нормативного документу [2] в числі низки змін до нього [3].

В цілому запропонований стандарт має низку як позитивних, так й відверто негативних моментів, які і є об'єктом розгляду та аналізу в даній роботі.

Серед позитивних моментів слід відмітити наступне.

По-перше, слід відзначити доволі широку сферу застосування запропонованого стандарту ДСТУ [1]. Його дія поширюється на «...будівельні конструкції будинків, споруд та об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури будь-яких класів відповідальності...». Фактично стандарт охоплює всі наявні різновиди будівельних конструкцій згідно існуючих та перспективних їх класифікацій [4].

По-друге, досить цікавою є подана методика оцінки металоємності конструктивного рішення. Вона доволі часто використовувалась в інженерній практиці для оцінки ефективності деяких металоконструкцій, в першу чергу сталевих ферм. Однак тепер вона отримала як офіційний статус, так і в доробленому вигляді може бути використана й для інших видів будівельних конструкцій.

Серед негативних моментів слід відмітити наступне.

По-перше, з восьмої редакції прибрана можлива одностадійність проектування будівельних конструкцій, хоча на нашу думку, в теорії така можливість дійсно дозволила б спростити сам процес проектування конструкцій.

По-друге, на наш погляд інформація, представлена в ДСТУ має доволі загальний характер і тому краще має бути включена в чинний нормативний документ [2] замість окремих розділів (розділи 14, 17-24), що присвячені спеціалізованим видам сталевих будівельних конструкцій. Останні доцільно було б представити в окремих стандартах, наприклад, ДБН.

По-третє, в представленому стандарті якість конструктивних рішень в значному ступені ідейно зводиться до підвищення їх економічності за рахунок зменшення витрат металу. Проте на нашу думку, якість є більш широке поняття, тому можливо більш точною назвою цього ДСТУ мала б бути – Настанова з оцінювання *економічності* конструктивних рішень.

По-четверте, питання використання варіантного проектування, технологічності виготовлення, монтажу і транспортування конструкцій, відповідність проекту цілям сталого розвитку мали б бути представлені замість якісних показників, низкою відомих кількісних показників, як наприклад, тривалість монтажу конструкції або рівень її надійності.

По-п'яте, також спірним є питання застосування наведеної в стандарті методики оцінки металоємності конструктивного рішення до конструкцій з тонкостінних елементів або так званих сучасних ЛСТК. Їх проектування відрізняється низкою особливостей, зокрема пов'язаних з можливістю втрати стійкості, що призводить в низці випадків до ускладнених конструктивно-технологічних рішень [5-7]. Також серед фахівців на сучасному етапі відсутні єдині погляди на цю проблему і тому, навіть в запропонованих змінах до чинного нормативного документу ДБН [3] такий вид конструкції було вирішено виключити.

По-шосте, в запропонованому стандарті ДСТУ жодним чином не враховуються ступінь корозійного захисту та вогнезахисту конструкцій, що фактично дуже ускладнює реальну оцінку, навіть, економічної ефективності спроектованих конструкцій та унеможливорює порівняння з конструкціями з інших матеріалів, в першу чергу – із залізобетону.

Таким чином, введення в дію запропоновано стандарту ДСТУ щодо оцінки якості конструктивних рішень будівельних конструкцій все ж таки поки є передчасним та потребує низки суттєвих коригувань та уточнень.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ XXXXX. Конструкції сталеві будівельні. Настанова з оцінювання якості конструктивних рішень. Проект: восьма редакція [Текст]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. – 44 с.
2. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. – 205 с.
3. Зміна № 1 до ДБН В.2.6-198:2014. Остаточна редакція [Текст]. – Київ : ТОВ «УкрІСК ім. В. М. Шимановського», 2021. – 24 с.
4. Банніков, Д. О. Сучасний стан класифікації транспортних будівельних конструкцій в Україні [Текст] / Д. О. Банніков, Н. А. Нікіфорова, С. М. Косячевська // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2022. – № 21. – С. 35-43. Доступ: <http://btttrp.diit.edu.ua/article/view/258221>
5. Безсалий, В. М. Ефективність сталевих тонкостінних оцинкованих профілів для аркових елементів [Текст] / В. М. Безсалий, Д. О. Банніков // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2019. – № 16. – С. 20-29. Доступ: <http://btttrp.diit.edu.ua/article/view/189428>

6. Марченко, Т. В. Технология ЛСТК: проблемы и перспективы [Текст] / Т. В. Марченко, Д. О. Банников // Строительство, материаловедение, машиностроение, серия: Создание высокотехнологических социозоокомплексов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития. – Днепропетровск : Изд-во ГВУЗ «ПГАСА», 2011. – Вип. 60. – С. 120-124.

7. Марченко, Т. В. Експериментальні дослідження форм втрати стійкості тонкостінних елементів [Текст] / Т. В. Марченко, Д. О. Банников // Строительство, материаловедение, машиностроение, серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. – Днепропетровск : Изд-во ПГАСА, 2009. – Вип. 50. – С. 368-372.

## УЗАГАЛЬНЕННЯ ДОСВІДУ ВІДБУДОВИ ЗРУЙНОВАНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ МОСТІВ

Ключник С. В., Горбатюк Ю. М.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Sergiy Kliuchnyk, Yuriy Gorbatyuk. Generalization of the experience of reconstruction of ruined road bridges.*

**Abstract.** According to the Ministry of Infrastructure, more than 300 bridges were destroyed on public roads as a result of the war. Today, the need to restore artificial structures arising from their destruction during the war is urgent. There is an urgent need to study and implement the experience of restoring transport infrastructure and construction of fortification structures, and to widely implement the acquired experience in the training process of bridge specialists.

Міністр інфраструктури Олександр Кубраков заявив, що інфраструктура стала другою ціллю російського агресора, наразі пошкоджено або зруйновано майже 24 тис. кілометрів доріг, 305 мостів, 6,3 тис. кілометрів залізничних колій. Головна мета руйнування мостів – стримати просування ворожих підрозділів, виграти час для організації оборони та вивести з рівноваги російську армію. Він також заявив, що станом на зараз вдалося розчистити майже тисячу кілометрів доріг та облаштувати 41 тимчасову переправу. Наступною фазою буде відновлення того, що було пошкоджено через війну. Перший воєнний переляк минув, зруйновані дороги та мости у критичних точках справді треба ремонтувати для транспортування харчів, палива та зброї. Тим паче тоді вже з'явилися перші натяки на те, що зарубіжні союзники нарешті почнуть давати нам долари та євро у необхідній для існування України кількості [1].

При руйнуванні мосту вибір варіанта відновлення (на старій осі або ближньому обході) виконується з урахуванням:

- обсягів руйнування мосту й насипів на підходах;
- розмірів мосту й ріки;
- термінів відновлення;
- величини підмостових габаритів;
- пори року.

Вид відновлення (тимчасове, короткотермінове) визначається термінами, що відводяться на відновлення ділянки, наявності сил, засобів і конструкцій [2].

Відновлення зруйнованого автомобільного руху через річку Ірпінь, який знаходиться на автодорозі загального користування державного значення Іб технічної категорії М-06 Київ-Чоп (на м. Будапешт через м. Львів, Мукачеве, Ужгород), км 21+140 виконувалось по розпорядженню на виконання завдання – «Рішення ГК 300/3072 від 07.04.2022 року». Міст побудований у 1977 році, реконструйований після 2004 р. Схема залізобетонного мо-

сту –  $18,0+13,25+2\times 12,25+13,65+18,0$  м (лівий проїзд);  $5\times 18,0$  м (правий проїзд), конструкція температурно-нерозрізна по плиті мостового полотна. Довжина мосту – 90,92 м. Проектне тимчасове навантаження Н-30, НК-80 [3]. Характеристика руйнувань не сприяє відновленню штучної споруди на існуючій осі споруди.

Відновлення мосту виконано на ближньому обході – за 50 м нижче по течії річки Ірпінь. Для виконання будівельних робіт автодорожнього мосту запропоновано використання залізничних прогонових будов з військового резерву [4, 5]: балки Пейна в зборі, типової конструкції СРП 18,53 м. Повна довжина балок 18,53 м, розрахункова довжина 18,0 м. Розрахункове навантаження Н6 (навантаження залізничне). Варіант відновлення – однопрогоновий міст для двох смуг проїзду, габаритом Г-8. Розрахункове навантаження автомобільне Н30.

Балки прогонової будови з стаді 15 ХСНД. Профіль балок МА. Двотаври широкополовні ширина полок 450 мм, висота балок 1040 мм. Кількість балок в прогоновій будові – 4 шт. з кроком 1600 мм. Мостове полотно – дерев'яне з сосни.

Після підготовчих робіт по влаштуванню під'їздів до місту будівництва на ближньому підході виконано попередню розбивку осі автодороги.

Виконана забивка дерев'яних паль, по 16 шт. в кожній береговій опорі. Голови занурених паль обрізано по заданому рівню та обладнано горизонтальним ригелем (насадка) з двох брусів  $24\times 20$  см, які закріпили металевими стержнями та скобами до паль. З врахуванням повної довжини прогонової будови влаштовано закладний щит з п'яти додаткових паль та дерев'яної стінки. На пальову опору встановлено опорні частини у вигляді металевих листів.

Запропоновані залізничні прогонові будови з резерву балки Пейна типової конструкції СРП 18,53 м було доставлено в зборі (попарне об'єднання балок в'язями). На верхні пояси на березі було встановлено дерев'яні бруси перерізом  $24\times 20$  см з кроком 540 мм з підрізкою та підгонкою по місцю встановлення.

Монтаж прогонових будов виконано за допомогою двох колісних автокранів вантажопідйомністю 32 та 50 т. Прогонову будову прикріпили до опори костилями (шурупами). На встановлених прогонових будовах влаштовано дерев'яну проїзну частину за проектним габаритом Г8 з двома тротуарами 0,5 м. Перильне огороження виконано з брусів перерізом  $50\times 50$  мм та поручнів  $40\times 50$  мм. Кріплення стійок забезпечено за допомогою металевих кутиків.

Замість перехідних плит використано поверхові залізобетонні плити.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.epravda.com.ua/news/2022/06/18/688308/>
2. Радкевич, А. В. Відновлення штучних будов [Текст]: навчальний посібник / А. В. Радкевич, М. О. Лісняк, Ю. М. Горбатюк, П. А. Лихоп'юк. – Дніпро : ДНУЗТ, 2018. – 406 с.
3. ДБН В.1.2-15:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи [Чинний від 2009–11–11] [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 83 с.
4. Гернич, М. В. Сталезалізобетонні прогонові будови мостів для постконфліктного відновлення зруйнованої транспортної інфраструктури [Текст] / М. В. Гернич, С. В. Ключник, Д. С. Співак // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2021. – № 19. – С. 28-37. Доступ: <https://doi.org/10.15802/bttrp2021/233872>
5. Каплін, Р. Б. Сучасні сталезалізобетонні прогонові будови мостів малих і середніх прогонів [Текст] / Р. Б. Каплін // Збірник наукових праць УкрДУЗТ, 2020. – № 193. – С. 25-34. Доступ: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.193.2020.229530>

## ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВОЇ ГЕОДЕЗІЇ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

Краснощок С. Л.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Serhii Krasnoshchok. Use of satellite geodesy for the construction of engineering structures.*

**Abstract.** Expanding geodesy opportunities during the construction and operation of structures. Show the advantages of satellite geodesy in contrast to traditional methods of measurement.

Геодезія супроводжує будівництво на всіх етапах. Перший етап – це інженерно-геодезичні вишукування, під час котрих проводиться топографічне знімання місцевості. Наступні етапи будівництва з використанням геодезії: інженерно-геодезичне проектування (підготовка вихідних даних для перенесення проекту в натуру), розмічувальні роботи (пошук на місцевості проектних точок будівельних об'єктів), геодезичне забезпечення монтажу конструкцій та геодезичний моніторинг (спостереження за деформаціями та осіданням конструкцій).

Інженерно-геодезичні роботи займають домінуюче положення на ринку геодезичних робіт. Різноманітність інженерних об'єктів вимагає різноманітності геодезичних приладів, систем, точності та методів, які використовуються для геодезичного забезпечення спорудження цих об'єктів. За останні 20-25 років стрімких змін зазнали конструкції, розміри та вага геодезичних приладів, значно зросла швидкість обробки ними інформації та кардинально зменшився ступінь участі оператора в процесі обробки. Ці зміни викликали кардинальну зміну технологій виконання інженерно-геодезичних робіт [1].

Геодезичні роботи традиційного методу полягають у використанні електронного тахеометру або теодоліту та мірної стрічки для знаходження опорних пунктів, поворотних точок. Основою цього методу є поверхня геоїда або фізичний принцип виміру, тому опорна мережа складається з двох видів: планової та висотної. Недоліками традиційного методу є: великий обсяг геодезичних робіт, за рахунок створення великої кількості допоміжних точок для побудови опорної мережі; можливість фактору людської похибки; неможливість отримання даних в недоступних місцях або в місцях, де потребується дозвіл власника [2].

В наш час збільшуються обсяги будівництва, тому потрібно використання більш сучасного геодезичного обладнання. Супутникове геодезичне обладнання має ряд переваг на відміну від традиційного:

- проведення високоточних геодезичних вимірювань при відсутності прямої видимості між пунктами;
- використання в будь-який час доби та пору року, незважаючи на погоду, що призводить до збільшення продуктивності польових бригад;
- спроможність роботи на об'єктах великих розмірів для моніторингу деформацій в режимі реального часу;
- побудова сучасних просторових мереж за допомогою визначення одразу трьох просторових координат;
- процес вимірювань і обчислень повністю автоматичний, що зменшує фактор людської похибки та підвищує швидкість обробки даних [3-4].

Таким чином, розширення можливостей супутникової геодезії покращує обсяги, швидкість, точність та темпи етапів будівництва, а використання спеціального програмного забезпечення значно полегшують роботу геодезиста. Тому геодезія – це невід'ємна частина процесу будівництва, яка забезпечить зручність і безпечність майбутньої будівлі.



#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бачишин, Б. Д. Інженерна геодезія: навч. посіб. [Електронне видання] / Б. Д. Бачишин. – Рівне : НУВГП, 2020. – 196 с.
2. Краснощок, С. Л. Дослідження технології кадастрового знімання з використанням методів супутникової геодезії [Кваліфікаційна робота] [Текст] / С. Л. Краснощок. – Дніпро : ПДАБА, 2020. – 100 с.
3. Могильний, С. Г. Супутникова геодезія: конспект лекцій [Текст] / С. Г. Могильний. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2014. – 69 с.
4. Шумаков, Ф. Т. Супутникова геодезія: конспект лекцій [Текст] / Ф. Т. Шумаков. – Харків : ХНАМГ, 2009. – 88 с.

#### ПРО МОЖЛИВИЙ ШЛЯХ ПОКРАЩЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЦІ

Крисан В. І.\*, Крисан В. В.\*\*

\*ТОВ «Геопротект», м. Дніпро

\*\*ТОВ «Геобуд», м. Дніпро

*Volodymyr Krysan, Vitalii Krysan. On a possible way of improving the design of the railway subgrade.*

**Abstract.** An overview of the condition of the railways was carried out based on public materials. An analysis of the production of soil-cement elements by jet-mixing technology is presented. The results of the use of this technology by our enterprise and the possibilities of its application in the construction and reconstruction of railway tracks are described.

Залізничний транспорт називають кровоносною системою держави. І це не перебільшення вкладу цього виду транспорту в економіку держави та забезпечення всіх галузей економіки. Розвинена сітка залізниць допомагає переміщувати вантажі в усі пори року з мінімальними ризиками на пошкодження. Це є тільки тоді, коли всі системи залізничного транспорту працюють в єдиному ритмі.

На сьогоднішній день це не зовсім так. Згідно інформації Державної служби України з безпеки на транспорті у 2017 році було зафіксовано 89 випадки надзвичайних ситуацій, з них 21 випадок на «Укрзалізниці», у 2018 році 140, з них 17 випадків на шляхах «Укрзалізниці». Кількість сходів з рейок залізничного транспорту на шляхах загального користування у 2017 році 5 сходів, у 2018 році 6 сходів. Майже 90 % транспортних пригод було у зв'язку з неякісним станом залізничних колій [1].

Так, за інформацією, наданою у відповідь на запит ЦТС «Укртрансбезпекою», протягом 2020 року та 8 місяців 2021 року сталося 235 транспортних пригод, пов'язаних із сходом з рейок рухомого складу залізничного транспорту. Причини аварій на залізничних шляхах різні, та одною суттєвою причиною сходів потягів з рейок є стан залізничних колій.

Протяжність залізничного полотна в Україні одна з найбільших в Європі, по інформації керівника «Укрзалізниці» Олександра Камишіна це понад 27 тисяч кілометрів.

По даних голови тимчасової слідчої комісії Верховної Ради Юлії Гришини на українських коліях є 32 тисячі ділянок, де обмежено швидкості, потяги йдуть з швидкістю 20...40 кілометрів на годину. Максимальна дозволена швидкість «Укрзалізниці» – 160 кілометрів на годину, тоді як в інших країнах деякі потяги курсують десятиліттями зі швидкістю понад 300 кілометрів на годину. Наразі у нас понад 11 тисяч кілометрів залізничних шляхів потребують капітального ремонту і реконструкції. Понад 2 тисячі кілометрів колій закрито через неможливість експлуатації.



В останній час дуже багато йде обговорення стану залізниць України на всіх рівнях. На засіданні уряду глава Кабінету міністрів Денис Шмигаль повідомив, що Україна розпочне етапне будівництво європейської колії, щоб з'єднати українську залізницю з ЄС. Плани амбітні, проте для їх виконання необхідно виконати аналіз причин які виникли.

Вивчаючи причини виникнення аварій та неполадок на залізничному транспорті, як нам здається, зовсім мало уваги приділено стану земляного полотна. А це є основою всього будівництва. Природа наділила нас великим різноманіттям ґрунтів, що є основою будь-якої споруди, в тім числі і залізничних колій, то стану ґрунтів потрібно приділяти більшу увагу, бо це є основа всіх споруд, в тім числі і залізниці. Як показує практика та аналіз «досягнень», ми дуже відстали навіть від країн близького зарубіжжя, причини відставання ми навчилися пояснювати дуже переконливо, та від цього ні швидкості на залізниці ні безпека не покращились, а експлуатаційні затрати не зменшилися.

Річ у тім, що при збільшенні швидкостей рейкового транспорту та навантаження на осі значно зростає і навантаження на ґрунтову основу, а нормативні документи, на основі яких іде будівництво нових ліній та реконструкція наявних не дає оцінки всіх ризиків, що виникають при цьому.

Які б ми не клали шпали, оптимізували кріплення рейок до них, та все одно вони розміщені на земляному полотні, розташованому на ґрунтовій основі. А земляне полотно до цього часу підготовлюється як і при початку будівництва залізниць.

Як і тоді, коли починалось будівництво перших залізничних колій, так і до теперішнього часу технологія кардинально не змінилась. Будівництво залізничних колій дуже затратна та трудомістка процедура. Найбільша частина робіт в ній зв'язана з розробкою і переміщенням ґрунтів для створення виїмки, а це потребує великої кількості механізмів і великий вплив на ці роботи мають кліматичні умови, бо ґрунти мають різну структуру і під впливом дощу змінюють свій стан. Найбільш вразливою від кліматичних умов є інженерна споруда «земляне полотно». Її будівництво виконується шляхом ущільнення ґрунту. Необхідно, щоб під впливом кліматичних умов та різних інших факторів ґрунти мали стабільні фізико-механічні характеристики. Це виконується шляхом ущільнення ґрунту до високої щільності, що потребує великого об'єму робіт ґрунтоущільнюючої техніки.

Свої корективи в виконання робіт вносять кліматичні умови, бо досягнути рекомендований [2] коефіцієнт ущільнення 1,03...0,95 можливо тільки при оптимальній вологості ґрунту. При дощах, які призводять до перезволоження ґрунту, укладання й ущільнення зв'язних ґрунтів потрібно припиняти до їх просихання. Згідно ДБН В.2.3-19:2018 модуль деформації ґрунту основної площадки земляного полотна ділянок з швидкістю руху більше ніж 160 км/год має складати не менше 100 МПа, менше 160 км/год – 80 МПа. Досягти такі характеристики земляного полотна дуже важко, тому виникають проблеми по реконструкції та утриманню колії. Причиною явища проникнення ґрунту земляного полотна в баластний шар є збільшення навантаження та швидкостей, динамічний вплив. Наслідком цього є значні деформації земляного полотна та зміна геометрії залізничної колії. Останнім часом при будівництві земляного полотна в якості матеріалу що підсилює ґрунт застосовуються армуючі елементи в вигляді синтетичних сіток з різних розмірів, що безумовно покращує фізико-механічні характеристики масиву, але досить затратне і не знімає проблему фактора кліматичних умов [3].

На наш погляд, про виконанні будівельних робіт найбільшу увагу заслуговують ті технології підсилення слабких ґрунтів, де воно виконується без виїмки ґрунту.

Виконавши критичний аналіз способів підсилення слабких та насипних слабоущільнених ґрунтів нами розроблена та використовується впродовж більше 10 років технологія, названа нами як **струминно-змішувальна**.

В технології, що показана на рис. 1, передбачається з допомогою спеціального обладнання виконувати розпушування ґрунту без виймання його з масиву і одночасно нагнітання в розпушений ґрунт закріплююча суміш [4, 5].

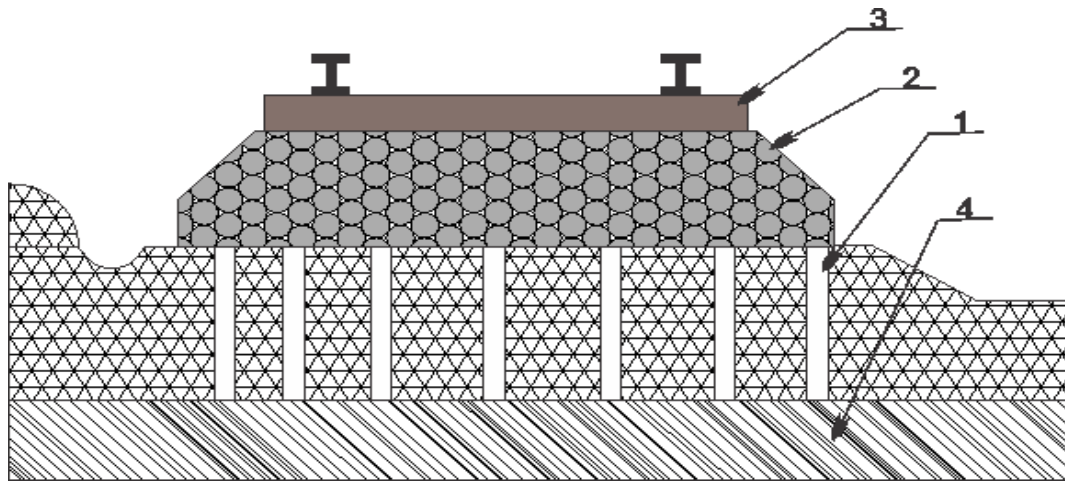


Рис. 1. Схема виконання робіт

Буровий агрегат (1) обладнаний спеціальною порожнистою штангою (3), на якій в верхній частині мається головка (4), що дозволяє створювати тиск на робочий інструмент (2) та подавати закріплюючий розчин по шлангу (5). Закріплюючий розчин готується в розмischувачеві та під тиском 0,2...0,4 МПа подається насосом до робочого інструменту. В результаті ми отримуємо ґрунтоцементний елемент циліндричної форми, що має заданий діаметр. Можливості керування міцносними характеристиками ґрунтоцементу за рахунок зміни кількості закріплюючого розчину, змінюючи діаметри та розраховуючи необхідну глибину закріпленої товщі масиву, підсилюючи елементи каркасами є можливість забезпечити надійність залізничних шляхів.

Застосування технології армування ґрунтів відкриває можливості для проведення кардинальних змін, що забезпечують збільшення безпеки на залізничному транспорті та швидкості переміщення вантажів є доволі значні. Крім того, будуть економитись за рахунок зменшення об'ємів земляних робіт по виготовлення земляного полотна та значні матеріальні ресурси та кошти. А при вирішенні переходу на безбаластну конструкцію, крім усього перерахованого, значно знизяться експлуатаційні затрати на обслуговування.

За рахунок зміни жорсткості земляного полотна вирішується проблема стику його з штучною спорудою. Практично є можливість зменшити різницю в жорсткості штучної споруди та конструкції верхньої будови колії що дозволить ліквідувати баластові поглиблення.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Публічний звіт Голови Державної служби України з безпеки на транспорті Олександра Погорілого за 2019 рік [Текст].
2. ДБН В.2.3-19:2018 Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. Норми проектування [Текст].
3. Ніколайчук, А. В. Забезпечення стійкості баластної призми на слабкій основі при модернізації залізничної колії [Текст] / А. В. Ніколайчук, І. П. Гамеляк, А. С. Литвиненко, І. В. Ляховий, Г. В. Журба // Наука та прогрес транспорту, 2011. – № 38. – С. 157-161.
4. Петренко, В. Д. Відновлення міцносних та деформативних характеристик земляного полотна та його основи армуванням ґрунтоцементними елементами [Текст] / В. Д. Петренко, О. Л. Тютькін, В. І. Крисан, В. В. Крисан // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2019. – № 16. – С. 65-74. Доступ: <https://doi.org/10.15802/bttrp2019/189681>
5. Петренко, В. Д. Досвід спорудження пальово-плитного фундаменту в складних інженерно-геологічних умовах [Текст] / В. Д. Петренко, В. І. Крисан, В. В. Крисан, І. С. Чегодаєв // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2021. – № 19. – С. 78-84. Доступ: <https://doi.org/10.15802/bttrp2021/233980>

# ТЕХНОЛОГІЯ СПОРУДЖЕННЯ ТРЬОХСКЛЕПІНЧАСТОЇ ПІЛОННОЇ СТАНЦІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ ІЗ ЗБІРНОГО ЗАЛІЗОБЕТОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ НАТМ

Купрій В. П., Старина Р. О.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Volodymyr Kuprii, Roman Staryna. Technologies for the construction of a three-vaulted metro pylon station from precast concrete using NATM.*

**Abstract.** The proposed technology for the construction of a three-vaulted pylon metro station from precast concrete with an increase in the distance between the penetration in the face and the installation of the permanent frame of the station tunnels due to the use of temporary fastening, the use of precast concrete instead of monolithic in the open part of the pylon, as well as not using reinforced concrete elements of temporary filling in the open part of the pylon gives a sufficiently large saving of money during the construction of the station.

Спорудження трьохсклепінчастих пілонних станцій з оправою із збірних залізобетонних елементів ведуть шляхом послідовної проходки трьох станційних тунелів з одночасним зведенням постійної оправи за допомогою станційних укладачів. Будівництво станції «Політехнічний інститут» Київського метрополітену дав досвід, який дозволив замінити чавунні тюбінги на залізобетонні, але застосування сучасних технологій дозволяє ще зменшити затрати при спорудженні таких станцій.

Проходка станційних тунелів на повний переріз допускається в ґрунтах, що не чинять тиску з боку лоба забою. Проходку станційних тунелів в ґрунтах, що чинять тиск з боку лоба забою, ведуть з попередньою проходкою пілот-тунелів [1].

Спорудження пілонів і проходів проводиться після того, як в заздалегідь пройдених станційних тунелях виконані роботи по підсиленню ділянок проходів. По цій схемі споруджують в більшості випадків пілонні станції з оправою із залізобетонних елементів.

В процесі проходки станційних тунелів, роботи по розробці породи і монтажу оправи виконуються на близькій відстані, що не дозволяє збільшувати швидкість проходки. В кіляця оправи частини проходу станції включають опорні залізобетонні блоки, що оформляють пілон. До розкриття проходів в межах цієї частини станції зводять спеціальні збірні або монолітні конструкції, які дозволяють розімкнути кільця в межах проходу [2].

Істотним недоліком такої схеми є висока трудомісткість робіт і низький рівень їх механізації при спорудженні опорних конструкцій гірським способом. Тому вона не набула практичного поширення, але може бути рекомендована у випадку багатопрогонових об'єднаних станцій пересадки [3].

В останні роки НАТМ (Новоавстрійський спосіб проходки тунелів) є найбільш поширеним з гірських способів. Інтенсивне поширення цього способу обумовлюється його економічністю та низькою матеріаломісткістю підземних конструкцій.

Головною особливістю НАТМ у порівнянні з іншими є використання у максимальному ступені несучої здатності навколишньої породи та залученні її в роботу в якості захисної конструкції, що захищає виробку від обвалення. Порода, закріплена належним чином тимчасовим кріпленням із анкерів, набризк-бетону та податливого арочного кріплення, перетворюється в вантажонесуче середовище і сприймає значну частину зовнішніх навантажень. Решта навантажень передається на кріплення, матеріаломісткість якого знижена у порівнянні з кріпленням, використаною при інших методах проходки.

Поєднання НАТМ з традиційним способом спорудження станційних тунелів дає змогу збільшити відстань між процесами розробки породи у забої та монтажем постійної станційної оправи збільшивши швидкість спорудження, включити в роботу породу гірського

масиву, що дозволяє зменшити товщину самої станційної оправи та використовувати елементи збірного залізобетону заводського виготовлення.

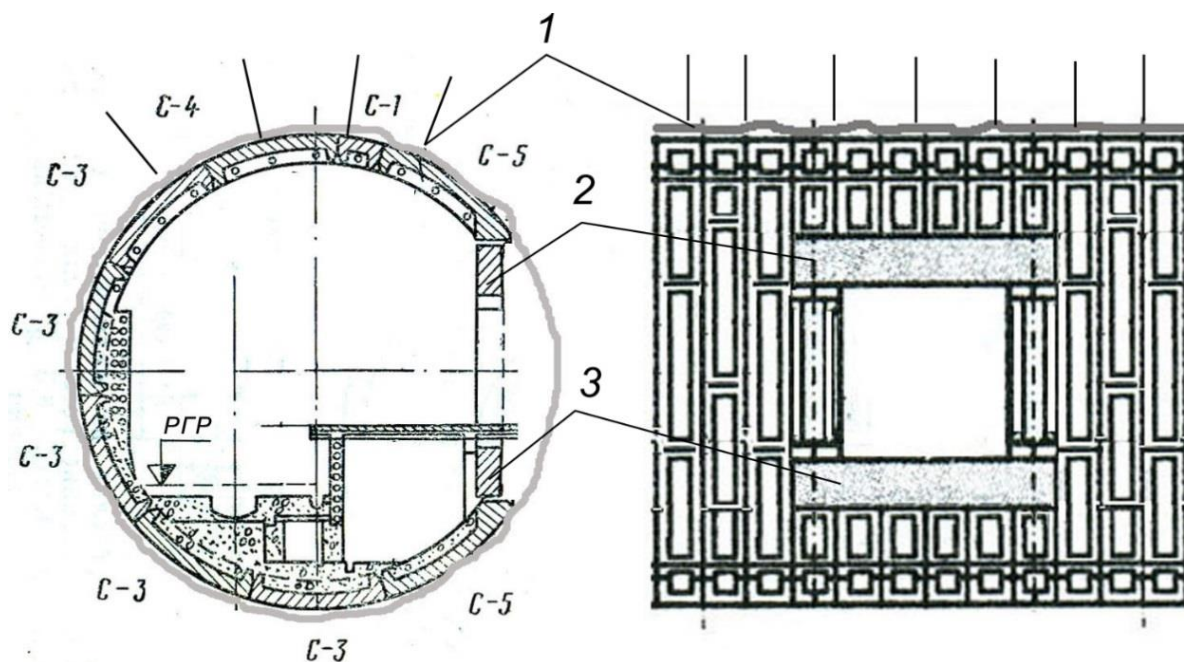


Рис. 1. Конструкція елемента станційного тунелю з проходом:  
1 – тимчасове кріплення; 2 – верхня залізобетонна балка-перемичка;  
3 – нижня залізобетонна балка-перемичка

Спосіб посилення частини проходу станції полягає в тому, що в подовжні пази, утворені фігурними опорними тубінгами, укладають збірні залізобетонні балки формуючи балочну перемичку проходів. Така перемичка дозволяє не використовувати залізобетонні елементи тимчасового заповнювання прохідної частини під час спорудження проходів.

Після спорудження бокових станційних тунелів приступають до проходки середнього станційного тунелю. При монтажі оправи цього тунелю в місці проходу фасонні опорні тубінги і залізобетонні балки, які створюють балочну перемичку, встановлюють в кільцях по обидві сторони від осі тунелю.

Запропонована технологія спорудження трьохсклепінчастої пілонної станції метрополітену зі збірного залізобетону з застосуванням NATM зі збільшенням відстані між проходкою у забої та монтажем постійної оправи станційних тунелів за рахунок використання тимчасового кріплення, використанням збірного залізобетону замість монолітного у прохідній частині пілону, а також відсутності використання залізобетонних елементів тимчасового заповнення прохідній частині пілону дає достатньо велике заощадження коштів під час спорудження станції.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айвазов, Ю. М. Проектування метрополітенів (у 3-х частинах). Навчальний посібник. Частина 2 [Текст] / Ю. М. Айвазов. – Київ : НТУ, 2009. – 216 с.
2. ДБН В.2.3-7-2003. Споруди транспорту. Метрополітени [Текст]. – Київ: Держбуд України, 2003. – 300 с.
3. Петренко, В. І. Станції метрополітену: конструкції та спорудження [Текст]: навчальний посібник / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін. – Д.: Вид-во «Нова ідеологія», 2012. – 164 с.

## МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ І КОЛІЇ НА ДІЛЯНКАХ ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ

Курган Д. М., Курган М. Б., Гусак М. А.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Dmytro Kurhan, Mykola Kurhan, Marina Husak. Modeling the interaction of rolling stock and track on sections of variable stiffness.*

**Abstract.** Railway track stiffness is one of the main parameters that determine the track and rolling stock interaction. The inelasticity of the rail base may either as a consequence of the deteriorated condition of a track or due to the structural features of a section. The main purpose of this work is to determine the characteristics of such railway track object with which it can be represented in the rolling stock models.

Жорсткість залізничної колії є одним з основних параметрів, що визначається взаємодією рухомого складу і колії. Причому, важливим є не тільки і не стільки сама величина жорсткості, скільки її одноманітність.

Нерівнопружність підрейкової основи може мати місце з двох причин: або як наслідок погіршеного стану колії, або через конструктивні особливості ділянки. В першому випадку рівнопружність встановлюється після проведення ремонтних робіт, які можуть супроводжуватися застосуванням посилюючих конструкцій [1], усуненням або послабленням дії факторів, які привели до погіршення стану. До таких факторів відноситься втрата пружності баластного шару через руйнування його часток [2], потрапляння забруднювачів [3] або недостатність ущільненості [4], збільшення навантаження вантажних поїздів [5] та швидкості руху пасажирських [6]. Другий випадок – це, як правило, короткі ділянки, зміна жорсткості яких обумовлена конструкцією: зона рейкових стиків, переїзди, штучні споруди, такі як тунелі, мости тощо.

З часом експлуатації різка зміна жорсткості приводить до інтенсивного розвитку та накопичення вертикальних деформацій на підході до такого місця. Для запобігання цього процесу можуть бути обладнані спеціальні перехідні ділянки зі змінною жорсткістю. На сьогодні існує декілька варіантів відповідних конструктивних рішень. Їх огляд та аналіз наводиться в роботах [7-9] та інших.

Існує низка задач, для розв'язку яких потрібне математичне моделювання проходження рухомого складу по такій ділянці. Для дослідження роботи рухомого складу і залізничної колії, як правило, застосовують різні математичні моделі. Основна різниця полягає в зменшенні деталізації однієї або іншої частини. Зрозуміло, що не тільки зайва спрощеність, а й зайва деталізація негативно впливає на адекватність результатів. Крім того, розширення математичної моделі потребує додаткових вихідних даних та може суттєво збільшувати вимоги до часу та характеристик обчислювального обладнання. Якщо для моделей залізничної колії застосовуються декілька принципово різних підходів, то для математичних моделей рухомого складу майже у всіх випадках базовим є обчислення систем рівнянь Лагранжа – Д'Аламбера.

Метою даної роботи є визначення характеристик об'єкту «залізнична колія», з якими вона може бути представлена в моделях рухомого складу максимально спрощено, але адекватно для ділянок змінної (перехідної) жорсткості.

Залізнична колія вводиться в модель рухомого складу як послідовність елементів, з якими взаємодіють колеса рухомого складу. Такий елемент колії буде характеризуватися приведеною масою, жорсткістю та коефіцієнтом дисипації. Ці характеристики можуть бути визначені в результаті моделювання динамічних прогинів колії в перерізі даного елемента від діючої сили. Для визначення прогинів застосована просторова модель динамічних деформацій залізничної колії на основі теорії пружності [10].

Для прикладу розглянуто перехідну ділянку перед мостом як конструкцію залізничної колії зі змінною жорсткістю. Були прийняті такі характеристики баластної колії (залізобетонні шпали, щебеневий баласт з модулем деформації 200 МПа товщиною 0,5 м, ґрунт з модулем деформації 35 МПа) відповідають роботі залізничній колії в цілому з модулем деформації 52 МПа [11]. Улаштування перехідної ділянки забезпечує майже лінійне збільшення модуля деформації колії до 62 МПа – на 25 %. При цьому в зоні безпосередньо перед мостом шар баласту складає 20 см. При товщині баласту 15 см (за рахунок подальшого збільшення товщини підсилюючого шару) загальний модуль деформації залізничної колії збільшився до 68 МПа – на 30 % у порівнянні з первинною баластною ділянкою. При застосуванні додаткових засобів (наприклад, розміщення перед земляним полотном шару посиленого баласту) вказані показники можуть бути ще покращені. Слід звертати увагу на характеристики земляного полотна, тому що зниження модуля деформації ґрунту приводить до зменшення загального модуля пружності колії. Для введення розглянутої перехідної ділянки залізничної колії в моделі рухомого складу у вигляді окремих опор встановлені їх чисельні характеристики. Так для розглянутого чисельного прикладу в межах зони зі змінним модулем деформації жорсткість такої опори по довжині ділянки приблизно буде змінюватись від 90 до 110 МН/м, а коефіцієнт дисипації – від 100 до 115 кН·с/м.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Eller, B. Review of the modern ballasted railway tracks' substructure and further investigations [Текст] / B. Eller, S. Fischer // Science and Transport Progress, 2019. – Vol. 84(6). – P. 72-85.
2. Fischer, S. Special laboratory testing method for evaluation particle breakage of railway ballast material [Текст] / S. Fischer, A. Németh // Science and Transport Progress, 2018. – Vol. 74(2). – P. 87-102.
3. Sysyn, M. Common crossing fault prediction with track based inertial measurements: statistical vs. mechanical approach [Текст] / M. Sysyn, U. Gerber, O. Nabochenko, V. Kovalchuk // Pollack Periodica, 2019. – Vol. 14(2). – P. 15-26.
4. Pshinko, O. Research of railway crashed stone use of 40–70 mm fraction [Текст] / O. Pshinko, O. Patlasov, V. Andrieiev, M. Arbuzov, O. Hubar, O. Hromova, R. Markul // Transport Means, 2018. – P. 170-178.
5. Patlasov, O. The intensity of rail failure flow [Текст] / O. Patlasov, Y. Fedorenko // MATEC Web of Conf, 2019. – Vol. 294, 03020. Доступ: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929403020>
6. Kurhan, M. Increasing the Efficiency of the Railway Operation in the Specialization of Directions for Freight and Passenger Transportation [Текст] / M. Kurhan, D. Kurhan, M. Husak, N. Hmelevska // Acta Polytechnica Hungarica, 2022. – Vol. 19(3). – P. 231-244.
7. Alkhdour, A. The Centrifugal Modeling of Reinforcement on Approaches to Railway Bridges [Текст] / A. Alkhdour, O. Tiutkin, V. Marochka, S. Boboshko // Acta Polytechnica Hungarica, 2020. – Vol. 19(3). – P. 131-142.
8. Arlaud, E. Numerical study of railway track dynamics: case of a transition zone [Текст] / E. Arlaud, S. Costa D'Aguiar, E. Balmes, G. Faussurier // Engineering Analysis with Boundary Elements, 2016. – Vol. 27. – P. 23-38.
9. Shi, C. Analysis on dynamic performance of different track transition forms using the discrete element/finite difference hybrid method [Текст] / C. Shi, C. Zhao, X. Zhang, A. Andersson // Computers and Structures, 2020. – Vol. 230, 106187. Доступ: <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2019.106187>
10. Kurhan, D. Modeling the dynamic response of railway track [Текст] / D. Kurhan, M. Kurhan // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. – Vol. 708. – Number 1, 012013. Доступ: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012013>
11. Kurhan, D. Impact of the variable stiffness section on the conditions of track and rolling stock interaction [Текст] / D. Kurhan, M. Kurhan, M. Husak // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. – Vol. 985, 012005. Доступ: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012005>



## УЛАШТУВАННЯ ДІЛЯНОК ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ У МІСЦЯХ СПОЛУЧЕННЯ МОСТА З НАСИПОМ

Курган М. Б., Лужицький О. Ф., Хмелевська Н. П.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Mykola Kurhan, Oleg Luzhitskiy, Nela Hmelevska. Device of a section of variable rigidity at the places of the connection of the railway embedding with the bridge.*

**Abstract.** An analysis of the existing methods of connecting the railway subgrade with bridges was carried out. The factors that lead to the formation of unevenness in the areas where the ballasted railway track adjoins bridges and crossings have been studied. A comparison of existing ways of providing variable stiffness is given. The advantages and disadvantages of various methods are indicated.

Проблема переходу рухомого складу від баластної конструкції верхньої будови колії на земляному полотні до залізничних мостів виявилась настільки складною, що й зараз в багатьох країнах світу досліджуються різні способи її вирішення. У зв'язку з різким підвищенням швидкостей руху поїздів досить обширні дослідження з роботи перехідних ділянок проводяться в Китаї (КЖД), Чехії (ЧД), Угорщині (МАВ), Польщі (ПКП), Україні (УЗ) тощо. В результаті роботи вчених і дослідників були запропоновані ділянки змінної жорсткості. Принцип улаштування таких ділянок полягав у поступовому збільшенні жорсткості колії при наближенні до штучної споруди. У зв'язку з різким підвищенням жорсткості колії при переході з конструкції колії на земляному полотні на безбаластне мостове полотно, в процесі експлуатації виникає геометрична нерівність типу осідання, яка в технічній літературі має назву – «передмостова яма» [1]. Виникає потреба чисельного дослідження динаміки залізничної колії в таких перехідних зонах [2].

Досвід експлуатації мостів з безбаластовим мостовим полотном на залізницях України і результати спостережень показали, що при русі поїздів виникають підвищені динамічна й вібраційна дія на колію. Верхня будова колії, земляне полотно на підходах до мостів працюють в складних умовах, що може бути причиною зниження надійності роботи залізничної колії та зменшення швидкості руху поїздів на цих ділянках. Тому виникла необхідність розширення інженерного розрахунку колії на міцність для врахування різкої зміни модуля пружності підрейкової основи при переході з баластної конструкції колії на безбаластну [3].

Збільшення нерівності впливає на динаміку взаємодії колії і рухомого складу. Причому цей вплив за рахунок поступової стабілізації коливань та перерозподілу сил між колесами візка відчутний не тільки під час розташування колеса безпосередньо в зоні нерівності, а й на певній відстані за її межами. Максимальні амплітуди такої нерівності розташовуються на початку і в кінці утворення. З часом експлуатації ділянки нерівність буде розвиватися, в тому числі по довжині колії, що призведе до виникнення «ям» за межами розташування конструкції. Такі висновки корелюються і з результатами статистичної обробки обмірів натурних нерівностей перед мостами з безбаластною конструкцією та в зоні розташування переїздів, які наведені в роботах [4-6] та інших.

На теперішній час, коли на залізницях України з'явилися ділянки з підвищеними швидкостями руху пасажирських поїздів, а також у зв'язку з тим, що підбивка шпал в перехідних зонах до штучних споруд не дозволяє в повній мірі використовувати важку колійну техніку, проблема «передмостових ям» стає досить актуальною.

Характерною рисою безбаластової колії на штучній споруді є відсутність залишкових деформацій колії, в той же час осідання колії на підходах можуть досягати значних величин. В результаті чого в зоні переходу до безбаластової колії взаємодія рухомого складу



і колії при проході через нерівність набуває ударного характеру через різку зміну величини пружної деформації рейки під вертикальним навантаженням. Така взаємодія поступово призводить до розладу підрейкової основи на баластній колії і до пошкодження самої штучної споруди. Існуючі заходи поточного утримання, що застосовуються для підтримання колії в технічно справному стані, виявляються недостатніми для забезпечення однакової пружності колії на цих ділянках.

Аналіз існуючих способів сполучення земляного полотна залізниць з мостами дозволив виділити найбільш розповсюджені групи рішень, які докладно викладені в роботі [7], а саме:

**1. Конструкція перехідної ділянки з полімерної георешітки.** У цій конструкції баласт і верхня частина насипу армуються шарами полімерної георешітки таким чином, що на довжині перехідної ділянки кількість шарів збільшується в міру наближення до устю моста. Цей тип підсилення зазвичай передбачає розташування конструкцій у верхній частині насипу, що дозволяє виконувати значно менший об'єм земляних робіт порівняно з іншими варіантами.

**2. Конструкція перехідної ділянки з залізобетонних коробів, заповнених щебенем.** Представляє собою бездонні ящики, порожнини яких засипаються баластом. Така конструкція за рахунок наявності бічних стінок забезпечує різке скорочення інтенсивності накопичення осідання баласту за рахунок запобігання його бокового розповзання.

Весь комплекс робіт із встановлення коробів (розробка котловану під короби, засипка короба щебенем, відсіпання баластної призми) здійснюється при закритому перегоні в «вікно». При роботі кранів під час встановлення коробів на двоколійній ділянці, рух по сусідній колії закривається.

**3. Улаштування бетонних і ґрунтоцементних паль.** Забезпечити безперебійний рух поїздів можна при застосуванні сучасних способів улаштування перехідних ділянок змінної жорсткості заснованих на ущільненні і армуванні основної площадки земляного полотна насипу бетонними пальями змінної довжини.

Використання ґрунтоцементних паль дозволяє суттєво зменшити непрямі витрати через довгострокову зупинку руху на перегонах, на яких виконуються роботи з підсилення, а також не потребують зайвих витрат на підсилення стінок свердловини порівняно з улаштуванням бурових паль [8]. Крім технічних переваг даного способу, спосіб має велику економічну доцільність – скорочення вартості і трудомісткості робіт.

**4. Застосування сортованих та армованих ґрунтів** – складний при улаштуванні, але найбільш вживаний у європейському будівництві метод, що включає підсилення перехідної ділянки трьома типами підсиленого ґрунту, до яких відносяться сортований ґрунт, підсилений цементом; сортований ґрунт та звичайний ґрунт насипу, ущільнений для збільшення його міцності. Даний тип підсилення потенційно дає найбільш плавний перехід від вищої жорсткості на мосту, до нижчої на насипу, що є найбільш зручним та надійним у довгостроковій перспективі.

**5. Конструкція колії змінної жорсткості на плитах.** Улаштування перехідних плит та інших конструктивних елементів викладено, наприклад, в роботі [9]. Залізобетонні плити укладаються на опорну плиту, яка одним кінцем спирається на опорний блок, що кріпиться до берегової опори за допомогою 4-х анкерів. Між плитами БМП та опорною залізобетонною балкою вкладається поліуретанова прокладка, яка виконує роль амортизатора. Під залізобетонною опорною плитою розміщується гідромембрана, яка виконує роль гідроізоляції. Щебеновий шар змінює свою товщину з нуля біля шарніру перехідного блоку до максимального значення 500 мм перед опорною плитою. Під шар щебеню вкладається геотекстиль, який має фільтруючу здатність, що обумовлена специфічною структурою матеріалу і робить практично неможливою проникнення частинок ґрунту.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Сучасні умови експлуатації залізниць України потребують підвищення експлуатаційної надійності верхньої будови колії, її стабільності по всій довжині залізниці, в тому

числі й на ділянках переходу від залізничної колії на баласті до мостів, а також прагненням до зниження обсягів робіт з поточного утримання колії.

2. Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду свідчить, що використання спеціальних перехідних конструкцій колії на підходах до мостів з безбаластним мостовим полотном і тунелів зменшує динамічні дії рухомого складу на колію, розлади елементів верхньої будови і мостових або тунельних конструкцій, а також знижує витрати на утримання колії. Для вирішення проблеми «передмостових ям» існує низка рішень, що відрізняються за типом та складністю виконання. Вибір раціональної конструкції залежить від багатьох факторів, таких як інтенсивність руху поїздів, висота і ґрунту насипу, вартість конструкцій і будівельних робіт, можливість надання «вікон» і їх термін тощо.

3. Однією з головних особливостей, з якими стикається транспортне будівництво при виникненні «передмостових ям» є відсутність чіткої нормативної бази, що регламентує шляхи їх вирішення та попередження виникнення. Вважається доцільними розширення вимоги ДБН В.2.3-19:2018, п. 10.14 «У місцях примикання земляного полотна до опор мостів необхідно проектувати сполучення, конструкції яких будуть забезпечувати стабільність конфігурації баластної призми і верхньої частини земляного полотна, а на швидкісних і залізничних лініях I та II категорій, крім того, забезпечувати поступову зміну жорсткості основи колії» з викладенням більш конкретних рекомендацій.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lindahl, M. Track Geometry for High-Speed Railways [Текст] / M. Lindahl // Department of Vehicle Engineering, Royal Institute of Technology: Stockholm, Sweden, 2001. – 160 p.

2. Arlaud, E. Numerical study of railway track dynamics: case of a transition zone [Текст] / E. Arlaud, S. Costa D'Aguiar, E. Balmes, G. Faussurier // Engineering Analysis with Boundary Elements, 2016. – Vol. 27. – P. 23-38.

3. Курган, Д. М. До вирішення задач розрахунку колії на міцність із урахуванням нерівнопружності підрейкової основи [Текст] / Д. М. Курган // Наука та прогрес транспорту, 2015. – № 1 (55). – С. 90-99. Доступ: <https://doi.org/10.15802/stp2015/38250>

4. Kurhan, D. Impact of the variable stiffness section on the conditions of track and rolling stock interaction [Текст] / D. Kurhan, M. Kurhan, M. Husak // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. – Vol. 985, 012005. Доступ: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012005>

5. Marochka, V. V. Comparative analysis of the results of modeling sections with a transitional stiffness index on approaches to bridges [Текст] / V. V. Marochka, S. H. Boboshko, O. L. Tiutkin // Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky, 2019. – Vol. 7, 6A. – P. 148-156.

6. Талавіра, Г. М. Відвід жорсткості підшпальної основи на ділянках перед штучними спорудами [Текст] / Г. М. Талавіра, А. В. Кудін // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2015. – № 7. – С. 75-80.

7. Бобошко, С. Г. Напружено-деформований стан ділянок з перехідною жорсткістю на підходах до мостів – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису [Текст]. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія. – Дніпровський національний університет залізничного транспорту, Дніпро, 2020. – 145 с.

8. Винников, Ю. Л. Набивні палі у пробитих свердловинах: досвід і перспективи застосування [Текст] / Ю. Л. Винников, І. В. Мірошніченко, М. Ф. Передерій, В. М. Передерій, П. М. Омельченко // Будівельні конструкції, 2016. – Вип. 83(2). – С. 13-20.

9. Демченко, С. М. Удосконалення технології укладання безбаластного мостового полотна на залізничних мостах [Текст] / С. М. Демченко, А. М. Курган, Г. О. Линник // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2020. – Вип. 18. – С. 58-66.

# СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ВИБОРУ ВАРІАНТУ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ АВТОДОРОЖНЬОГО МОСТУ

Мірошник В. А., Овчинников П. А.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Vitalii Miroshnyk, Pavlo Ovchynnikov. System analysis of the option choice when carrying out the capital repair of a highway bridge.*

**Abstract.** In the process of decision-making for design, reconstruction and repairments of highway bridges that are operated by Ukravtodor, it is necessary to approve the decisions with several bodies. This will lead to design and even input data corrections which may result in significant changes or even in total overhaul of bridge design if that yields greater economic efficiency and perspective development. A bridge across Adzhamka river in Kirovohrad region is considered as an example.

Під час розроблення проєктної документації на капітальний ремонт автодорожнього мосту, який розташований на автомобільних дорогах, що підпорядковуються Службі автомобільних доріг України, виникає необхідність погодження проєктних рішень на Секції 5 та Технічній раді Укравтодору.

Під час розроблення варіантів капітального ремонту мосту необхідно дотримуватися завдання на проєктування та звертати увагу на результати інженерно-геологічних та інженерно-геодезичних вишукувань, а також визначення технічного стану мосту на основі обстеження. Проаналізувавши всі вихідні дані, пропонується декілька варіантів капітального ремонту мосту, які обговорюються із зацікавленими організаціями.

Значна частина мостів, що експлуатуються, були запроектовані та побудовані під навантаження Н-30/НК-80 і менше, а фактична вантажопідйомність, з урахуванням дефектів, ще менша. Тому під час прийняття проєктних рішень постає питання підвищення пропускнуої здатності мосту відносно фактичної. Провівши аналіз пропонованих варіантів, приймаються рішення по проведенню косметичного ремонту чи підсиленню або повної заміни балок прогонових будов та опор.

В якості прикладу проєктування капітального ремонту мосту, можна привести мости на км 15+822 автомобільної дороги загального користування державного значення Т-12-05 Кропивницький – Нова Прага – Олександрія, що розташований у Кіровоградській області поблизу с. Аджамка. Міст побудований у 1970 році. Проєктні розрахункові навантаження Н30 і НК80.

Тип споруди – балкова розрізна, із збірного залізобетону. Отвір мосту перекрито за схемою  $5 \times 11,36$  м. Повна довжина мосту –  $L_{\text{п}} = 57,0$  м. Ширина проїзної частини 7,0 м плюс два тротуари по 1,0 м. Габарит забезпечує пропуск автотранспорту по двох смугах руху  $b=3,50$  м у кожному напрямку. Загальна ширина мосту – 9,0 м. Прогонові будови – балкові, розрізні із збірного залізобетону, двотаврового перерізу, з діафрагмами. Розрахункова довжина прогонової будови –  $l_{\text{р}} = 10,8$  м, повна довжина –  $l_{\text{п}} = 11,36$  м.

В прогоні 0-1 балки з каркасною арматурою індивідуального проєктування, а в прогонах 1-2, 2-3, 3-4 і 4-5 – за типовим проєктом Вип. ВТП-16 з попередньо напруженою арматурою із високоміцного дроту діаметром 5 мм. Кожна прогонова будова в поперечному напрямку складається із одинадцяти балок, встановлених на оголовках опор із середнім кроком 84 см. Між собою балки об'єднані діафрагмами. По довжині прогону встановлено п'ять діафрагм; над опорами, в четвертях та середині прогону. Діафрагми між собою об'єднані за допомогою закладних деталей у вигляді металевих пластин з омоноличуванням бетоном.

Проміжні опори мосту – залізобетонні, пальові, об'єднані поверху залізобетонною насадкою (ригелем). На опорах №№ 1 та 4 палі встановлені у два ряди (сім рядів), на опорах №№2 і 3 – в один ряд (сім паль). Палі перерізом 35×30 см. Висота залізобетонної насадки (ригеля) 40 см.

Стояни №0 і №5 – залізобетонні, пальові однорядні, об'єднані поверху залізобетонною насадкою (ригелем). Палі перерізом 35×30 см. В поперечному напрямку опора має 7 паль встановлених в один ряд. Висота залізобетонної насадки (ригеля) – 40 см, ширина – 66 см.

Експлуатаційні стани конструктивних елементів мосту за класифікаційними таблицями ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

**Експлуатаційні стани конструктивних елементів мосту**

| Група конструктивних елементів | Експлуатаційний стан      | Надійність, Pt | Характеристика безпеки, bi |
|--------------------------------|---------------------------|----------------|----------------------------|
| Мостове полотно                | 5 – непрацездатний        | 0,958351       | 1,74                       |
| Прогонова будова               | 5 – непрацездатний        | 0,958351       | 1,74                       |
| Ригелі опор                    | 4 – обмежено працездатний | 0,979771       | 2,05                       |
| Стійки (палі) опор             | 4 – обмежено працездатний | 0,979771       | 2,05                       |
| Фундаменти опор                | 4 – обмежено працездатний | 0,979771       | 2,05                       |
| Підходи                        | 4 – обмежено працездатний | 0,979771       | 2,05                       |

Проаналізувавши всі вихідні дані та результати технічного стану мосту, на погодження, було запропоновано чотири варіанти капітального ремонту мосту.

Склад робіт при проведенні капітального ремонту мосту:

- 1) ремонт проміжних опор №1 та №4;
- 2) влаштування нового ригеля на опорах №0, №2, №3, №5, підсилення стійок на опорах №2 та №3;
- 3) заміна балок прогонових будов на нові індивідуальної конструкції;
- 4) встановлення опорних частин типу ГАОЧ 200×300×52 мм під балки прогонових будов;
- 5) монолітна залізобетонна розподільча (об'єднуюча) плита проїзної частини температуронерозрізна;
- 6) монолітні пішохідні тротуари шириною прохідної частини 1,8 м;
- 7) бар'єрне огороження проїзної частини висотою 0,9 м;
- 8) перильне огороження склопластикове з додатковим поручнем для МГН;
- 9) гідроізоляція прогонових будов напілювальна, загальною товщиною до 5 мм;
- 10) деформаційні шви сучасні водонепроникні модульного типу D80;
- 11) дорожній одяг – двошарове асфальтобетонне покриття загальною товщиною 110 мм.

Різниця між варіантами була у балках прогонових будов:

- Варіант №1 – попередньо напружені, таврові, довжиною 11,36 м, висотою 0,85 м з використанням опалубки балок за т.п. серії т.к. 3.503.1-81 випуск 7-1, інв. №100/2 «Союздорпроект»;
- Варіант №2 – попередньо напружені, П-подібні довжиною 11,36 м, висотою 0,85 м з використанням опалубки балок за т.п. ВСК 31-87;
- Варіант №3 – попередньо напружені, І-подібного перетину, довжиною 11,36 м, висотою 0,9 м з використанням опалубки балок типу «3 Bet – 90»;
- Варіант №4 – попередньо напружені, І-подібного перетину, довжиною 11,36 м, висотою 0,9 м з використанням опалубки балок Б1200.100.40.К «ЗАО Мостройкомплект».

Проектне навантаження залишали без змін Н30/НК80.

Провівши техніко-економічні порівняння, варіант №1 був рекомендований та затверджений на засіданні Секції 5 «Проектування автомобільних доріг та мостів» із доопрацюванням. Було рекомендовано збільшити проектне навантаження на міст до А15/НК100.

Провівши всі відповідні розрахунки, необхідно було виконати такі роботи:

- посилення опор №№0 і 5 шляхом забивання додаткового ряду паль квадратного перерізу розміром 35×35 см та влаштування нового монолітного залізобетонного ригеля розміром 1,375×0,4×10,2 м;
- посилення фундаментів опор №№ 1, 2, 3 і 4 шляхом добивання двох додаткових рядів паль квадратного перерізу розміром 35×35 см з обох сторін ззовні від існуючих рядів паль і об'єднання їх залізобетонним ростверком;
- перевлаштування надземної частини опор №№ 1, 2, 3 і 4 шляхом влаштування двох залізобетонних стовпів діаметром 1,2 м на залізобетонному ростверку з відстанню між осями – 6 м. Поверху стовпи об'єднуються залізобетонним ригелем з консолями змінної висоти довжиною 1,5 м;
- заміна балок прогонових будов на нові індивідуальної конструкції, попередньо напружені, таврові, довжиною 11,36 м, висотою 0,93 м з використанням опалубки балок за т.п. серії т.к. 3.503.1-81 випуск 7-1, інв. №100/2 «Союздорпроект»;
- інші роботи залишилися без змін.

Таким чином, провівши капітальний ремонт мосту, було збільшено проектний строк служби його до 80 років, проектне навантаження до А15/НК100, хоч і витратили більше коштів, чим за першим варіантом, але коефіцієнт економічної ефективності кращий у доопрацьованого варіанту.

## **ВИГОТОВЛЕННЯ ЦЕМЕНТОГРУНТОВИХ ПАЛЬ ПІД ЧАС УЛАШТУВАННЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ФУНДАМЕНТІВ**

**Мішук К. М.\*, Радкевич А. В.\*\***

\*Запорізький національний університет, м. Запоріжжя

\*\*Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Kateryna Mishuk, Anatolii Radkevych. Manufacturing of cement soil piles during the establishment and reconstruction of foundations.*

**Abstract.** Theses outline the basics of manufacturing cement-soil piles during the establishment and reconstruction of foundations. It is proposed to manufacture piles, which includes pre-drilling a well without removing the soil with a drill rod with a cavity and equipped with opening knives or injection channels.

В традиційних технологіях реконструкції фундаментів палі готують в попередньо розроблених свердловинах без винесення ґрунту на поверхню та змішуванням залишеного та додатково зрізаного з поверхні свердловини із цементною пастою, ущільненням утвореної суміші і формуванням цементогрунтової палі в новому збільшеному об'ємі свердловини.

Під час проведення робіт виявлено наступні недоліки існуючих технологій виготовлення цементогрунтових паль, до яких слід віднести відсутність способу контролю достатньої кількості цементної пульпи і ступеню однорідності та ущільнення утвореної суміші в окремих ділянках і недостатня міцність сформованої палі в результаті неоднорідності структури, понижені водостійкість та довговічність, унеможливлення зміцнення ґрунтів контактної зони поверхні свердловини постійним руйнуванням, обертаючими ножами, та необхідність виготовлення додаткових паль.

Для вирішення вищезазначеної проблеми пропонується виготовлення паль, який включає попереднє вибурювання свердловини без винесення ґрунту буровою штангою з порожниною та обладнаною розкриваючими ножами або каналами для нагнітання і утворення високошвидкісних струменів цементної суспензії, води, стислого повітря для додаткового розширення свердловини шляхом різання з стінок свердловини ґрунту та послідовного його залишення і замішування з цементною суспензією під час зворотного обертання і піднімання бурової штанги з її періодичними зупинками та безперервним нагнітанням цементної суспензії, дозованим нагнітанням цементної суспензії під час зупинки бурової штанги для наповнення і ущільнення ґрунту та насичення прилеглих шарів ґрунту.

Згідно з корисною моделлю на спосіб винаходу, як модифіковану цементну суспензію використовують цементну основу та добавку модифікаторів. Як пластифікуючу мінеральну добавку використовують ультрадисперсний обезводнений шлам нейтралізованих травильних розчинів в кількості 8...10 %. Як гідрофобну добавку використовують милонафт в кількості 0,5...1,0 %.

Для отримання модифікованої цементної суспензії в бетонозмішувач завантажують 50...60 % розрахункової кількості води замішування, додають модифікуючі компоненти, перемішують протягом 4...5 хв, завантажують розраховану кількість цементу, перемішують 3...4 хв, додають решту води і знову перемішують 3...4 хв.

В лабораторних умовах було виготовлено і досліджено 36 зразків цементоґрунту із вмістом 15, 25, 30 % модифікованого портландцементу в суміші з глиною, суглинком та супіском як найбільш поширеними складовими ґрунтів основ. В таблиці 1 наведені склади виготовлених зразків та результати їхнього випробування.

Таблиця 1

**Міцність зразків цементоґрунту  
в залежності від вмісту модифікованого цементу**

| Вид ґрунту | Вміст цементу, %, по масі ґрунту | Міцність при стиску, МПа |               |
|------------|----------------------------------|--------------------------|---------------|
|            |                                  | Без ущільнення           | З ущільненням |
| Глина      | 15                               | 8                        | 12            |
|            | 25                               | 12                       | 15            |
|            | 30                               | 20                       | 26            |
| Суглинок   | 15                               | 8                        | 14            |
|            | 25                               | 13                       | 16            |
|            | 30                               | 20                       | 28            |
| Супісок    | 15                               | 12                       | 15            |
|            | 25                               | 18                       | 22            |
|            | 35                               | 24                       | 32            |

Оцінювання результатів дослідження показало, що спрямованість способу виготовлення паль з метою підвищення ефективності, дозволяє збільшити міцність майже в два рази як за рахунок підвищення ступеню насичення утвореної суміші цементом, так і додатково ущільнення. Насичення цементом ґрунтобетону як матеріалу для виготовлення паль та його ущільнення досягається за рахунок безперервного ін'єктування цементної суспензії в цементно-ґрунтову суміш та періодичної зупинки зворотного ходу бурової штанги для максимально можливого впровадження цементної суспензії і ущільнення ґрунту в шарах утвореної суміші під різальними ножами або соплами, формуючими високошвидкісні струмені що ріжуть ґрунт та змішують з цементною пастою. При цьому тривалість процесу насичення та ущільнення визначається моментом зупинки надходження цементної суспензії в утворену свердловину.

## ПРОБЛЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ ПІД ЧАС / ПІСЛЯ ВІЙНИ

Нетеса А. М., Яковлєв С. О.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Andrii Netesa, Serhii Yakovliev. Problems of restoring the transport infrastructure of Ukraine during / after the war.*

**Abstract.** As a result of the Russian invasion, about 350 bridges (road and railway) were damaged or destroyed in Ukraine. Ukraine cannot wait for the end of hostilities, so it is necessary to restore the infrastructure of the state right now. Solving this task is not possible without the use of modern special construction equipment.

За даними Міністерство інфраструктури України внаслідок російського вторгнення в Україні пошкоджено або зруйновано близько 300 автомобільних і 50 залізничних мостів.

За підрахунками фахівців для повного відновлення інфраструктури потрібно два роки з моменту закінчення бойових дій, але Україна не може чекати на їх закінчення, тому вже зараз потрібно відновлювати інфраструктуру (відновлення України після війни, яку розв'язала РФ, відбуватиметься в три етапи відповідно до плану U-24, що розробила команда Офісу Президента України та Уряду України, перший етап вже йде зараз – будівництво почали, не чекаючи закінчення бойових дій – етап № 1. Оперативне відновлення під час ведення бойових дій) [1]. Це дозволить запустити економіку.

Вирішуючи завдання будівництва, ремонту, відновлення штучних споруд [2-4] у найкоротші терміни, будівельні організації змушені одночасно з іншими проблемами одночасно продумати питання використання сучасної будівельної техніки як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва, наприклад: швидке підрізання паль (обрубкування оголовка палі) при облаштуванні ростверку (основне завдання ростверку полягає в рівномірному розподілі маси споруди по фундаментальній опорі, також він сприяє значному збільшенню загальної міцності та стійкості пального поля).

Вирішувати цю проблему з використанням ручного інструменту (кувалда, зубило), у тому числі й механізованого ручного інструменту (пневмобійні молотки, електричні дискові пили та інше) при великих обсягах робіт не продуктивно.

Так, за зміну за допомогою ручного способу зрубання оголовків паль можна обробити до 100 штук паль квадратного перерізу вартість зрубки близько 200 грн. (але найчастіше ціна розраховується індивідуально та залежить від багатьох параметрів), ті ж роботи з використанням засобів механізації від 120 грн.

Фахівець здійснює оцінку складності, складає перелік та обсяг необхідних робіт. За результатами огляду вибирається найбільш оптимальний спосіб обрубкування оголовка паль: вручну або за допомогою техніки.

Одне безумовно – виконання цих робіт вручну вимагає багато часу і не відрізняється високою якістю, використання будівельної спеціальної техніки тягне за собою значне скорочення часу виконання робіт (достатньо порівняти технічні характеристики машин та ручної роботи), більш якісне їх виконання. Для досягнення цієї мети очікується, що будівельні організації значно вкладатимуться у придбання сучасної будівельної техніки, спираючись на успіх у розвитку технологій за останні кілька років. Так, наприклад – будучи однією з основних тенденцій у будівництві на даний момент, екзоскелети, за умови їх широкого використання, допоможуть підвищити безпеку на будмайданчиках і дозволять скоротити витрати за рахунок зменшення необхідної кількості робітників. За даними аналітичної компанії ABI Research, очікується, що у 2025 році буде продано 2,6 млн. таких техніч-



них костюмів. Для порівняння, обсяг продажу екзоскелетів-роботів у 2021 році становив 6000 одиниць.

Таким чином, використання спеціальної будівельної техніки (універсальну та спеціалізовану), що призначена для будівництва, ремонту, відновлення штучних споруд на транспорті – це питання сьогодення та майбутнього (з огляду на обстановку та сучасні вимоги до будівництва та відновлення штучних споруд, модернізацію стандартів згідно з Державною концепцією адаптації нормативної бази України до нормативів Європейського Союзу).

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. План економічного відновлення України U-24 (команда Офісу Президента України та Уряду України) [Текст].
2. ДБН В.2.3-6:2016 Мости та труби. Обстеження і випробування [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. – 11 с.
3. ДСТУ Б Д.1.1-1:2013 Правила визначення вартості будівництва [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. – 93 с.
4. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 72 с.

#### ПРОБЛЕМИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ТРУДОВИМИ РЕСУРСАМИ БУДІВЕЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ

**Нікіфорова Н. А., Косячевська С. М.**

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Nataliia Nikiforova, Svitlana Kosiachevska. Problems of economic efficiency of managing labor resources of construction organizations.*

**Abstract.** Processes of personnel formation and management of construction organizations of Ukraine were studied. The requirements for the qualification of workers who perform construction and installation work are defined. The composition of costs of operational activities of the construction organization. Issues of formation and ways of reducing the cost of construction and assembly work are considered.

Дослідження процесів формування та управління персоналом будівельних організацій проводився на основі робіт як іноземних, так і українських вчених [1-4], які мають єдину концепцію, але різний підхід до стратегічних рішень цих питань. Основою для вирішення задач мотивації, кадрової підготовки робітників на будівельному майданчику визначає специфіка будівельно-монтажних процесів, особливо при впровадженні нових технологій. Ці питання потребують подальшого вивчення та прийняття оптимальних рішень щодо процесів управління персоналом.

Стратегією регіонального розвитку Дніпропетровської області на період до 2027 року, затвердженою обласною радою у 2020 р. визначено стратегічною ціллю забезпечення якісних умов життя та поставлено операційною ціллю розвиток інфраструктури регіону, благоустрій територій, а саме розвиток житлового будівництва, благоустрій населених пунктів (освітлення, дороги тощо), розвиток інфраструктури територій. А разом з цим і розвиток людського потенціалу, операційною ціллю якого є формування кадрового потенціалу. А одним із стратегічних напрямів розвитку міста Дніпра, визначеного Стратегією Дніпра 2030, є розвиток кластера муніципальних рішень та будівництва (Програма розвитку кластера муніципальних рішень та будівництва). Можливостями для міста Дніпра в будівельній галузі визначено: застосування нових технологій (матеріали, ремонт, будівництво, об-

слуговування доріг); програми на національному або регіональному рівні – будівництво метро, аеропорту. В той же час, у сучасних умовах зростання обсягів будівельно-монтажних робіт, у тому числі в місті Дніпро, спостерігається нестача вузькоспеціалізованих працівників робітничих професій, зниження рівня їх кваліфікації.

В сучасних умовах економічної нестабільності, з одного боку, та динамічним розвитком технологічних будівельних процесів з іншого, якість будівництва визначається, в тому числі, якістю виконання будівельно-монтажних робіт, тобто знаннями та умінням виконавців – робітників-будівельників на будівельному майданчику. Вимоги до кваліфікації робітників, які виконують будівельно-монтажні роботи в сучасних умовах широкого впровадження нових технологій, нового устаткування, машин і механізмів, які мають складні технічні характеристики та програмне управління, визначаються Довідником кваліфікаційних характеристик професій працівників (Випуск 64) [5].

Ефективними заходами управління трудовими ресурсами в будівельній галузі є скорочення термінів часу будівництва, що приводить до економії коштів від зниження витрат робочого часу та економії фонду заробітної плати, а також випуск якісної рентабельної продукції та зниження її собівартості за рахунок скорочення питомих витрат на одиницю продукції, що дає додатковий економічний ефект.

Важливою функцією управління будівельним виробництвом є планування собівартості будівельно-монтажних робіт, метою якого є визначення витрат, необхідних для виконання будівельно-монтажних робіт у встановлені терміни за умови раціонального використання матеріалів, робочої сили, будівельних та інших виробничих ресурсів, дотримання правил технічної експлуатації будівельних машин і механізмів, а також дотримання безпечних умов праці; організація внутрішньогосподарського розрахунку та управлінського обліку у відокремлених виробничих підрозділах (структурних одиницях) будівельної організації [6].

Таким чином, при вирішенні питань економічної ефективності управління трудовими ресурсами будівельних організацій, які визначають розглядом співвідношення між економічним результатом та витратами праці, необхідно вирішувати нагальні проблеми як соціального аспекту умов праці робітників на будівельному майданчику, так і економічного, що буде призводити до якості та підвищення економічної ефективності спорудження будівельних об'єктів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Український ринок праці: імперативи та можливості змін : колективна монографія [Текст] / за наук. ред. д.е.н., проф. І. Л. Петрової, к.е.н. В. В. Близнюк ; НАН України, ДУ «Ін-т екон. та прогнозув. НАН України». – Електрон. дані. – К., 2018. – 356 с. – Режим доступу: <http://ief.org.ua/docs/mg/306.pdf>
2. Петрова, І. Л. Інноваційний сегмент ринку праці: оцінка тенденцій та перспектив [Текст] / І. Л. Петрова // Демографія та соціальна економіка, 2018. – № 1 (32). – С. 166-180.
3. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences [Текст]. – London : Pergamon Press, Elsevier Ltd, 2004.
4. Дегтяр, О. А. Конспект лекцій з дисципліни «Управління трудовими ресурсами» (для студентів магістратури спеціальності 281 – Публічне управління та адміністрування) [Текст] / О. А. Дегтяр. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 45 с.
5. Довідник кваліфікаційних характеристик професій працівників. Випуск 64 [Текст]. Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України Міністерства праці та соціальної політики України, Київ, 2001. – 481 с.
6. Методичні рекомендації з формування собівартості будівельно-монтажних робіт, погоджені з Міністерством фінансів України та схвалені рішенням науково-технічної ради Мінрегіонбуду від 23.12.2010 № 191, Наказ Мінрегіонбуду від 31 грудня 2010 року № 573 [Текст].

# ВИКОРИСТАННЯ ІНВЕНТАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЗРУЙНОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Остапенко І. С.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Ihor Ostapenko. Use of inventory structures of railway bridges for the restoration of destroyed objects of the national transport infrastructure.*

**Abstract.** Restoration of artificial structures is an integral part of the general complex of works on the restoration of railways destroyed as a result of hostilities. In order to shorten the bridge restoration period, there is the application and maximum use of ready-made inventory bridge structures for restoration works (temporary restoration). Conducted theoretical studies proved that prefab and collapsible span structures designed in 1962 can be installed scientifically on the lines of Ukrzaliznytsia, but with a preliminary survey of transport facilities.

Відновлення штучних споруд є складовою частиною загального комплексу робіт з відновлення залізниць, зруйнованих внаслідок ведення бойових дій. З метою скорочення термінів відновлення мостів є застосування і максимальне використання для відновлюваних робіт (тимчасове відновлення) готових інвентарних мостових конструкцій. До таких відносяться збірно-розбірні прогонові будови (майно СРП) з їздою попереху прогоном 18; 23-33,6 м.

Відновлені споруди повинні відповідати нормативним критеріям щодо їх міцності і стійкості, а деформації, які виникають в них, такими, що не порушують нормальні умови експлуатації. Перевірка міцності, стійкості і жорсткості здійснюється розрахунками, що враховують можливі навантаження і дії, яким піддаються конструкції даної споруди в процесі експлуатації.

Враховуючи те, що збірно-розбірні прогонові будови (майно СРП) виготовлялися відповідно норм СН-200-62 1962 року і були розраховані під навантаження Н6 і тиском на вісь 210 кН з розподільчим навантаженням 60 кН/м, проблемними питаннями постали надійність і безпечність застосування таких конструкцій у відновленні мостів, а також відповідність їх нормам сучасного проєктування під навантаження С14.

На сучасному етапі для залізобетонних та металевих прогонових будов згідно ДБН В.2.3-22:2009-2009 року проєктування залізничних мостів здійснюється під навантаження С14, проєктний строк служби моста встановлено 100 років. Норми 1947 року (ТУПМ-47) та 1962 року (СН-200-62) встановлювали його на 40 та 20 років менше відповідно. Тобто для використання в сучасних умовах можуть розглядатись прогонові будови, запроєктовані не раніше 1947 року (їх строк експлуатації 70 і менше років).

В 1984 році на заміну СН-200-62 були введені нові норми, які значно підвищували інтенсивність навантаження з урахуванням тенденції розвитку промисловості і транспорту, які були закладені на період до 2000 року. Ці навантаження значно не відрізнялися від європейських 1967 року, враховуючи те, що темпи росту осьових і вагонних навантажень знизились. Якщо ж порівняти вимоги норм щодо статичного осьового навантаження, то вимоги для різних країн значно не відрізняються. В той же час саме нормами СНиП 2.05.03-84 1984 року встановлено проєктування мостів під статичне осьове навантаження на 20...30 % і більше навіть у зрівнянні з країнами Євросоюзу.

Відповідно до норми СН-200-62 1962 року навантаження задавалося емпіричною формулою, в якій враховувався локомотив та вагонне навантаження інтенсивністю 140 кН/м, при цьому тиск від локомотивів приймається як рівномірно-розподілений, що тоді було недоліком цих норм:

$$k = \left( 10 + \frac{10,79}{e^{0,04\lambda}} + \frac{43,15}{\lambda^2} \right) \left( 1 - \frac{\alpha}{4} \right) K \text{ при } 1,5 \leq \lambda \leq 50 \text{ м } (0 \leq \alpha \leq 0,5).$$

В 1967 році Міжнародна спілка залізничників запропонувала єдині для Європейських країн норми, які передбачали на перспективу приймати тиск від осі локомотива 230...240 кН, а розподілене навантаження в діапазоні 80...100 кН/м. Навантаження типу С14, яке враховується при новому проєктуванні згідно з нормами 1984 року, завищено до 50 % у зрівнянні з рухомих складом, що експлуатується не тільки в Україні та інших країнах. В той час як навантаження від рухомого складу з 1962 року збільшилось не більше ніж на 10...12 %, проєктування прогонових будов мостів здійснюється під навантаження значно більше.

На теперішній час Укрзалізниця експлуатує тепловози, електровози та вагони власного виробництва та країн Євросоюзу і США, які за тиском на вісь не відрізняються від Європейських та країн бувшого СРСР (235...250 кН). Оскільки нас інтересує тільки один параметр (тиск від осі рухомого складу), то з переліку можна визначити, що осьове навантаження від локомотивів та вагонів зараз мало відрізняється:

- локомотиви: осьове – 300 кН, розподілене – 127 кН/м;
- вагони: осьове – 300 кН, розподілене – 140 кН/м;
- транспортери: осьове – 330 кН, розподілене – 15,1 кН/м.

Таким чином, вагони та транспортери дають більше навантаження. І у цьому плані норми 1962 року мають значно вищий запас. При такій незначній різниці між осьовим навантаженням від вагонів та локомотивів кращою буде дуже проста схема завантаження всієї лінії впливу рівномірно-розподіленим навантаженням.

Схеми навантажень для розрахунку мостів і стисла характеристика позитивних та негативних сторін відносних величин нормативних навантажень у зрівнянні з перспективним С14 наведені на рис. 1.

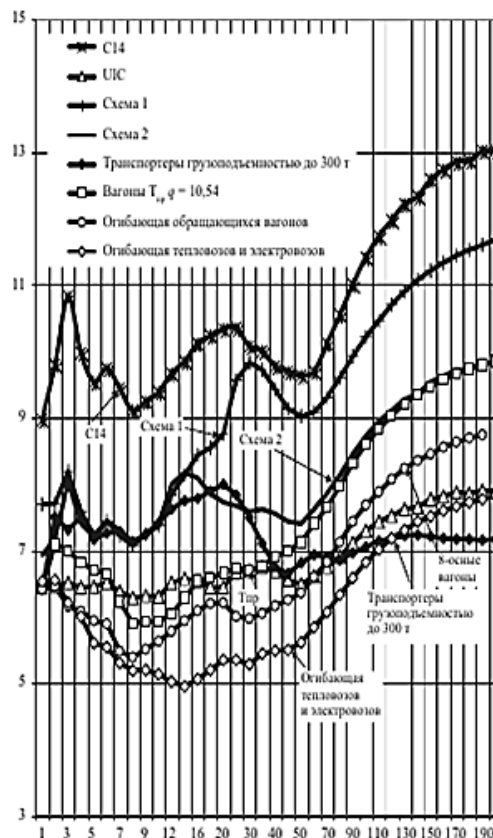


Рис. 1. Відносні величини нормативних навантажень у зрівнянні з перспективним С14

Верхня крива на рис. 1 характеризує нові норми навантаження С14. Підйом навантаження починається після С11, що відповідає навантаженню прогонових будов довжиною 90 м, в той час як максимальні довжини залізобетонних прогонових будов – 33,6 м, металевих з суцільною стінкою – 33,6 м, сталезалізобетонних – до 65,8 м, що відповідає навантаженню С10...С11.

Таким чином, проведені теоретичні дослідження довели, що збірно-розбірні прогонові будови (майно СРП) 18; 23-33,6 м проєктування 1962 року науково обґрунтовано можна встановлювати на лініях Укрзалізниці, але з попереднім обстеженням транспортних споруд.

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЗАСАД ЕКОЛОГІЧНОГО БУДІВНИЦТВА

Пастухова С. В., Арутюнян І. А.

Запорізький національний університет, м. Запоріжжя

*Susanna Pastukhova, Irina Arutiunian. Analysis of the basic principles of ecological building.*

**Abstract.** Green building involves designing a house in such a way that it meets the ecologically clean performance of works, as well as positive interactions in the end. The main principles of ecological construction are analyzed.

Промислова діяльність, від якої залежить наша сучасна цивілізація, за останні 150 років підвищила рівень атмосферного вуглекислого газу повітря. На жаль, значну роль у зміні клімату відіграла така сфера, як будівництво.

Екологічне будівництво включає проєктування будинку таким чином, що воно відповідає екологічно чистому процесу спорудження, а також позитивній взаємодії в кінцевому рахунку, призводячи до зменшення негативних наслідків і тим самим робить ваш будинок безпечним для навколишнього середовища.

Екологічні будівлі включають усі аспекти, що стосуються флори та фауни. Іншою метою зеленого будівництва є збереження або підвищення якості будівель та комфорту їхнього внутрішнього середовища.

Екологічне будівництво або зелене будівництво (*Green construction*) – це практика будівництва та експлуатації будівель, метою якої є зниження рівня споживання енергетичних та матеріальних ресурсів протягом усього життєвого циклу будівлі від вибору ділянки до проєктування, будівництва, експлуатації, ремонту та знесення [1].

Основні засади екологічного будівництва [2]:

- чисті матеріали для будівництва;
- альтернативні енергозберігаючі джерела (теплові насоси, сонячні колектори, системи опалення з комбінованими безвідходними циклами опалення; системи опалення та охолодження будівель за допомогою випромінюючих поверхонь, що працюють за принципом віддачі тепла або холоду, безпосередньо людині без змін температури повітря);
- енергозбереження шляхом утеплення стін будівлі;
- внутрішнє оздоблення будівель та споруд природними матеріалами (глиняна штукатурка, деревина та інші);
- створення припливно-витяжної вентиляції, що забезпечує будівлю чистим свіжим повітрям без ефекту протягу;
- раціональне проєктування споруди з урахуванням максимальної пропускної спроможності тепла та світла певними поверхнями, компактні форми.

У великому комплексі екологічних наук одне з провідних місць належить екологічним проблемам містобудування, оскільки головним завданням містобудування та формування будівництва житла є гармонізація природного, техногенного та соціального середовищ

у містах [3]. Вважається, що основним завданням у містобудуванні майбутнього має бути вирішення екологічних проблем. Визначний український містобудівник І. О. Фомін зазначав, що у сучасних умовах екологія стає однією з головних критеріїв оцінки всіх видів містобудівної діяльності.

Екологічний досвід людства у сфері формування міст і будинків – це велике історичне багатство, що вимагає вивчення, адже без вивчення історичного досвіду формування людьми адекватного собі екологічного довкілля не можна говорити про раціональний розвиток архітектурної ситуації у майбутньому, і навіть об'єктивному аналізі спадщини минулого. Проблема, яку ми досліджуємо, охоплює дуже широкий обсяг наукового матеріалу щодо різних галузей знань, включаючи виробництво будівельних матеріалів, проведення будівельних робіт, експлуатацію об'єкта та знесення.

В останні кілька десятиліть було впроваджено найкращі технічні досягнення, необхідні для створення кліматозберігаючих будівель та споруд.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Зелене будівництво. Будівлі житлові і суспільні. Рейтингова система оцінки стійкості середовища мешкання [Текст]. СТО НОСТРОЙ 2.35.4, 2011, – М.: НП «АВОК», ВАТ «Центр проектної продукції в будівництві», 2011.
2. Офіційний сайт проекту з розвитку екологічного будівництва в Україні «Толока-Інфо» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://toloka.info>
3. ДБН Б.2.2-12:2018 Планування і забудова територій [Текст] // Мінрегіон України. – Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2018. – 179 с.

#### РЕЗУЛЬТАТИ ЛОТКОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ПІДСИЛЕНОГО МІКРОПАЛЕЮ СТРІЧКОВОГО ФУНДАМЕНТУ

**Петренко В. Д., Андрєєв В. С., Харченко В. В.**

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Volodymyr Petrenko, Volodymyr Andrieiev, Vitalii Kharchenko. Results of tray experiments of the strip foundation reinforced with micropile.*

**Abstract.** The text analyzes the advantages and disadvantages of numerical analysis and experimental research of foundations. It was determined that the complex analysis is the most adequate for the problem being solved. The conditions of the experimental study in the tray are given. The results of a tray study of the strip foundation reinforced with micropile are provided, which are compared with the results of mathematical modeling.

В останні два десятиріччя XXI століття поява спеціалізованих програмних комплексів, що базувалися на чисельних методах, майже повністю змінила підхід до дослідження основ та фундаментів. Метод скінченних елементів, як чисельний метод, що максимально втілювався в програмних комплексах, відкрив можливість вирішення ряду задач, які доволі складно розв'язувалися аналітичними методами. Препроцесори візуалізації, модулі завдання характеристик основ та фундаментів та постпроцесори аналізу результатів значно спростили дослідження фундаментів різних видів та основ, складених різноманітними ґрунтами.

На даний час доля досліджень за допомогою програмних комплексів складає приблизно 85...90 % від загального обсягу науково-технічних задач, пов'язаних із врахуванням взаємодії фундаменту з ґрунтовою основою. Задачі, що характеризуються наявністю варіації деформаційних характеристик, ефектів відриву фундаменту від основи та впливу шаруватих масивів, в повному обсязі змогли бути вирішені лише після появи комп'ютерних програм [1]. Однак, не можна вважати панацеєю застосування чисельного аналізу, оскільки

деякі, характерні лише для нього помилки частіш усього зводять нанівець усі переваги комп'ютерного моделювання.

Необхідно відмітити, що створення комп'ютерних моделей фундаментів різного типу, що взаємодіють з ґрунтовою основою, повинно завжди корелювати з теоретичними засадами розрахунку фундаментів. Якщо математичне моделювання з допомогою програмного комплексу відривається від вже отриманого раніше досвіду, то похибки навіть під час введення граничних умов скінченно-елементної моделі може спотворити результати дослідження [1]. Тому найбільш логічним та адекватним задачі, що розв'язується в галузі фундаментобудування, є комплексний теоретико-чисельний підхід.

Такий підхід поєднує в собі аналітичні побудови, що вже перевірені в багатьох наукових працях, та методики чисельного аналізу, які дозволяють пришвидшити процес отримання результатів. Наприклад, методика варіювання характеристик, що характерна для математичного моделювання методом скінченних елементів, на відміну від аналітичного підходу, дозволяє отримати значно більші масиви даних про напружено-деформований стан фундаменту, що взаємодіє з ґрунтовою основою.

Такий комплексний теоретико-чисельний підхід можна підсилити третім напрямком, а саме експериментальним. Останнім часом проведення натурних або лабораторних експериментів, по причині їх значної вартості, практично витіснені з наукового простору досліджень фундаментів та основ. Однак проведення експериментів надає результати, що верифікують і аналітичні побудови, і результати чисельного моделювання. Існують такі напрямки верифікації. Прямий хід потребує проведення низки експериментів за подальшою їхньою імітацією в комп'ютерному середовищі програмного комплексу. Зворотній хід дещо простіший та менш витратний: спочатку фундамент з основою моделюється в спеціалізованому комплексі, визначаються особливості їхньої взаємодії, характерні зміни напружень та деформацій при зміні параметрів, а потім проводиться ряд експериментів.

В рамках цього дослідження проведено ряд випробувань стрічкового фундаменту, підсиленого мікропаллями, які виготовляються на основі бурозмішувальної технології [2]. Випробування проводилися в плоскому лотку Галузевої науково-дослідної лабораторії механіки ґрунтів УДУНТУ після виконання комплексу математичного моделювання. В ньому були створені скінченно-елементні моделі, в яких було відтворено стрічковий фундамент, ґрунтову основу та мікропалью. В ході подібних варіантних чисельних розрахунків було з'ясовано, що вплив збільшення модуля пружності мікропалі для слабких основ (модуль пружності 5...10 МПа) не є визначальним [3]. Тому було проведено варіювання геометричних параметрів мікропалей, створених на основі бурозмішувальної технології.

В лотку були змодельовані три випадки мікропалі зі зміною довжини, яка співпадала із значеннями в скінченно-елементних моделях (4,0 м; 5,0 м; 6,0 м). При цьому діаметр мікропалі для трьох експериментів був постійним (1,0 м); матеріал мікропалі, що застосовувався під час експерименту (глиняста паста з додаванням цементу та клею ПВА), моделював мікропалью, створену на основі бурозмішувальної технології. Розміри стрічкового фундаменту, що моделювався: ширина – 1,6 м, товщина – 0,4 м, довжина співпадала з товщиною плоского лотку (0,2 м). Як модель фундаменту прийнято металевий штамп при масштабі моделювання 1 до 100, тобто один сантиметр моделі відповідає одному метру системи в натурі.

Було проведено дві серії експериментів в плоскому лотку, тобто варіація довжини мікропалей із збільшенням в один метр моделювалася двічі. «Нульова» серія – контрольна, без підсилення фундаменту мікропалею. За результатами чисельного аналізу було з'ясовано, що таке прирощення довжини зменшує переміщення фундаменту в діапазоні 1,21...1,34 рази. При цьому існує функціональна залежність між деформуванням підсиленого мікропаллями стрічкового фундаменту та довжиною палі, однак її вигляд ще потребує додаткового дослідження, яке заплановане в подальшому. Отримані результати в плоскому лотку свідчать, що максимальні переміщення контрольного варіанту без підсилення (1,54...1,81 мм) зменшуються в 1,2...1,35 рази для мікропалей довжиною 5,0...6,0 м.



Таким чином, застосування чисельного аналізу в комплексі з експериментальними дослідженнями в лотку дозволило отримати більш чітку картину деформування підсиленого мікропалею стрічкового фундаменту. Також доведено достатню адекватність чисельного аналізу, результати якого достатньо близькі експериментальним даним. В подальшому, окрім вже запланованого чисельного аналізу довжини мікропаль, буде проведено третю серію експериментів в плоскому лотку для підвищення достовірності результатів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шве́ц, В. Б. Фундаменты промышленных, гражданских и транспортных сооружений на слоистых грунтовых основаниях [Текст] / В. Б. Шве́ц, В. Г. Шаповал, В. Д. Петренко, В. С. Андреев, Т. А. Селихова, А. Л. Тюткин. – Днепропетровск: Новая идеология, 2008. – 274 с.
2. Зо́ценко, М. Л. Бурові ґрунтоцементні палі, які виготовляються за бурозмішувальним методом [Текст] / М. Л. Зо́ценко, Ю. Л. Винников, В. М. Зо́ценко. – Харків: Друкарня Мадрид, 2016. – 94 с.
3. Petrenko, V. Regularities of the deformed state of the geotechnical system "soil base – micropile" [Електронний ресурс] / V. Petrenko, D. Bannikov, V. Kharchenko, T. Tkach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022. – Volume 970. – 012028. Доступ: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/970/1/012028>

#### АНАЛІЗ ПРИЧИН АВАРІЙ В ТУНЕЛЯХ І МЕТРОПОЛІТЕНАХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ

**Петренко В. Д., Бондаренко Н. К., Мірошник В. А.**

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Volodymyr Petrenko, Nataliia Bondarenko, Vitalii Miroshnyk. Analysis of the causes of accidents in tunnels and metro to increase their reliability and durability.*

**Abstract.** An analysis of the causes of accidents in tunnels and subways was carried out. The specifics of accidents during the construction and operation of these underground structures are considered. Classified causes of accidents, which allows you to minimize their impact and increase the level of reliability and durability.

Тунелі і метрополітени – це капітальні споруди, які розраховані на тривалий термін експлуатації (70...100 років). Протягом цього терміну вони повинні задовольняти вимогам надійності, безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності споруди, тобто вони повинні виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники при заданих режимах роботи і умовах використання споруди, його технічного обслуговування й ремонту. Різноманітні аварії в тунелях і метрополітенах, що експлуатуються в багатьох країнах світу, надають змоги характеризувати ці підземні споруди як «зони підвищеного ризику» для пасажирів.

Звичайно, в перші 5...10 років експлуатації тунелів і метрополітенів ніяких серйозних пошкоджень конструкцій та обладнання не виникає. Через 10...15 років починають спостерігати дефекти, що викликані коливаннями температури повітря, агресивними водами, появою криги всередині, осіданнями основи тощо.

Серйозні порушення експлуатаційної надійності можуть виникнути по причині впливу природних явищ (землетруси, лавини, зсуви, повені), недотримання умов безпечної експлуатації й дефектів конструкцій (оправ, порталів, колій, устаткування) та порушення режиму огляду й ремонту підземних споруд.

Аварії в тунелях та метрополітенах, що експлуатуються, можуть бути пов'язані з раптовим загальним або частковим пошкодженням конструкцій та обладнання, пожежами

і вибухами, загазованістю повітря, затоплення водою. Все перераховане призводить до тривалого припинення функціонування тунелю, економічних збитків, травматизму та загибелі людей.

Серйозну небезпеку представляють тунелі, що будуються, оскільки під час спорудження можуть виникати раптові обвалення породи у вибої, руйнування і деформації кріплення, прориви підземних вод і пливунів, викиди газів, пожежі та вибухи тощо. Частота аварій та тяжкість нещасних випадків в галузі підземного будівництва вище, ніж в інших, що обумовлено специфікою підземних робіт. Щорічно з 10 тисяч працівників, задіяних на будівництві тунелів та метрополітенів, в аваріях отримують травми біля 200 осіб, тобто кожен 50-тий.

В практиці будівництва та експлуатації тунелів відбуваються різні аварії, характер проявлення яких визначається численними факторами: 1) довжиною тунелю; 2) розмірами поперечного перерізу; 3) місцем розташування і глибиною закладення; 4) інженерно-геологічними умовами; 5) способом будівництва.

За ступенем збитків та розміром руйнування аварії можна поділити на крупні та місцеві. До крупних відносяться аварії, що охоплюють усю тунельну споруду і призводять до припинення її функціонування на тривалий час. Вони супроводжуються травмами та загибеллю людей. Місцеві аварії тягнуть за собою руйнування тунелю тільки на обмеженій ділянці, і наслідки можуть бути швидко ліквідовані.

Аварії в тунелях, що експлуатуються, подібні тим, що виникають в процесі будівництва, однак разом з тим мають свою специфіку. Так, якщо переважна більшість аварій в тунелях, що будуються, відбувається в основному в привибійній зоні і лише частково впливає на частину вже збудованого тунелю, то в тунелях і метрополітенах, що експлуатуються, аварія може трапитися в будь-якому місці.

Крім того, аварії в тунелях, що будуються, відбуваються раптово та неочікувано, а в тунелях, що експлуатуються, вони частіш за все виникають внаслідок тривалих процесів руйнування конструкції (виключення складають пожежі та вибухи). Окрім вже перерахованих вище, в тунелях, що експлуатуються, можуть відбуватися руйнування порталів і передпортальних виїмок, руйнування внутрішніх конструкцій та порушення умов безпеки руху, які супроводжуються зіткненням транспортних засобів, наїздом на конструкції, виходом з ладу експлуатаційного обладнання.

Основні причини аварій наступні:

- 1) помилки, які викликаються недостатньою кваліфікацією або недбалістю в роботі дослідників, проектувальників, будівельників та експлуатаційників;
- 2) порушення режимів, норм і параметрів, що встановлені правилами безпеки, інструкціями, кодексами та іншими нормативними документами;
- 3) несвоєчасне проведення оглядів та ремонтів;
- 4) конструктивні недоліки обладнання, невідповідність будівельних матеріалів вимогам Держстандартів.

Фактори, що викликають аварії, можуть бути поєднані в 2 групи: природні та техногенні. До природних відносяться в основному геотехнічні фактори: 1) склад і властивості ґрунтів, умови їх залягання; 2) режим і властивості підземних вод; 3) фізико-геологічні процеси та явища (тектонічні, сейсмічні, карстово-суфозійні, геотермічні). Техногенні фактори пов'язані з інженерною діяльністю людини, до них відносяться: 1) зміна напружено-деформованого стану ґрунтового масиву внаслідок розкриття котлованів або проходки сусідніх підземних виробок; 2) природне або штучне зниження або підвищення рівня ґрунтових вод в районі тунелю або метрополітену, який споруджується або експлуатується; 3) порушення технологічного режиму проходки; 4) порушення режиму експлуатації тунелю або метрополітену.

# СТАЦІОНАРНІ КОЛИВАННЯ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ ВІД ДІЇ ПЕРІОДИЧНИХ ОДНОСТОРОННІХ ІМПУЛЬСІВ

Попович М. М., Ключник С. В.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Mikola Popovich, Sergiy Kliuchnyk.* Stationary oscillations of a span design due to the exposure of periodic one-way pulses

**Abstract.** The aim of this work is to construct an approximate solution of stationary oscillations of a nonlinear equation with a cubic characteristic. The design scheme under consideration best corresponds to the operating conditions of the girder structure in the event of defects of the supporting parts. In this case, longitudinal forces may appear in the girder of the girder structure. The paper investigates nonlinear oscillations of girder structures of small bridges. The undamped oscillations of the beam resting on hinged fixed support parts on both sides from the action of periodic unilateral impulse loading are considered.

При русі по мосту рухомого складу, локомотиви та вагони мають складні коливання. Взаємодіючи із прогоновими будовами в свою чергу визиваються коливання прогонових будов і опор моста.

Існує декілька факторів динамічної дії рухомого навантаження на прогонові будови. До них відноситься (Н. Г. Бондарь) [1]:

- швидкість руху рухомого складу (ефект швидкості);
- наявність невірноважених частин локомотивів;
- удари коліс рухомого складу в стиках рейок і їхніх нерівностей колії на прогонових будовах;
- коливання надресорної будови рухомого складу;
- вплив рухомого складу.

Найбільш вивченим із цих факторів – це вплив ударів коліс рухомого складу.

Рух колеса по нерівності колії може нести ударний або безударний характер. Прикладом ударного процесу являється проходження стиків рейки колії.

При вивченні ударної дії рухомого навантаження на прогонову будову удар можливо розглянути, як короткодійча дія сили, що змінюється за відповідним законом  $P(t)$ . В більшості випадків продовження дії сили  $P(t)$  в порівнянні з періодом  $T$  власних коливань прогонової будови мала, але суттєво більше часу необхідного для розповсюдження хвилі деформації від міста удару до опор прогонової будови.

При малому продовженню удару закон зміни сили  $P(t)$  в період удару мало впливає на величину максимальних переміщень системи. У зв'язку з цим, при вивченні впливу ударів рухомого складу в стиках рейкової колії на поведінку прогонової будови необхідно розглянути не дію миттєво діючої сили, а імпульс сили [2].

Вплив дії імпульсу на прогонову будову при дії одиночних ударів не перевищує  $0,2T$ , то максимальне динамічне відхилення систем з однією ступеню вільності без врахування сил тертя визначається так:

$$y_{\max} = \frac{\theta \cdot S}{C},$$

де  $S$  – імпульс удару, рівний  $S = \int_0^T P(t)dt$ ;  $C$  – характеристика жорсткості системи,  $C = \frac{1}{\delta}$ .

При дії одиночних ударів в стиках рейкової колії поведінку прогонових будов вивчено достатньо [3].

При дії ударів, що повторюються достатньо багато разів можливі стаціонарні вимушені коливання при дії односторонніх миттєвих імпульсів.

Як відомо, відстані між осями колії рухомого складу не однакові. Відстані між осями коліс візка значно менша відстані між візками.

В роботі розглядається стаціонарні коливання прогонової будови з однією ступеню вільності від дії односторонніх миттєвих імпульсів без врахування, а також з урахуванням в'язкого тертя [4]. Одержані умови ударного резонансу для прогонової будови при розташуванні стику рейок в середині прогону. При тих же умовах одержані форми коливань прогонової будови.

З метою наближення до реального рухомого складу, що діє на стики рейкової колії розглядається також стаціонарні коливання прогонової будови при дії односторонніх миттєвих групових імпульсів.

Одержані умови ударного резонансу, аналітичні вирази для побудови амплітудно-частотних характеристик та форм коливань.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондарь, Н. Г. Нелинейные колебания балочных пролетных строений малых мостов [Текст] / Н. Г. Бондарь // Труды Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта, 1962. – Вып. 38. – С. 60-65.

2. Бондарь, Н. Г. Стационарные нелинейные симметричные колебания, возбуждаемые мгновенными импульсами [Текст] / Н. Г. Бондарь, М. М. Попович // Вопросы теории колебаний и динамики мостов, 1973. – Вып. 150. – С. 47-75.

3. Казакевич, М. И. Избранное [Текст] / М. И. Казакевич // Днепропетровск : Нова ідеологія, 2009.

4. Попович, М. М. Нелінійні стаціонарні коливання балочних прогонових будов від дії періодичних імпульсів [Текст] / М. М. Попович, С. В. Ключник // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2022. – Вип. 21. – С. 80-86. Доступ: <https://doi.org/10.15802/bttrp2022/258269>

#### ПИТАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ МОСТОВИХ АРКОВИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ ІЗ ТРУБОБЕТОНУ

Співак Д. С.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Dmytro Spivak.* The issue of durability of span structures of concrete filled steel tube arch bridges.

**Abstract.** The purpose of this work is to review the problems raised in the long-term use of concrete filled steel tube arch. The most common problematic issues and the results of their research are considered. The specified advantages of using span structures of concrete filled steel tube arch bridges.

Від властивостей матеріалів застосованих у конструкції та її геометричних параметрів напряму залежить тривалість експлуатації самої будови. Вибір певної комбінації матеріал-конструкції із тих, які вже стали класикою мостобудівництва, заздалегідь пророкує термін служби конструкції, її необхідну кількість поточних утримань і можливих реконструкцій. Найжвавіший ріст будівництва аркових труобетонних мостів почався лише 30 років тому. Таке положення поки не дає змоги достатньо глибоко вивчити фактори, що впливають та поведінку конструкції на довговічність її експлуатації. Деякий вагомий теоретичний і практичний внесок у цьому напрямі вже опрацьовано, тому вже зараз є можливість окреслити поточний стан та перспективи мостових аркових прогонових будов із труобетону.

Арковий труботонний міст був уперше розроблений в СРСР у 1930-х роках. Вже зараз світовий досвід їх будівництва налічує понад 400 мостів. На сьогодні, найстарішим із тих, що знаходяться у повноцінному експлуатаційному стані, є побудований у 1990 році під автодорогу Ванцан Дунхе (Wangcang Donghe Bridge) у Китаї. Щодо аналогічного мосту, але під залізницю, найдавнішим є Бейпаньцзян Шуйбай (Beipanjia Shuibai Bridge), побудований у 2001 році, також у Китаї.

У цілому, конструкції із застосуванням труботонних елементів виявляються більш ефективними в екстремальних умовах роботи ніж залізобетонні або ж металеві. Іншими словами, труботонні конструкції показують велику живучість. Із головних переваг: бетон укладений у сталеву оболонку має підвищені показники міцності, довговічності та стійкості, перешкоджає деформуванню зовнішньої сталеві оболонки. Сталева оболонка служить зовнішнім армуванням, захищає бетонний сердечник від корозії та зменшує розкриття тріщин. Щодо аркових труботонних мостів, бетон у поясах підвищує межу міцності з'єднання та втомну міцність у ребрах ферми арки. Відзначено, що ефективнішою формою труботонного перерізу є кругла, вона забезпечує найбільш міцне прилягання до бетонного ядра, тоді коли локальні деформації частіше виникають у квадратних або прямокутних поперечних перерізах.

Однією з найбільш значних переваг аркових мостів є їх величезна осьова і згинальна жорсткість. Головною особливістю аркових мостів є виникнення великих стискувальних зусиль у поясах арки, де труботон і демонструє свої найкращі переваги в показниках міцності та економічності у порівнянні зі сталлю або бетоном. Саме труботонні аркові мости дозволяють мати порівняно більший прогін, забезпечують більшу вантажопідйомність, мають відносно низьку вартість та забезпечують естетичний вигляд.

У більшості закордонних будівельних нормах, наприклад в Eurocode, вказується термін експлуатації труботонних аркових мостів 100 років. У деяких наукових джерелах зазначається термін у діапазоні 100-120 років. Але цей позитивний момент затьмарюється деякими труднощами. Однією із них є проблема терміну служби ізоляційних опор на гумовій основі, який зазвичай становить 50 років, що не співвідноситься із розрахунковим терміном експлуатації мосту. Також є досліді впливу сонячного світла на арку мосту, яке викликає нерівномірні температурні розширення, через що у головному елементі прогону нової будови виникають нерівномірно розподілені напруження і можливе загальне деформування конструкції. Існують досліді де перевірялась поведінка труботонної арки під впливом довготривалого постійного навантаження. Результати одного із останніх випробувань показали, що максимальна релаксація напружень повзучості бетону склала 52,7 % від вихідного напруження, а максимальний приріст напружень у сталевій трубі склала 27,3%. За цим слідує висновок, що напруження в бетоні поступово передаються сталевим трубам, що може призвести до перенапруження сталевих труб.

Труботонні елементи також піддаються впливам повзучості та усадки бетону протягом терміну служби. Було проведено експериментальне дослідження теплоти гідратації та усадки сталевих труб, заповнених самоущільнюючим бетоном. Виявлено, що на ранній стадії усадка бетону швидко збільшувалася, доки не досягла достатньо стабільного значення приблизно через 100 днів. Характеристики температурного поля у заповнених бетоном трубах аналогічні характеристикам простих бетонних елементів при гідратації цементу. Випробування на усадку бетону тривало 3 роки. Результати показали, що через обмеження зовнішньої труби значення усадки бетонного сердечника в заповнених трубах становить близько 25...40 % від усадки відкритого бетону. Після випробування явного проміжку між сталевією трубою та бетонним ядром не спостерігалось.

У деяких випадках сталева оболонка може страждати від хлоридної корозії, наприклад, у морських спорудах. Під впливом тривалого навантаження і хлоридної корозії бетоноповнені сталеві трубчасті елементи піддаються суттєвому зниженню межі міцності та жорсткості, оскільки товщина стінки сталевієї труби зменшується. Навантаження, що сприймається сталевією трубою, після втрати її стінки частково передається бетонному сердеч-

нику, а міцність та жорсткість всієї колони було менше, ніж в аналога з порожнистої сталевий труби.

Руйнування будь-яких в'язів між поясами фермової арки значно знижують граничне навантаження на саму арку. Крім того, зварне з'єднання в'язів із поясами зазвичай визначає втомну довговічність, що також має вирішальне значення при будівництві та контролі якості. Швидкість деформації поясів арки розвивається, якщо текучість відбувається у четвертій прогону. Це вказує на те, що текучість трубчастих елементів є основною причиною відмови трубобетонної арки. Зі статистики відомо, у 90 зі 100 випадків втомного пошкодження сталі у композитних мостах, деформації були викликані через невраховані взаємодії між несучими елементами мосту. Такі захворювання особливо характерні для мостів із великими прогонами.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jieliang Zheng, Jianjun Wang Concrete-Filled Steel Tube Arch Bridges in China [Текст]. Engineering, 2018. – Vol. 4. – Issue 1. – P. 143-155. Доступ: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2017.12.003>
2. Wei Huang, Minshan Pei, Xiaodong Liu, Ya Wei Design and construction of super-long span bridges in China: Review and future perspectives [Текст]. Frontiers of Structural and Civil Engineering, 2020. – Vol. 14. – P. 803-838. Доступ: <https://doi.org/10.1007/s11709-020-0644-1>
3. Jiang Liu, Yongjian Liu, Chenyu Zhang, Qihong Zhao, Yi Lyu, Lei Jiang A review of temperature action and effect of concrete-filled steel tubular bridges [Текст]. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2020. – Vol. 7. – Issue 2. – P. 174-191. Доступ: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.03.001>
4. Jing Gao, Jiazhan Su, Yong Xia, Baochun Chen Experimental study of concrete-filled steel tubular arches with corrugated steel webs [Текст]. Advanced Steel Construction, 2013. – Vol. 10. – P. 99-115. Доступ: <https://doi.org/10.18057/ijasc.2014.10.1.7>
5. Jianling Hou, Weibing Xu, Yanjiang Chen, Kaida Zhang, Hang Sun, Yan Li. (2020). Typical diseases of a long-span concrete-filled steel tubular arch bridge and their effects on vehicle-induced dynamic response [Текст]. Frontiers of Structural and Civil Engineering. – Vol. 14. – P. 867-887. Доступ: <https://doi.org/10.1007/s11709-020-0649-9>

#### ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОБСТЕЖЕННЯ СПОРУД

Трикоз Л. В., Зінченко О. С.

Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

*Liudmyla Trykoz, Oleksii Zinchenko. Overview of the modern methods of bridge monitoring.*

**Abstract.** Deterioration of bridges requires effective methods of assessing their condition and maintenance. Proper design, timely structural health monitoring, and maintenance are essential. It is considered the application of modern technical means such as ground penetrating radar, multi-spectral images, terrestrial laser scanning, infrared thermography, non-contact sensors, and unmanned aerial vehicles. The advantages and disadvantages have been studied.

Зношення споруд потребує ефективних методів оцінки їх стану та обслуговування. Оскільки існує зростаюча залежність суспільства від таких інфраструктурних систем як мости, важливе значення мають належне проектування, своєчасний моніторинг та обслуговування. Часто незадовільний огляд та моніторинг призводять до виявлення пошкоджень лише у критичному стані, коли вартість ремонту стає порівняною із вартістю заміни. Для оцінки ступеня пошкодження та якнайшвидшого відновлення суттєво потрібна інформація про поточний та попередній «стан здоров'я» конструкції. Отже, існує потреба у постійному моніторингу справності конструкції. Основна інформація отримується шля-

хом візуального огляду, серед недоліків якого можна відмітити суб'єктивність, великі витрати часу, невеликий об'єм інформації, необхідність спеціалізованого устаткування, закриття дороги. З цієї точки зору застосування автоматичних методів для візуальної оцінки стану мостів має значні переваги. Розглянемо, що пропонує сучасний розвиток технічних засобів для моніторингу.

У випадку, якщо геометрія конструкції складна, а властивості матеріалу невідомі і не можуть бути оцінені безпосередньо, у роботі [1] пропонується мультидисциплінарний підхід, що поєднує лазерне сканування, георадар та аналіз методом кінцевих елементів. Складну геометрію конструкції можна отримувати із хмари точок з використанням даних, зібраних лазерним сканером. Оскільки внутрішня конструкція мосту недостатньо відома, в геометричній зйомці використовуються георадарні методи з метою оцінки його однорідності чи неоднорідності. Отримана інформація використовується для правильного визначення структурної моделі на основі кінцевих елементів, яка використовується для моделювання поведінки конструкції моста. Така методологія є дуже важливою у випадках, коли документація відсутня, а методи руйнівного контролю не можуть бути застосовані.

Для контролю стану безпеки конструкцій дуже важливо планувати ремонтні заходи, що дозволяє мінімізувати супутні витрати. У статті [2] досліджено можливості використання мультиспектральних зображень з дуже високою просторовою роздільною здатністю для виявлення, аналізу та вимірювання ділянок з біологічними колоніями, плямами та/або ремонтними матеріалами на відкритих бетонних поверхнях. Автори застосували мультиспектральний аналіз зображень бетонних поверхонь для класифікації зображень поверхні відкритих бетонних будівель, де раніше під час візуального огляду були виявлені біологічні колонії, відкриті заповнювачі, ремонтні розчини та тріщини. Картування поверхні та статистичні результати автоматично отримуються та зберігаються у цифровому форматі, що може бути корисно при роботі з великими відкритими бетонними площами.

Точна оцінка стану безпеки бетонних мостів надзвичайно важлива для визначення стратегій обслуговування та оптимізації ремонтів. У цьому плані виявлення тріщин та їх характеристика грають особливо значну роль. У статті [3] пропонується новий метод для автоматичної оцінки тріщин у бетонних мостах, заснований на поєднанні технології обробки зображень та наземного лазерного сканування. Наземна фотозйомка вимагає доступу для позиціонування фотостанцій та вичерпного огляду конструкції, що передбачає використання різних фокусних відстаней для досягнення необхідної роздільної здатності. Лазерне сканування виявилось придатним для дослідження геометрії конструкцій та побудови 3D-моделей, включаючи інформацію про контрольні точки, необхідну для визначення характеристик тріщин. Однак процедура, застосована на виявленні несучих цільностей, тільки за допомогою наземного лазерного сканування, виявилася неефективною для оцінки тріщин у стіні устою. Через знижену роздільну здатність лазера процедура не могла ідентифікувати відповідні неоднорідності, оскільки лазерні промені не проникають у тріщини, які не можуть бути ідентифіковані. Навпаки, глобальна обробка ортотрансформованих зображень дозволила ідентифікувати тріщину в області, що аналізується. За допомогою цієї комбінації надійних та точних методів можна отримати та записати загальну картину розтріскування. Локальний аналіз виявлених тріщин дозволяє виміряти їх ширину, довжину та орієнтацію. Ці особливості показують, що запропонований метод може бути важливою підмогою для визначення та оптимізації робіт з технічного обслуговування бетонних мостів.

Волога в будівельних матеріалах та компонентах є ключовим аспектом, який необхідно враховувати при оцінці експлуатаційних характеристик будівель, оскільки вона може впливати на їхню довговічність та механічну стійкість, тепловий комфорт та якість повітря в приміщенні, а також енергоефективність будівель. Тому вивчення явищ зволоження має велике значення. Наявність вологи у будівельних матеріалах/компонентах пов'язана з коливаннями температури. Температуру поверхні об'єкта можна виміряти за допомогою інфрачервоної термографії – неруйнівної технології для оцінки стану споруд [4]. Зазвичай ділянки, які мають підвищену вологість, мають і нижчу температуру, що позначається на

термограмах холодним синім кольором. Однак, зниження температури може відбуватися як за рахунок зволоження всередині матеріалу, яке не видно зовні, так і за рахунок теплообміну з оточуючим середовищем. Тому ефект охолодження через присутність води необхідно відокремити від охолодження через пристосування температури поверхні до температури навколишнього середовища за допомогою числового моделювання. Кореляція результатів із властивостями матеріалу дуже важлива для правильного розуміння можливостей використання інфрачервоної термографії для оцінки вологості. Отже, необхідно розробити спосіб моделювання цих явищ, щоб пов'язати зниження температури поверхні саме з випаровуванням вологи, а не з коливанням температур.

Велика увага приділяється використанню сучасних датчиків та безконтактних сенсорів. Польові випробування мосту в дослідженні [5] продемонстрували можливість використання безконтактного лазерного віброметра як альтернативу сенсорним методам моніторингу мосту. Лазерний віброметр був розміщений під мостом без переривання руху на самому мості та проїжджій частині під ним без необхідності прямого доступу до мосту.

Моніторинг стану конструкції є важливою темою для спільноти проектувальників мостів. Швидкий розвиток технологій спростило встановлення вбудованих систем моніторингу мостів. Отримавши кількісні дані, можна буде розробити інтелектуальні конструкції із системами моніторингу, які зможуть доповнити методи суб'єктивного та періодичного візуального огляду, які нині використовуються як основний засіб оцінки стану мостів. У роботі [6] шість балок три пролітного мосту із попередньо напруженого бетону було побудовано з використанням оптичних волокон, залитих у бетон на заводі збірних залізобетонних виробів, що дозволило проводити вимірювання розподіленої деформації за довжиною попередньо напружених балок. Волоконно-оптичні кабелі входять в один кінець балки і проходять вздовж нижніх напружених шарів, підіймаються вгору в кінці кожної балки, а потім повертаються по верхніх напружених шарах бетону, таким чином замикаючи петлю волокна в балці. Результати дозволили дослідити різні явища, включаючи відшарування попередньо напружених елементів, початкове пружне укорочення, повзучість і усадку бетону, а також вплив температури. Мережі бездротових датчиків розробляються як більш дешеве та гнучке альтернативне рішення розгортанню провідних мереж. Кожен датчик повністю автономний і передає показання бездротового зв'язку на приймач і реєстратор даних, розташований десь на конструкції або поряд з нею. Відсутність кабелів означає, що бездротові системи набагато простіше переконфігурувати, ніж дротові, що є ключовою перевагою. Для встановлення датчиків на мосту для збору необхідних даних у [7] використовували повітряні маніпулятори, що усувало необхідність перекриття дороги. Для цього автори запропонували двоетапний підхід: безпілотний літальний апарат, що оснащений балоном під тиском, розпорошує перший компонент клею на цільову область; після цього другий повітряний маніпулятор визначає точне розташування області розпилення і встановлює необхідний датчик, покритий другим компонентом клею.

Таким чином, сучасний розвиток технічних засобів обстеження дозволяє отримувати більші обсяги об'єктивної інформації з меншими затратами часу, що підвищить якість робіт з обстеження мостів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lubowiecka, I. Historic bridge modelling using laser scanning, ground penetrating radar and finite element methods in the context of structural dynamics [Текст] / I. Lubowiecka, J. Armesto, P. Arias, H. Lorenzo // Engineering Structures, 2009. – Vol. 31. – P. 2667-2676.
2. Valença, J. Damage assessment on concrete surfaces using multi-spectral image analysis [Текст] / J. Valença, L. M. S. Gonçalves, E. Júlio // Construction and Building Materials, 2013. – Vol. 40. – P. 971-981.
3. Valença, J. Assessment of cracks on concrete bridges using image processing supported by laser scanning survey [Текст] / J. Valença, I. Puente, E. Júlio, H. González-Jorge, P. Arias-Sánchez // Construction and Building Materials, 2017. – Vol. 146. – P. 668-678.



4. Barreira, E. Assessing the humidification process of lightweight concrete specimens through infrared thermography [Текст] / E. Barreira, R. Almeida, J. Ferreira // Energy Procedia, 2017. – Vol. 132. – P. 213-218.
5. Abedin, M. Health monitoring of steel box girder bridges using non-contact sensors [Текст] / M. Abedin, A. B. Mehrabi // Structures, 2021. – Vol. 34. – P. 4012-4024.
6. Vardanega, P. J. Bridge monitoring. Innovative Bridge Design Handbook: Construction, Rehabilitation, and Maintenance (Second Edition) [Текст] / P. J. Vardanega, G. T. Webb, P. R. A. Fidler, F. Huseynov, K. K. G. K. D. Kariyawasam, C. R. Middleton // Butterworth-Heinemann, 2022. – P. 893-932.
7. Ivanovic, A. Towards Autonomous Bridge Inspection: Sensor Mounting Using Aerial Manipulators [Текст] / A. Ivanovic, L. Markovic, M. Car, I. Duvnjak, M. Orsag // Applied sciences, 2021. – Vol. 11. – P. 8279.

## ПРОЄКТУВАННЯ ПАЛЬОВИХ ФУНДАМЕНТІВ ЗА НОРМАМИ ЄВРОКОДІВ

Тютюкін О. Л., Дубінчик О. І., Кільдєєв В. Р.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Oleksii Tiutkin, Olga Dubinchyk, Vitalii Kildieiev. Design of pile foundations according to Eurocodes.*

**Abstract.** The Eurocodes are a set of structural design standards developed by the European Committee for Standardization to cover the subject of structural design. Eurocodes, together with Eurostandards, are a closed apparatus for managing the reliability and monitoring the durability of buildings and structures, corresponding to the national system. Eurocode 7 Part 1 deals with the principles of geotechnical design. These principles relate to the calculation of geotechnical operations in relation to structural elements interacting with the soil: foundations, piles.

Єврокоди – це норми з проєктування будівель, мостів та інших споруд цивільного будівництва. В їх основі лежить теорія проєктування за граничними станами і метод часткових коефіцієнтів.

Проєктування пальових фундаментів виконується за ДСТУ-Н Б EN 1997-1:2010 Єврокод 7 Геотехнічне проєктування Частина 1 Загальні правила (EN 1997-1:2004, IDT) [1], розділ 7 та ДСТУ-Н Б В. 1.2-13:2008 Настанова Основи проєктування конструкцій (EN 1990:2002, IDN) [2]. Єврокод 7 містить вимоги щодо міцності, стійкості, експлуатаційної надійності і довговічності конструкції. Настанова розглядає принципи і вимоги безпеки і експлуатаційної надійності, описує основи проєктування і перевірки.

Положення Розділу 7 EN 1997-1 застосовуються при проєктуванні паль-стійок, висячих паль, висмикуваних паль і горизонтально навантажених паль, що встановлюються забиванням, вдавлюванням, загвинчуванням або бурінням з ін'єктуванням і без нього.

Положення Єврокоду 7, як і всіх інших Єврокодів, поділяються на принципи (Р) та правила. Принципи – це безальтернативні вимоги, які мають бути виконані в проєкті (наприклад, осідання повинно бути менше допустимого значення), правила – це набір загально-визнаних методів, які задовольняють і не суперечать принципам. Проєктувальник має право обирати будь-які методи розрахунку, але несе відповідальність за надійність конструкції, тому зазвичай використовуються методи наведені в Єврокоді 7.

При проєктуванні пальових фундаментів слід керуватися загальними принципами, покладеними в основу EN 1990:2002. Конструкції слід проєктувати та виготовляти таким чином, щоб вони протягом передбаченого терміну експлуатації з необхідним рівнем надійності сприймали всі впливи, які можуть з'явитися у процесі зведення та експлуатації і залишалися придатними для зазначеного терміну експлуатації за призначенням.

Для кожної геотехнічної проєктної ситуації слід перевірити, чи не буде перевищено жоден із можливих граничних станів визначених EN 1990:2002. Граничні стани можуть виникнути в ґрунтовій основі або в споруді, а також спільно в основі та споруді.

Необхідно розглянути наступні граничні стани:

- втрата загальної нестійкості;
- недостатня несуча здатність пальового фундаменту;
- піднімання або недостатня міцність при розтягуванні пальового фундаменту;
- руйнування ґрунту, обумовлене бічним навантаженням пальового фундаменту;
- руйнуванням пальової конструкції при розтягуванні, вигині, подовжньому вигині і зрушенні;
- комбіноване руйнування ґрунту і пальового фундаменту, комбіноване руйнування ґрунту і конструкції;
- недопустиме осідання; недопустиме випирання; недопустиме бічне переміщення;
- недопустимі вібрації.

В [1] розглядаються наступні граничні стани:

- втрата стійкості споруди чи основи як жорсткого тіла (втрата стійкості положення або рівноваги), коли міцність матеріалів споруди та ґрунту не мають значення забезпечення граничного стану (EQU);
- руйнування або надмірні деформації споруди або її елементів, коли розрахункові опори матеріалів є головними для забезпечення несучої здатності (STR);
- руйнування або надмірні деформації основи, коли розрахунковий опір ґрунту є вирішальним для забезпечення несучої здатності (GEO);
- втрата стійкості споруди або основи (втрата вертикальної рівноваги) від дії гідравлічної підйомної сили (Архімедової сили) або інших вертикальних впливів (UPL);
- винесення частинок ґрунту, викликане гідравлічним градієнтом (HYD).

Граничні стани слід перевіряти: розрахунком; з використанням дослідних моделей та пробних навантажень; методом спостереження, або їхніми комбінаціями.

При геотехнічному проектуванні за допомогою розрахунків враховують наступні впливи (F): власна вага ґрунту, води, тиск ґрунту та ґрунтових вод, постійні та змінні навантаження від споруди, зміщення ґрунту, переміщення та прискорення, спричинені землетрусами, вибухами, вібраціями та динамічними навантаженнями. У проєкті має розглядатися можливість застосування змінних впливів спільно або окремо. У відповідності з [1] впливи (F) діляться на: постійні (G), змінні (Q), випадкові (A). Розрахункові значення впливів ( $F_d$ ) оцінюють безпосередньо, або множенням характеристичного значення постійного ( $G_k$ ) або репрезентативного значення ( $Q_{rep}$ ) змінного впливу на відповідні приватні коефіцієнти ( $\gamma_F$ ) (табл.1).

Таблиця 1

Окремі коефіцієнти для дій ( $\gamma_F$ )

| Дія       |              | Позначення | Група |      |
|-----------|--------------|------------|-------|------|
|           |              |            | A1    | A2   |
| Постійна  | Несприятлива | $\gamma_G$ | 1,35  | 1,00 |
|           | Сприятлива   |            | 1,00  | 1,00 |
| Змінна    | Несприятлива | $\gamma_Q$ | 1,50  | 1,30 |
|           | Сприятлива   |            | 0     | 0    |
| Випадкова | Несприятлива | $\gamma_A$ | 1,00  | 1,00 |

Всі інженерні споруди в геотехнічному проектуванні поділяються на три категорії: 1 категорія включає тільки малі і відносно прості споруди; 2 категорія – типові споруди і фундаменти; 3 категорія – споруди, які не ввійшли в 1 і 2 категорії.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ-Н Б EN 1997-1:2010 Єврокод 7 Геотехнічне проектування Частина 1 Загальні правила (EN 1997-1:2004, IDT) [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 161 с.
2. ДСТУ-Н Б В. 1.2-13:2008 Настанова Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDN) [Текст]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 81 с.

## АНАЛІЗ ЗМІНИ КОНЦЕПЦІЇ СПОРУДЖЕННЯ ПІЛОННОЇ СТАНЦІЇ МЕТРОПОЛІТЕНУ В СКЕЛЬНИХ ПОРОДАХ

Тютюкін О. Л., Федоров К. Є.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

*Oleksii Tiutkin, Kostiantyn Fedorov. Analysis of the change in the concept of construction of a metro pylon station in solid rock.*

**Abstract.** The metro pylon station is most often used in weak soils. However, the concept of building this type of metro station in solid rock is very promising. This concept requires an analysis of the approach to construction, as well as the general concept of building (prefabricated or monolithic (New Austrian tunneling method)). It was determined that the metro pylon station has not exhausted its relevance and requires research into the geometric parameters of the frame, as well as the dimensions of the internal supporting structures.

Відомо, що станцію метрополітену пілонного типу доцільно застосовувати в слабких ґрунтах (діапазон міцності за проф. М. М. Протод'яконовим  $f=0,5\dots1,5$ ) [1]. Відповідно для таких умов, що характеризуються значним гірським тиском, конструкція станції представляє собою три розділені ціліками ґрунту тунелі в горизонтальній площині, в яких створюють проходи для виходу на бокову платформу. Для стримування значного тиску як елементи кріплення застосовуються чавунні тубінги.

В 1960-х роках конструкцію станції метрополітену пілонного типу з чавунною оправою було змінено. Перехід на збірні елементи (залізобетонні блоки суцільного або ребристого перерізу) позначився не тільки значною перевагою (економія чавуну), але й новими проблемами (значно знижений рівень гідроізоляції, збільшення деформаційної здатності елементу і конструкції в цілому тощо). Однак, враховуючи український досвід застосування гумових ущільнювачів (90-ті роки) та досвід спорудження станцій в обводнених слабких супісках (Київський метрополітен, 2000-ні роки), була розроблена конструкція пілонної станції із залізобетонних блоків, в якій було також застосовано нові конструктивні елементи (балки над проходом та пілоном) [2].

На початку 2000-х років була проголошена ідея спорудження станції метрополітену пілонного типу в міцних скельних породах (діапазон міцності  $f=6\dots10$ ). Ідея викликала широке обговорення в колах вчених, пов'язаних з підземним будівництвом, але не мала значного науково-технічного обґрунтування з об'єктивних причин (законсервоване на десятки років будівництво Дніпровського метрополітену).

Незважаючи на викладене вище, на сьогодні станції метрополітену пілонного типу багатьма авторитетними дослідниками в галузі підземного будівництва все ж вважаються конструктивними схемами, що майже не мають потенціалу змін несучих елементів та серйозного розвитку загалом. Однак сукупність ідей, що протягом останніх п'ятдесяти років виникали в руслі ДПТовської школи підземного будівництва (В. А. Мізюмський, В. Е. Котляревський, В. М. Тубольцев, В. Д. Петренко, В. Т. Гузченко, О. Л. Тютюкін, В. П. Купрій), а також інших українських вчених, потребує переосмислення цієї конструктивної схеми [3].

Причиною цього є те, що під час будівництва Дніпровського метрополітену була знову запропонована ідея спорудження станції пілонного типу в скельних породах. Таке рішення вивело підземне будівництво метрополітенів в Україні на новий концептуальний рівень. Представництво турецької компанії LİMAK İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş. з 2016 року, споруджуючи Дніпровський метрополітен (з 24.02.2022 р. на час воєнного стану будівельні роботи припинено), широко застосовувало власні розробки. Відповідно, був переглянутий радянський досвід спорудження усіх підземних виробок, що базувався на застосуванні збірних елементів.

Основним прийомом компанії LİMAK в галузі підземного будівництва є створення багатошарових конструкцій з торкрет- й монолітного бетону, тобто, застосування стратегії NATM (New Austrian tunneling method). Для спорудження виробок великого поперечного перерізу цей метод є дуже плідним. Великий досвід спеціалістів компанії LİMAK дозволив вирішити ряд задач підземного будівництва, зокрема для спорудження виробок в скельних породах.

Під час впровадження розробок компанії LİMAK частково проведено імплементацію досвіду Європейського Союзу, що призвела до переосмислення радянської стратегії підземного будівництва, в якій «мокрі» процеси (застосування набризк- та торкретбетону, монолітне бетонування, використання інвентарних риштувань) майже виключалися. Такий перегляд стратегії спорудження і розробка нового підходу до підземного будівництва є об'єктивними. Аргументами цього є те, що виробництво збірних елементів зараз практично зупинене, а розвиток навичок бетонування дозволяє створювати високоякісні багатошарові конструкції.

При цьому, навіть залишаючись в рамках радянської концепції спорудження із збірних елементів, потенціал конструктивної схеми пілонної станції не було вичерпано. Поява нової концепції (спорудження, пов'язане із монолітним бетонуванням) потребує порівняння двох концепцій та виявлення переваг та недоліків кожної з них. До того ж нова концепція спорудження змінює і конструкцію станції, яка, в свою чергу, вимагає досліджень та наукового обґрунтування конструкції станції метрополітену пілонного типу, що споруджується в скельних породах.

Для випадку станції метрополітену пілонного типу, що споруджується в скельних породах, застосування NATM є дещо проблематичним, оскільки в Україні цей випадок не має прецедентів і відповідного наукового обґрунтування. Тому дослідження конструкції станції під час спорудження, що відбувається по частинах, а також з'ясування закономірностей зміни напружень та переміщень в елементах конструкції пілонної станції під час варіації їх параметрів (наприклад, ширини пілону та проходу) є гостроактуальною задачею. Для її вирішення на основі математичного моделювання конструкції станції метрополітену пілонного типу із варіацією геометричних параметрів слід обґрунтувати їхню зміну в залежності від напружено-деформованого стану. Також слід визначити закономірності напружено-деформованого стану в конструктивних елементах станції метрополітену пілонного типу під час спорудження.

Обґрунтування конструкції станції метрополітену пілонного типу, а саме особливостей розташування станційних тунелів в породному масиві, їхніх розмірів та форми, геометричних параметрів оправи, а також розмірів внутрішніх несучих конструкцій (система пілонів та проходів) дозволить обґрунтовано імплементувати нову концепцію будівництва станцій метрополітену пілонного типу в скельних породах.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Петренко, В. І. Станції метрополітену: конструкції та спорудження [Текст]: навчальний посібник / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін. – Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2012. – 164 с.
2. Петренко, В. І. Розрахунок трисклепінчастих станцій метрополітену глибокого закладення [Текст] / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – 176 с.
3. Тютюкін, О. Л. Теоретичні основи комплексного аналізу тунельних конструкцій [Текст] / О. Л. Тютюкін. – Дніпро : Журфонд, 2020. – 260 с.

## ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

|                        |        |
|------------------------|--------|
| Андрєєв В. С.....      | 36     |
| Арутюнян І. А.....     | 35     |
| Банніков Д. О.....     | 11     |
| Бачинська Л. М.....    | 9      |
| Бондаренко Н. К.....   | 38     |
| Бугаєвський В. О. .... | 7      |
| Бугаєвський С. О.....  | 7      |
| Гайко Г. І.....        | 9      |
| Ган А. Л.....          | 9      |
| Гезенцевей Ю. І.....   | 11     |
| Горбатюк Ю. М.....     | 13     |
| Гусак М. А.....        | 21     |
| Дубінчик О. І.....     | 46     |
| Зінченко О. С.....     | 43     |
| Кільдєєв В. Р.....     | 46     |
| Ключник С. В. ....     | 13, 40 |
| Косячевська С. М. .... | 31     |
| Краснощок С. Л. ....   | 15     |
| Крисан В. В. ....      | 16     |
| Крисан В. І.....       | 16     |
| Купрій В. П.....       | 19     |

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| Курган Д. М.....      | 21     |
| Курган М. Б.....      | 21, 23 |
| Лужицький О. Ф. ....  | 23     |
| Мірошник В. А. ....   | 26, 38 |
| Мішук К. М. ....      | 28     |
| Нетеса А. М. ....     | 30     |
| Нікіфорова Н. А.....  | 31     |
| Овчинников П. А.....  | 26     |
| Остапенко І. С. ....  | 33     |
| Пастухова С. В.....   | 35     |
| Петренко В. Д. ....   | 36, 38 |
| Попович М. М.....     | 40     |
| Радкевич А. В. ....   | 28     |
| Співак Д. С.....      | 41     |
| Старина Р. О.....     | 19     |
| Трикоз Л. В.....      | 43     |
| Тютькін О. Л.....     | 46, 48 |
| Федоров К. Є.....     | 48     |
| Харченко В. В. ....   | 36     |
| Хмелевська Н. П. .... | 23     |
| Яковлєв С. О.....     | 30     |