

06
Д 54

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Збірник наукових праць

Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Випуск 16

2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Збірник наукових праць
Дніпровського національного університету
залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

За загальною редакцією проф. О. М. ПШІНЬКА

Засновано у 2011 році

Випуск 16



Дніпро
2019

УДК 624.21 + 624.19(066)

ББК 39.112

Д 54

ЗАСНОВНИК ТА ВИДАВЕЦЬ:
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна від 23.12.2019 р., протокол № 5

*Включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б»)
наказом Міністерства освіти і науки України від 28.12.2019 р. № 1643
(технічні спеціальності – 192)*

Голова редакційної ради університету – доктор технічних наук *О. М. Пішінько*

Редакційна колегія:

головний редактор – доктор технічних наук *О. Л. Тютюкін*
відповідальний секретар – *Н. К. Петросян*

Члени редакційної колегії:

доктор фізико-математичних наук *В. М. Ахундов*,
доктори технічних наук *Ю. Л. Винников*, *Г. І. Гайко*,
С. М. Гапєєв, *Й. Й. Лучко*, *М. І. Нетеса*, *В. Д. Петренко*,
А. А. Плугін, *А. В. Радкевич*, *А. С. Саммаль*, *Войцех Франус*,
доктор філософії *Ахмад Алхдур*

Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : Збірник наукових праць Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 16. – Дніпро, 2019. – 93 с.
ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)

У статтях висвітлені наукові дослідження, виконані авторами у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна та інших організаціях. Статті присвячені вирішенню актуальних питань із проблем розрахунків, проектування, будівництва, експлуатації та реконструкції мостів, тунелів і інших інженерних споруд, застосування сучасних будівельних матеріалів і технологій будівництва, пошуку шляхів підвищення надійності та подовження довговічності інженерних споруд.

Збірник наукових праць становить інтерес для працівників експлуатаційних і науково-дослідних організацій, викладачів вищих навчальних закладів, докторантів, аспірантів, магістрантів та інженерно-технічних працівників.

The articles reflect the scientific research carried out by the authors at the Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan and other organizations. The articles are devoted to the solution of topical issues on the problems of calculations, design, construction, operation and reconstruction of bridges, tunnels and other engineering structures, the use of modern building materials and construction technologies, the search for ways to increase reliability and extend the durability of engineering structures.

The collection of scientific papers is of interest to workers of operational and research organizations, teachers of higher educational institutions, doctoral students, graduate students, undergraduates and engineering and technical workers.

В статьях отражены научные исследования, выполненные авторами в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна и других организациях. Статьи посвящены решению актуальных вопросов по проблемам расчетов, проектирования, строительства, эксплуатации и реконструкции мостов, тоннелей и прочих инженерных сооружений, применения современных строительных материалов и технологий строительства, поиску путей повышения надежности и продления долговечности инженерных сооружений.

Сборник научных трудов представляет интерес для работников эксплуатационных и научно-исследовательских организаций, преподавателей высших учебных заведений, докторантов, аспирантов, магистрантов и инженерно-технических работников.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
ДНІПРОПЕТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)

© Дніпровський нац. ун-т залізн.
трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2019

Г.К.

866 949 - 950 = (2)

ЗМІСТ

І. А. АРУТЮНЯН

БУДІВЕЛЬНА ЛОГІСТИКА ЯК АЛЬТЕРНАТИВА РОЗВИТКУ ВИРОБНИЧОГО КЛАСТЕРУ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ.....	6
---	---

І. А. АРУТЮНЯН, А. В. БАНАХ, Є. Е. АРУТЮНЯН

ОПТИМІЗАЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СХЕМ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТ ЗА РАХУНОК ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА ТА РЕМОНТУ ДОРОЖНЬОГО ПОЛОТНА.....	14
---	----

В. М. БЕЗСАЛИЙ, Д. О. БАННІКОВ

ЕФЕКТИВНІСТЬ СТАЛЕВИХ ТОНКОСТІННИХ ОЦИНКОВАНИХ ПРОФІЛІВ ДЛЯ АРКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	20
---	----

М. В. ГУЗИЄНКО, Л. А. СУХІНА

РОЗРОБКА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИДУ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ІЗ ЗАГАЛЬНИМ ПІДВИЩЕННЯМ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ПАСАЖИРІВ	30
---	----

Н. О. ДАНКЕВИЧ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ РІШЕНЬ У СКЛАДІ ПРОЕКТУ ОРГАНІЗАЦІЇ БУДІВНИЦТВА	38
---	----

А. О. КИЧМА, Й. Й. ЛУЧКО, І. Б. КРАВЕЦЬ

ПРОБЛЕМИ ОПОРНИХ КОНСТРУКЦІЙ НАДЗЕМНИХ ДІЛЯНОК НАФТОГАЗОПРОВІДІВ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	44
---	----

В. П. КОЖУШКО, С. Н. КРАСНОВ

АНАЛІЗ РОБОТИ ЛОТКОВОГО ЕЛЕМЕНТА ПРЯМОКУТНОЇ ОПРАВИ ПІШОХІДНОГО ТУНЕЛЮ.....	56
--	----

В. Д. ПЕТРЕНКО, О. Л. ТЮТЬКІН, В. І. КРИСАН, В. В. КРИСАН

ВІДНОВЛЕННЯ МІЦНОСНИХ ТА ДЕФОРМАТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ТА ЙОГО ОСНОВИ АРМУВАННЯМ ҐРУНТОЦЕМЕНТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ.....	65
---	----

О. М. ПІШІНЬКО, А. В. РАДКЕВИЧ, О. В. ГРОМОВА,

А. В. КРАСНЮК, А. С. ЩЕРБАК, Н. П. БОЧАРОВА

СТРАТЕГІЯ ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ ТА БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ І ЗАЛІЗНИЦЬ	75
---	----

В. В. МАРОЧКА, С. Г. БОБОШКО

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ДІЛЯНОК З ПЕРЕХІДНИМ ПОКАЗНИКОМ ЖОРСТКОСТІ У СВІТОВОМУ МОСТОБУДІВНИЦТВІ	82
--	----

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 658.5.012.34:69-027.25

І. А. АРУТЮНЯН*

*Кафедра «Промислове та цивільне будівництво», Інженерний інститут Запорізького національного університету, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38(066) 900 78 28, ел. пошта iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-5049-3742

БУДІВЕЛЬНА ЛОГІСТИКА ЯК АЛЬТЕРНАТИВА РОЗВИТКУ ВИРОБНИЧОГО КЛАСТЕРУ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

Мета. Впровадження будівельної логістики як сучасного інноваційного підґрунтя вирішення організаційно-технологічних завдань задля нарощення ефективності будівельного сектору (продукти, послуги та організації учасники). **Методика.** Функціональність будівельної галузі України за останні роки потребує виокремити цілу низку проблем, що негативно впливають на стан сучасного розвитку будівництва, як складної організаційно-технологічно-економічної системи. Адже будівельний сектор забезпечує ефективне продукування якісного продукту та послуги, які слугують базисом розвитку інновацій. Будівельна логістика дає можливість поліпшити методи організації будівельного виробництва, за рахунок комплексного управління матеріальними і інформаційними потоками в межах системи виробничий кластеру. **Результати.** Результати дають можливість створення спеціалізованої логістичної системи, що дозволяє взаємно ув'язати сутність виробничого кластеру, його аналітичні можливості та інформаційні моделі в умовах нестійкого ринку. Сформована система поглядів на вдосконалення господарської діяльності підприємств виробничого кластеру будівельної галузі шляхом оптимального управління матеріальними потоками. **Наукова новизна.** Формування науково-практичних основ раціонального управління виробничим кластером будівництва на базі створення спеціалізованої системи знань – «будівельної логістики». **Практична значимість.** Вклад в рішення багатьох складних організаційних завдань, які супроводжуються проблемами розвитку будівництва, забезпечується за рахунок організації надійної системи забезпечення.

Ключові слова: будівельна логістика; виробничий кластер; організація будівельного виробництва; матеріальні ресурси; система забезпечення; будівельний комплекс

Вступ

Аналіз стану функціонування будівельної галузі України за останні роки дозволяє виділити цілу низку проблем, які негативно впливають на розвиток будівництва як однієї із складової організаційно-технологічно-економічної системи. Адже будівельний сектор забезпечує ефективне продукування якісного продукту та послуги, які слугують базисом розвитку інновацій.

Однією з таких проблем є відсутність надійної спеціалізованої логістичної системи, що взаємно ув'язувала б системи матеріального забезпечення та комплектації матеріалів та виробів та їх централізованого постачання на об'єкти будівництва. Ґрунтовність виокремлення визначеної проблематики пов'язано з: низьким технологічним рівнем виробництва будівельних матеріалів, конструкцій, виробів; низьким рівнем якості будівельних матеріалів, конструкцій, виробів; відсутністю сертифікації

на будівельні матеріали, конструкції, вироби; відсутністю чіткого часового постачання; низьким рівнем виробничо-комплектувальної бази. Саме сукупність визначених факторів в кінцевому підсумку призводить до цілої низки негативних явищ у будівництві, а саме: невиконання умов договорів підяду в частині термінів реалізації програм будівельно-монтажних робіт; зростання вартості будівництва; зниження рівня конкурентоздатності підприємства на ринку (Абрамов, & Минаєнкова, 1999; Кирнос, Залунин, & Дадиверина, 2005; Радкевич, & Арутюнян, 2014).

Сучасна галузь будівництва є фундатором розвитку народногосподарського комплексу держави де основним завданням є пошук оптимального варіанту взаємної узгодженості технології виконання будівельних робіт та організації безпосередньо будівельного процесу, що невід'ємно пов'язано з організацією всі учасників будівельного ринку.

Все наведене об'єктивно вказує на нагальну

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

необхідність поглибленого дослідження використання теоретичних, методологічних і практичних здобутків, що в цілому дозволить наростити потенціал будівельних організацій, підприємств будівельної індустрії, інтенсифікувати їх конкурентоздатність на ринку.

Тому розгляд науково-прикладної необхідності проведення досліджень в сферах організації та ефективного продукування якісно нового будівельного продукту потребує розглядати будівельний сектор (продукти, послуги та організації учасники) як складну організаційно-технологічно-економічну систему. Довести раціональність виокремлення вищезазначеної спеціалізованої логістичної системи в такий спосіб, щоб взаємно ув'язати сутність виробничого кластеру, його аналітичні можливості та інформаційні моделі в умовах нестійкого ринку.

Таким чином, актуальним є наукове обґрунтування і вирішення науково-прикладної проблеми забезпечення ефективного продукування якісного продукту та послуги як системних елементів розвитку інновацій в будівництві. Визначена проблематика дозволяє обґрунтувати необхідність створення якісно-нової спеціалізованої науково-практичної підгалузі знань – *будівельної логістики* (Кирнос, Залунин, & Дадиверина, 2005; Павлов, И. Д., Арутюнян, Павлов, Ф. И., & Терех, 2016; Арутюнян (Ред.), 2017; Арутюнян, 2019; Арутюнян, & Коваленко, 2019).

Мета

Розгляд надійної системи забезпечення та комплектації будівельних об'єктів за рахунок інноваційних організаційних підходів будівельної логістики, які впроваджують оптимальні умови безперебійного виконання будівельних процесів.

Методика

Аналіз сучасних умов нестійкого ринку диктує необхідність взяти на озброєння раціональні методи управління підприємствами будівельної індустрії і будівельними організаціями на принципах логістичного управління як дієвого інструментарію, який здатний забезпечити успішне рішення найбільш суттєвих проблем за рахунок оптимального функціонування матеріальних, інформаційних і виробничих сторін виробничого кластеру з урахуванням надійного взаємозв'язку із зовнішнім середовищем (Ста-

ханов, (Ред.), 1998; Неруш, 2006; Денисенко, Лековець, & Михайлова, (Ред.), 2010; Арутюнян, 2013; Павлов, И. Д., Арутюнян, Павлов, Ф. И., & Терех, 2016; Радкевич, Арутюнян, Данкевич, & Сайков, 2017).

Вищезазначене обґрунтовує необхідність створення якісно нової спеціалізованої науково-практичної підгалузі знань – *будівельної логістики*.

Будівельна логістика – відокремлено-трансформаційна система управління в будівництві, що складається з складних організаційно-структурованих виробничих підсистем (елементів цілісної системи) та дозволяє ефективно взаємно ув'язати сутність виробничого кластеру, його аналітичні можливості та інформаційні моделі в умовах нестійкого ринку за рахунок спеціалізованого науково-практичного інструментарію.

Існуюча система забезпечення об'єктів будівництва має істотні недоліки, серед яких потрібно відзначити недостатній зв'язок із підприємствами-постачальниками, транспортними організаціями та будівельними фірмами. Щоб вдосконалити цей зв'язок, забезпечити ефективну взаємодію в процесі комплектації будівництва матеріалами, виробами необхідна надійна система забезпечення та комплектації. Як будь-яка форма інженерної підготовки виробництва виробничо-технологічна комплектація повинна впроваджувати новий підхід у вигляді формування логістичної системи будівельної логістики.

Будівельна логістика базується на управлінні поточкорухом, враховуючи міжсистемні зв'язки виробничого кластеру у вигляді *надійної логістичної системи*.

Порівняльні характеристики традиційного матеріально-технічного забезпечення будівництва і з урахуванням концепцій будівельної логістики вдосконалена форма організації матеріально-технічного забезпечення будівництва (рис. 1) (Кирнос, Залунин, & Дадиверина, 2005).

Нами розроблена оптимальна форма організації матеріально-технічного забезпечення у будівництві за рахунок логістики (рис. 2).

Результати

Новизна логістики полягає, перш за все, в зміні пріоритетів між різними видами господарської діяльності підприємств виробничого кластеру будівельної галузі на користь поси-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

лення значущості управління матеріальними потоками. Лише зараз фахівці усвідомили, яким потенціалом підвищення ефективності володіє раціоналізація поточкових процесів, особливо, на нашу думку, в організації управління будівельними підприємствами та підприємствами будівельної індустрії (Арутюнян (Ред.), 2017; Денисенко, Лековець, & Михайлова, (Ред.), 2010).

Принципи логістики наступні (Стаханов, (Ред.), 1998; Арутюнян, 2013; Денисенко, Лековець, & Михайлова, (Ред.), 2010; Jonsons, & Wood, 2007):

1. Саморегулювання (збалансованість виробництва).
2. Гнучкість (можливість внесення змін в графік закупівлі матеріалів зміна в термінах постачання).
3. Мінімізація об'ємів запасів.
4. Моделювання руху матеріальних потоків.
5. Управління матеріальними потоками.
6. Надійність в забезпеченні ресурсами.
7. Економічність (скорочення рівня запасів продукції у споживача до 30...45 %, підвищення рівня інформаційного обслуговування, транспорт).



Рис. 1. Стандартна форма організації матеріально-технічного забезпечення у будівництві

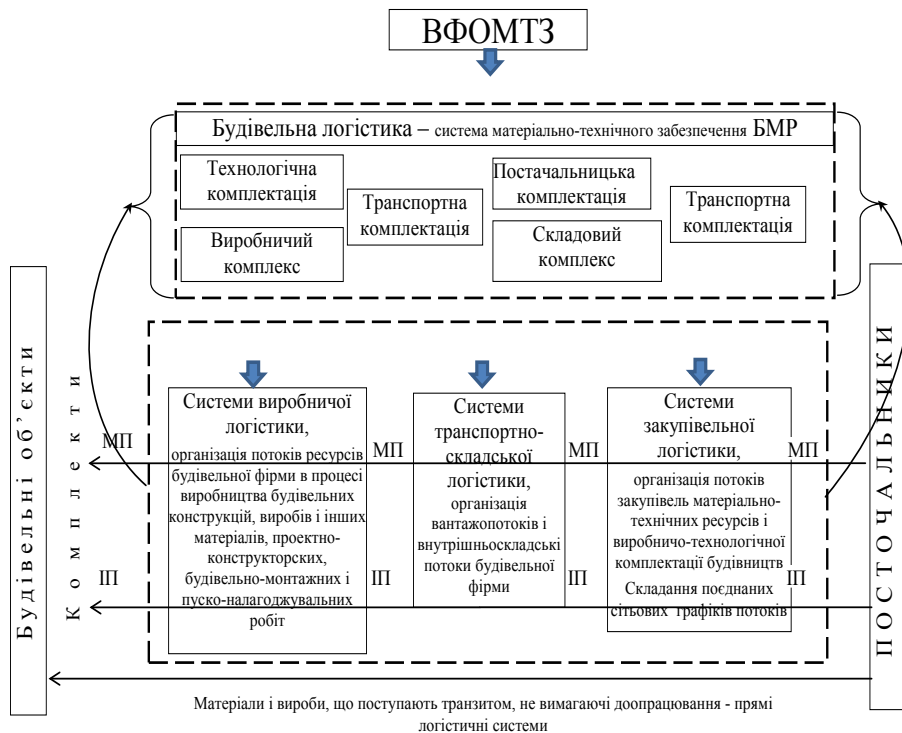


Рис. 2. Вдосконалена форма організації матеріально-технічного забезпечення у будівництві за рахунок логістики

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

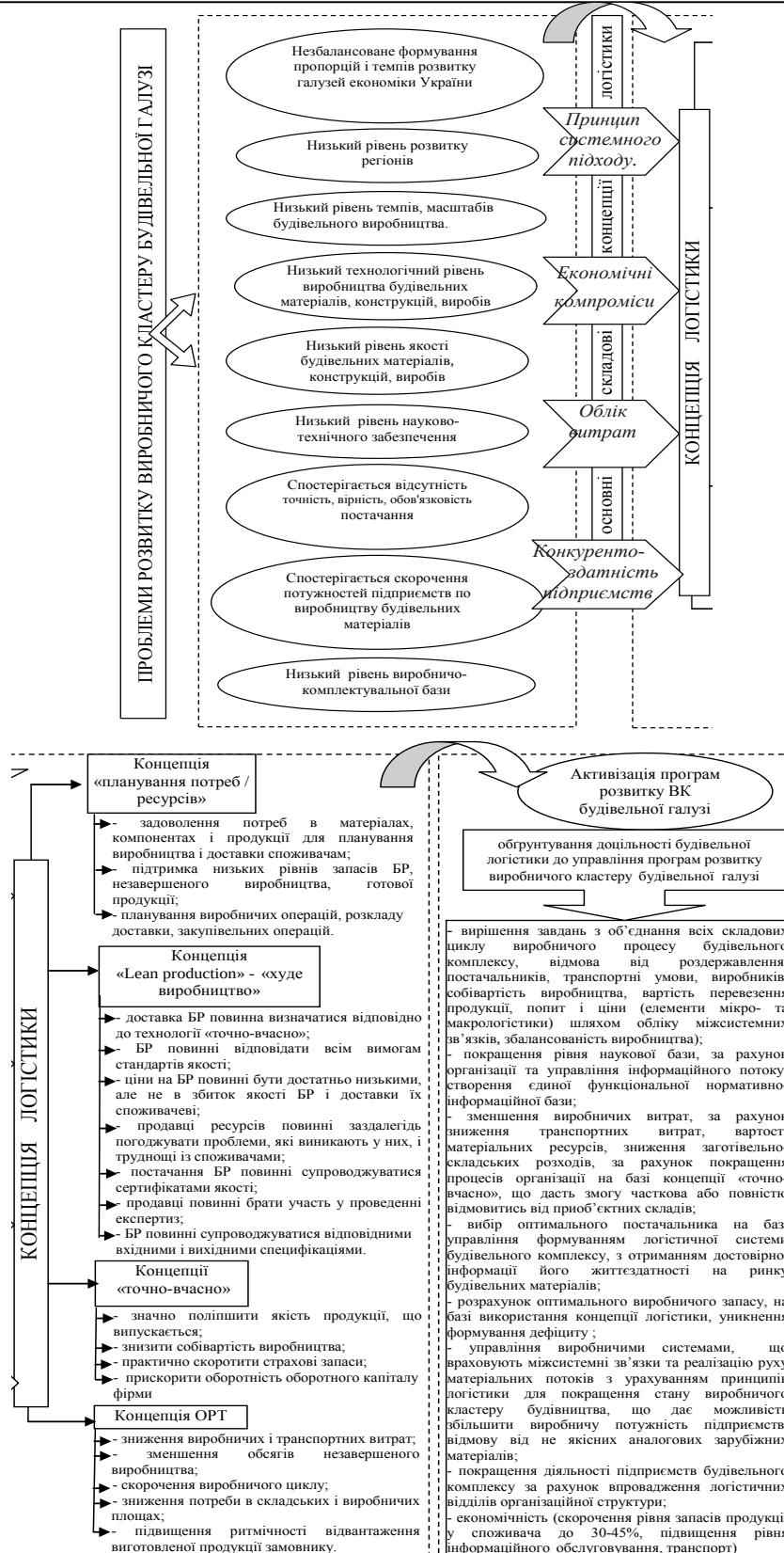


Рис. 3. Формулювання концепції розвитку виробничого кластеру будівельної галузі на основі впровадження концепції логістики

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Розглянувши принципи логістики, можна сформулювати систему поглядів на вдосконалення господарської діяльності підприємств виробничого кластеру будівельної галузі шляхом оптимального управління матеріальними потоками, що буде відображати будівельна логістика.

Основними складовими концепції логістики є: системний підхід, ухвалення рішень на основі економічних компромісів; облік витрат, підвищення конкурентоспроможності підприємств (Стаханов, (Ред.), 1998; Moller, & Johanser, 2005; Неруш, 2006; Денисенко, Лековець, & Михайлова, (Ред.), 2010; Арутюнян, 2013).

Завдяки сучасним змінам концепція організації та управління програмами розвитку виробничого кластеру (ПРВК) будівельної галузі передбачає кардинальне переосмислення теорії і практики управління підприємствами в ринковій трансформації. Удосконалення даної концепції можна провести за рахунок будівельної логістики, що включає процеси управління логістичними системами в ПРВК будівельної галузі, використовуючи міжсистемні зв'язки, на базі впровадження концептуальних основ логістики. Вирішення даних завдань має сприяти розв'язуванню такої важливої проблеми національної економіки, як підвищення результативності роботи суб'єктів господарювання на основі організації та управління ефективним рухом матеріальних потоків-ресурсів та інформаційних потоків, що їх супроводжують, в логістичних системах будівельної логістики з метою розвитку програм виробничого кластеру будівельної галузі (див. рис. 3).

Застосування концепції логістики є одним з основних напрямів діяльності щодо зниження витрат на зведення будівель і споруд. Тому логістична діяльність в будівництві носить інтегрований характер і активно проявляє себе в межах конкретного комплексу транспортно-складського-виробничого комплексу будівельних ресурсів (БР), що відповідає задачам будівельної логістики (Стаханов, (Ред.), 1998; Павлов, & Радкевич, 2004; Радкевич, & Арутюнян, 2014; Арутюнян (Ред.), 2017). Основу інтегрованої системи будівельної логістики утворюють такі найважливіші сфери бізнесу як закупівля сировини і матеріалів, потоки матеріалів, транспорт, інформація та інші. Успіх в будівельному бізнесі залежить не тільки від результатів діяльності окремої будівель-

ної організації, але і від її партнерів-постачальників.

Однією з особливостей будівельної логістики в будівельному виробництві є спільна діяльність учасників будівельної логістики при просуванні матеріалів і виробів від постачальників на об'єкти будівництва.

Вищезазначене веде до розробці технології формування нових концептуальних основ розвитку виробничого кластеру будівельної галузі за рахунок впровадження концепції логістики. Слід зазначити, що будівельна логістика, яка заснована на основних принципах логістики – це новітній інструмент (оптимізації, управління, організації, контролю), що дасть можливість отримати ефективність і конкурентоспроможність будь-якому підприємству виробничого кластеру будівництва.

Наукова новизна та практична значимість

Полягає в обґрунтуванні створення підгалузі знань (будівельної логістики) та розробці її цілісного науково-практичного інструментарію щодо вирішення організаційно-технологічно-економічних завдань будівництва.

Висновки

Аналіз проведених досліджень показав, потенційні можливості будівельної логістики, як інструменту розвитку будівництва, трансформовані у реальні логістичні системи.

Процеси розвитку виробничого кластеру (РВК) будівельної галузі сформульовано у вигляді логістичної системи будівельної логістики, що забезпечує високим ступенем надійності оптимальні умови вдосконалення механізму оцінки та вибору раціональних організаційних та управлінських рішень, спрямованих на управління матеріальними, інформаційними потоками, які відповідають технології і організації будівельного процесу, що дає зниження собівартості будівельної продукції за рахунок мінімізації витрат.

Застосування теорії систем до процесу управління дозволяє вивчати організацію як єдність складових її частин (цілей, структури, завдань, технології, ресурсів), що поєднуються із зовнішнім середовищем (макросередовищем).

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Jonsons, J. C. & Wood, D. F. (2007). *Contemporary Logistics*. New York: MacMillan.
- Moller, C., & Johansen, J. (2005). *Paradigms in Logistics*. Department of Production. Denmark: University of Aalborg.
- Абрамов Л. И., & Минаенкова, Э. А. (1999). *Организация и планирование строительного производства. Управление строительной организацией*. Москва: Стройиздат.
- Арутюнян, І. А. (2013). *Організація та управління будівельним комплексом на основі логістичних моделюючих умов*. Запоріжжя: ЗДІА.
- Арутюнян, І. А. (Ред.). (2017). *Наукові основи розвитку будівельної галузі України*. Запоріжжя: ЗДІА.
- Арутюнян, І. А. (2019). Управління потоковими процесами в організаційно-технологічно-економічних системах підприємств будівельної галузі з метою підвищення їх конкурентоспроможності в умовах нестійкого ринку. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, 39, 71-78.
- Арутюнян, І. А., & Коваленко, М. Г. (2019). Особливості програмування задач оптимізаційно-організаційних процесів в будівництві за рахунок логістичних методів. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, 39, 114-119.
- Денисенко, М. П., Лековець, П. Р., & Михайлова, Л. І. (Ред.). (2010). *Організація та проектування логістичних систем: підручник*. Київ: Центр учбової літератури.
- Кирнос, В. М., Залунин, В. Ф., & Дадиверина, Л. Н. (2005). *Организация строительства: учебник*. Днепропетровск: Пороги.
- Неруш, Ю. М. (2006). *Логистика: учебник*. Москва: ТК Велби, Проспект.
- Стаханов, В. Н. (Ред.). (1998). *Логистическая организация капитального строительства*. Ростов на Дону.
- Радкевич, А. В., & Арутюнян, І. А. (2014). Організація системи матеріального забезпечення будівництва. *Наука та прогрес транспорту*, 3(51), 146-159.
- Радкевич, А. В., Арутюнян, І. А., Данкевич, Н. О., & Сайков, Д. В. (2017). Детермінація концептуальних підходів щодо облігаторності впровадження оптимізаційних моделей будівельного виробництва для вітчизняних підрядних підприємств. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 12, 78-86.
- Павлов, І. Д., & Радкевич, А. В. (2004). *Модели управления проектами: учебное пособие*. Запорожье: ГУ «ЗИГМУ».
- Павлов, І. Д., Арутюнян, І. А., Павлов, Ф. І., & Терех, М. Д. (2016). Системологія в розвитку і управлінні виробничими системами. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, 2(215), 37-45.

І. А. АРУТЮНЯН*

* Кафедра «Строительное и гражданское строительство», Запорожская государственная инженерная академия, пр. Соборный, 226, Запорожье, Украина, 69006, тел. +38(066) 900 78 28, эл. почта iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-5049-3742

СТРОИТЕЛЬНАЯ ЛОГИСТИКА КАК АЛЬТЕРНАТИВА РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КЛАСТЕРА СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Цель. Внедрения строительной логистики как современной инновационной основы решения организационно-технологических задач для увеличения эффективности строительного сектора (строительной продукции, услуг и организации участники). **Методика.** Функциональность строительной отрасли Украины за последние годы требует выделить целый ряд проблем, которые негативно влияют на состояние современного развития строительства, как сложной организационно-технологическо-экономической системы. Ведь строительный сектор обеспечивает эффективное продуцирование качественного продукта и услуги, которые служат базисом развития инноваций. Строительная логистика дает возможность улучшить методы организации строительного производства, за счет комплексного управления материальными и информационными потоками в пределах системы производственный кластера. **Результаты.** Результаты дают возможность создания специализированной логистической системы, что позволяет взаимно увязать сущность производственного кластера, его аналитических возможностей и информационных моделей в условиях неустойчивого рынка. Сформулирована система взглядов на совершенствование хозяйственной деятельности предприятий производственного кластера строительной отрасли путем оптимального управления материальными потоками. **Научная новизна.** Формирование научно-практических основ рационального управления произ-

© І. А. Арутюнян, 2019

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

водственным кластером строительства на базе создания специализированной системы знаний – «строительной логистики». **Практическая значимость.** Вклад в решения многих сложных организационных задач, которые сопровождаются проблемами развития строительства, обеспечивается за счет организации надежной логистической системы.

Ключевые слова: строительная логистика; производственный кластер; организация строительного производства; материальные ресурсы; система обеспечения; строительный комплекс

I. A. ARUTYUNYAN*

* Department «Building and Civil Building», Zaporizhzhya State Engineering Academy, 226 Sobornyi ave., Zaporizhzhya, Ukraine, 69006, tel. +38(066) 900 78 28, e-mail iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-5049-3742

BUILDING LOGISTIC AS ALTERNATIVE OF DEVELOPMENT OF PRODUCTIVE CLUSTER OF BUILDING INDUSTRY

Purpose. Implementation of construction logistics as a modern innovative basis for solving organizational and technological problems to increase the efficiency of the construction sector (construction products, services and organization participants). **Methodology.** The functionality of the construction industry in Ukraine in recent years requires a number of problems that negatively affect the state of the modern development of construction, as a complex organizational, technological and economic system. After all, the construction sector ensures the efficient production of a quality product and service that serves as the basis for the development of innovations. Construction logistics makes it possible to improve the methods of organizing construction production, due to the integrated management of material and information flows within the production cluster system productive cluster. **Findings.** The results make it possible to create a specialized logistics system that allows you to interlink the essence of the production cluster, its analytical capabilities and information models in an unstable market. The system of views on improving the economic activities of enterprises in the manufacturing cluster of the construction industry through optimal material management. **Originality.** Formation of the scientific and practical foundations of the rational management of the construction production cluster based on the creation of a specialized knowledge system – “construction logistics”. **Practical value.** Contribution to the solution of many complex organizational problems that are accompanied by problems in the development of construction is ensured by organizing a reliable logistics system.

Keywords: construction logistics; production cluster; organization of construction production; material resources; support system; building complex

REFERENCES

- Jonsons, J. C. & Wood, D. F. (2007). *Contemporary Logistics*. New York: MacMillan. (in English)
- Moller, C., & Johansen, J. (2005). *Paradigms in Logistics. Department of Production*. Denmark: University of Aalborg. (in English)
- Abramov L. I., & Minaenkova, Je. A. (1999). *Organizacija i planirovanie stroitel'nogo proizvodstva. Upravlenie stroitel'noj organizaciej*. Moskva: Strojizdat. (in Russian)
- Arutunian, I. A. (2013). *Orhanizatsiia ta upravlinnia budivelnyh kompleksom na osnovi lohistychnykh modeliuvannykh umov*. Zaporizhzhia: ZDIA. (in Ukrainian)
- Arutunian, I. A. (Red.). (2017). *Naukovi osnovy rozvytku budivelnoi haluzi Ukrainy*. Zaporizhzhia: ZDIA. (in Ukrainian)
- Arutunian, I. A. (2019). *Upravlinnia potokovymy protsesamy v orhanizatsiino-tekhnohichno-ekonomichnykh systemakh pidpriemstv budivelnoi haluzi z metoiu pidvyshchennia yikh konkurentospromozhnosti v umovakh nestii-koho rynku. Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 39, 71-78. (in Ukrainian)
- Arutunian, I. A., & Kovalenko, M. H. (2019). *Osoblyvosti prohramuvannia zadach optymizatsiino-orhanizatsiinykh protsesiv v budivnytstvi za rakhunok lohistychnykh metodiv. Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 39, 114-119. (in Ukrainian)
- Denysenko, M. P., Lekovets, P. R., & Mykhailova, L. I. (Red.). (2010). *Orhanizatsiia ta proektuvannia lohistychnykh system: pidruchnyk*. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury. (in Ukrainian)
- Kirnos, V. M., Zalunin, V. F., & Dadiverina, L. N. (2005). *Organizacija stroitel'stva: uchebnik*. Dnepropetrovsk: Porogi. (in Russian)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- Nerush, Ju. M. (2006). *Logistika: uchebnik*. Moskva: TK Velbi, Prospekt. (in Russian)
- Stahanov, V. N. (Red.). (1998). *Logisticheskaja organizacija kapital'nogo stroitel'stva*. Rostov na Donu. (in Russian)
- Radkevych, A. V., & Arutiunian, Y. A. (2014). Orhanizatsiia systemy materialnoho zabezpechennia budivnytstva. *Nauka ta prohres transportu*, 3(51), 146-159. (in Ukrainian)
- Radkevych, A. V., Arutiunian, I. A., Dankevych, N. O., & Saikov, D. V. (2017). Determinatsiia kontseptualnykh pid-khodiv shchodo oblihatornosti vprovadzhennia optymizatsiinykh modelei budivelnoho vyrobnytstva dlia vitchyz-nianykh pidriadnykh pidpriemstv. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 12, 78-86. (in Ukrainian)
- Pavlov, I. D., & Radkevich, A. V. (2004). *Modeli upravlenija proektami: uchebnoe posobie*. Zaporozh'e: GU «ZIGMU». (in Russian)
- Pavlov, I. D., Arutjunjan, I. A., Pavlov, F. I., & Tereh, M. D. (2016). Sistemologija v razvitii i upravlenii proizvodstvennymi sistemami. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, 2(215), 37-45. (in Russian)

Надійшла до редколегії 06.11.2019

Прийнята до друку 29.11.2019

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 625.7/8-049.32

І. А. АРУТЮНЯН^{1*}, А. В. БАНАХ², Є. Е. АРУТЮНЯН³

^{1*} Кафедра промислового та цивільного будівництва, Інженерний інститут Запорізького національного університету, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (066) 900 78 28, ел. пошта iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-5049-3742

² Кафедра міського будівництва і господарства, Інженерний інститут Запорізького національного університету, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. + 38 (095) 076 28 62, ел. пошта andrew.banakh@gmail.com, ORCID 0000-0002-0517-2157

³ Кафедра міського будівництва і господарства, Інженерний інститут Запорізького національного університету, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (095) 599 11 56, ел. пошта arytynyanevgen@gmail.com

ОПТИМІЗАЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СХЕМ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТ ЗА РАХУНОК ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА ТА РЕМОНТУ ДОРОЖНЬОГО ПОЛОТНА

Мета. Дослідження теоретико-методологічних основ та інноваційних заходів з організації покращення функціонально-планувальної інфраструктури міст України за рахунок дорожнього будівництва та ремонту сучасного стану дорожнього покриття. **Методика.** Важливу роль в організації функціонально-планувальної інфраструктури міст є дослідження та можливості застосування сучасних вітчизняних та зарубіжних технологій розробки транспортної мережі. Перед будівельною галуззю поставлені актуальні завдання, рішення яких забезпечує економічні інтереси держави, задоволення потреб держави, населення в удосконаленні й розвитку автомобільних доріг загального користування, розширення можливостей виробничого та соціального розвитку підприємств дорожнього господарства, підвищення ефективності використання матеріальних, фінансових та інших ресурсів на основі спільної діяльності, розподілу праці і кооперації. Можливості застосування при дорожньому будівництві сучасних логістичних підходів, в якості удосконалення організаційно-технологічних рішень. **Результати.** В роботі проведено аналіз сучасного стану дорожнього покриття. Визначені негативні чинники впливу на програми розвиток будівництва в сфері дорожнього будівництва та ремонту дорожнього покриття. Запропоновано прогресивні напрямки в проектуванні автомобільних доріг. **Наукова новизна.** Сформовано теоретико-методологічні напрямки організаційно-технологічних рішень при дорожньому будівництві та ремонті дорожнього покриття, які впливають на будівельні процеси, на організацію матеріально-технічного забезпечення, фінансування. **Практична значимість.** Теоретико-методологічним інструментом аналізу є показники рівня доріг України. З'ясовано, що ремонт дорожнього покриття можливий за рахунок удосконалення організаційно-технологічних рішень, враховуючи інноваційні технології та процеси організації.

Ключові слова: будівельний сектор; дороги; дорожнє покриття; будівництво; ремонт; організаційно-технічні рішення

Вступ

Проблема розвитку транспортної інфраструктури країни, безумовно, є ключовою для української економіки, адже від її вирішення багато в чому залежать перспективи розвитку країни в цілому.

Сучасний стан доріг – найгостріша проблема транспортної інфраструктури країни, яка є ключовою для української економіки, оскільки від її вирішення багато в чому залежать перспективи її розвитку. На жаль, недооцінювання значення дорожньої галузі протягом багатьох

років призвела до катастрофічного стану дорожнього полотна в багатьох регіонах України. Це й не дивно, адже довгі роки дорожня галузь фінансувалася за залишковим принципом. 97 % українських доріг перебувають у незадовільному стані, що згубно позначається на економіці країни.

Вся складність ситуації полягає ще й у тому, що подібне безгосподарне ставлення до державного майна, яким є автомобільні дороги загального користування, призвело до того, що деякі з них взагалі немає сенсу ремонтувати – легше і правильніше будувати замість них нові.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Зрозуміло, будівництво нової автомобільної дороги – задоволення не з дешевих. У зв'язку з тим, що державних коштів заледве вистачає на ямковий ремонт і повернення взятих раніше кредитів, виснажена дорожня галузь знаходиться у пошуках нових джерел фінансування, знову і знову звертаючи свій погляд на альтернативні варіанти, одним з яких є концесія на будівництво та експлуатацію автомобільних доріг (Кудрицька, 2010; Галушко, 2011; Прейгер, Собкевич, & Ємельянова, 2011; Кулицький, 2017).

Мета

Згідно проаналізованої проблеми витікає необхідність в більш детальному дослідженні програм розвитку будівельної галузі в розрізі дорожнього будівництва та ремонту сучасного стану дорожнього покриття, що є суттєвим чинником покращення загальної функціонально-планувальної інфраструктури міст України.

Методика

Мережа автомобільних доріг – одна із складових єдиної транспортної системи України, що задовольняє потреби суспільства в пасажирських та вантажних перевезеннях автомобільним транспортом. Інтеграція України у світове господарство, розширення торговельно-економічних зв'язків з країнами близького та дальнього зарубіжжя, подальший розвиток галузей економіки, незадовільний транспортно-експлуатаційний стан переважної більшості автомобільних доріг призводить до необхідності розвитку вітчизняної дорожньої мережі (ДБН Д.2.2-27-99, 2000; Кизима, 2009).

Галузь дорожнього будівництва – одна з найважливіших сходинок нашої держави до Євроінтеграції. Від майстерності роботи дорожників залежить своєчасність здійснення перевезень, задоволення потреб економіки та її подальший розвиток. Будівництво та реконструкція автомобільних доріг стають якіснішими, сучаснішими. Нинішні автотранспортні шляхи є ознакою модернізації життя, доказом стабільності, динамічності, європейського розвитку нашої країни (Новікова, 2003; Пашенко, & Никифоров, 2008; Мікловда, & Шевчук, 2011).

Слід відзначити, що з 2018 року відбулися певні зміни в сфері дорожнього будівництва. За останні роки уряд суттєво збільшив витрати на

ремонт і будівництво автомобільних шляхів та взявся за наведення ладу в автодорожньому господарстві. Однак, необхідно враховувати застарілість цієї проблеми і масштаби країни, а також сьогодинішній стан країни, мається на увазі політично-економічні чинники, які негативно позначилися, на економіці країни в цілому (АТО/ООС, невиконання реформ, нестабільність гривні, тощо). Тому стає очевидним, що розв'язання проблем, накопичених у цій сфері української економіки, вимагатиме величезних коштів протягом вельми значного періоду часу.

Нажаль, загальнодоступні дані державної статистики не дають чіткої кількісної характеристики цієї проблеми у нашій державі. Зокрема, відповідні органи державного управління не надають для широкого публічного доступу детальної статистичної інформації саме про якісний стан дорожнього покриття на автомобільних шляхах, які згідно з документами вважаються дорогами з твердим покриттям, по регіонах і Україні в цілому. Складно сказати чи така зведена в цілому по Україні точна статистична інформація існує взагалі. З іншого боку, саме аналіз повідомлень ЗМІ надає уявлення про масштаби руйнації автомобільних доріг в Україні (Новікова, 2003; Прейгер, Собкевич, & Ємельянова, 2011; Кулицький, 2017).

Результати

Проблемами в галузі дорожнього будівництва та ремонту дорожнього покриття присвячені наукові праці таких фахівців, як Кудрицька Н. В., Мікловда В. П., Пашенко Ю. Є., Пшінько О. М., Радкевич А. В. та інші (Пирожков, Прейгер, & Малярчук, 2005; Пашенко, & Никифоров, 2008; Мікловда, & Шевчук, 2011; Радкевич, Арутюнян, & Сайков, 2018).

Дослідивши наукові праці (Юхновський, Лебеда, & Попова, 2004; Шевчук, 2011; Lytvynenko, & Smilyanets, 2013; Lytvynenko, & Gasenko, 2015), нами було виділено три основних негативних чинників, які впливають на програми активізації розвитку дорожнього будівництва та ремонту, дорожнього покриття (рис. 1).

Вихід зі складної ситуації лежить ще на стадії проектування. Тому нами було розглянуто прогресивні напрямки в проектуванні автомобільних доріг, які полягають в наступному:



Рис. 1 Чинники негативного впливу на програми розвитку в сфері дорожнього будівництва та ремонту дорожнього покриття

1. Надання проектувальникам більшої творчої самостійності.
2. Регламентация не одного, а декількох можливих технічних рішень основних питань (варіантне проектування).
3. Варіантний метод ухвалення рішень при проектуванні основних елементів дороги, організації робіт і складанні кошторисів.
4. Застосування стадійного будівництва дорожнього одягу, перехресть і споруд дорожньої і автотранспортної служб.
5. Пред'явлення єдиних вимог до геометричних характеристик доріг всіх категорій (радіуси закруглень в плані і профілі, похили), якщо це не викликає істотного дорожчання робіт.
6. Вирішення питань обходу населених пунктів або проходу через них (з вживанням заходів за безпекою руху) варіантним порівнянням;
7. Обов'язковість організації дорожнього будівництва потоковим методом, як і всіх лінійно-протяжних об'єктів.
8. Обов'язковість застосування інноваційних процесів при забезпеченні необхідними будівельними матеріалами, використовуючи логістичні методи та підходи.
9. Встановлення обов'язковості ув'язки продуктивності підприємств дорожнього будівництва із швидкістю потоку.
10. Встановлення стислих, але технічно обґрунтованих термінів будівництва автомобільних доріг.
11. Уточнення номенклатури робіт, які допускають виробництво їх в зимовий час без

значного дорожчання і зниження якості робіт.

12. Встановлення температурних обмежень виробництва робіт по улаштуванню покриттів.

Вдосконалення конструкцій дорожнього одягу забезпечується вживанням на практиці результатів наукових розробок за теоріями розрахунку дорожнього одягу, як багатшарових конструкцій з врахуванням умов їх роботи залежно від величини і інтенсивності навантажень, геофізичної характеристики місцевості.

Наукова новизна та практична значимість

Полягає в потребі програм розвитку та активізації дорожнього будівництва та ремонту дорожнього покриття за рахунок удосконалення організаційно-технологічних рішень, враховуючи інноваційні технології та процеси організації.

Висновки

З проведеного дослідження стану доріг в Україні віддзеркалюється потреба в розвитку цього напрямку враховуючи інноваційні технології та досвід зарубіжних будівельних організацій, напрям яких пов'язаний з дорожнім будівництвом та ремонтом дорожнього полотна.

Сформовано теоретико-методологічні засади організаційно-технологічних рішень при дорожньому будівництві та ремонту дорожнього покриття, які впливають на будівельні процеси, на організацію матеріально-технічного забезпечення та фінансування.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Lytvynenko, T., & Gasenko, L. (2015). Peculiarities of infrastructure designing for the movement of individual environmental friendly vehicles. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 43, 2, 81-86.
- Lytvynenko, T. P., & Smilyanets, L. V. (2013). The feasibility of the integrating of cycling in the road network of settlements. *Geodesy, Architecture & Construction: Proceedings of the 5th International Conference of Young Scientists GAC 2013*, 34-37.
- ДБН Д.2.2-27-99 (2000). *Автомобільні дороги: збірник 27*. Київ: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України.
- Галушко, В. О. (2011). Проблеми та перспективи розвитку дорожньої галузі. *Дорожня галузь*, 2, 12-15.
- Заворицкий, В. И., Старовойда, В. П., Белятинский, А. А. и др. (1996). *Проектирование и строительство автомобильных дорог: справочник*. Київ: Техніка.
- Кизима, С. С. (2009). *Експлуатація автомобільних доріг: посібник*. Київ: МОНУ/НТУ.
- Кудрицька, Н. В. (2010). *Транспортно-дорожній комплекс України: сучасний стан, проблеми та шляхи розвитку*. Київ: НТУ.
- Кулицький, С. (2017). Проблеми розвитку мережі автомобільних доріг в Україні. *Україна: події, факти, коментарі*, 22, 56-65.
- Мікловда, В. П., & Шевчук, Я. В. (2011). Сучасний стан та рівень розвитку автомобільної інфраструктури України. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Економіка»*, 32, 6-13.
- Новікова, А. М. (2003). *Україна в системі міжнародних транспортних коридорів: посібник*. Київ: НІПБМ.
- Пашенко, Ю. С., & Никифоров, О. І. (2008). *Транспортно-дорожній комплекс України в процесах міжнародної інтеграції*. Ніжин: Аспект-Поліграф.
- Пирожков, С., Прейгер, Д., & Малярчук, І. (2005). Проблеми реалізації транзитного потенціалу України у контексті розширення ЄС і формування ЄП. *Економіка України*, 3, 4-19.
- Прейгер, Д. К., Собкевич, О. В., & Ємельянова, О. Ю. (2011). *Реалізація потенціалу транспортної інфраструктури України в стратегії посткризового економічного розвитку*. Київ: НІСД.
- Радкевич, А. В., Арутюнян, І. А., & Сайков, Д. В. (2018). Оптимізація організаційних процесів будівельного виробництва як формотворча складова конкурентоспроможності підприємств. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, 35, 64-73.
- Шевчук, Я. В. (2011). Регіональна політика розвитку автотранспортної інфраструктури в Україні. *Сталий розвиток економіки*, 1, 108-114.
- Юхновський, І. Р., Лебеда, Г. Б., & Попова, Т. І. (2004). *Транспортний комплекс України. Автомобільні дороги: проблеми та перспективи: посібник*. Київ: ФАДА, ЛТД.

И. А. АРУТЮНЯН^{1*}, А. В. БАНАХ², Е. Э. АРУТЮНЯН³

^{1*} Кафедра промышленного и гражданского строительства, Инженерный институт Запорожского национального университета, пр. Соборный, 226, Запорожье, Украина, 69006, тел. +38 (066) 900 78 28, эл. почта iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-5049-3742

² Кафедра городского строительства и хозяйства, Инженерный институт Запорожского национального университета, пр. Соборный, 226, Запорожье, Украина, 69006, тел. + 38 (095) 076 28 62, эл. почта andrew.banakh@gmail.com, ORCID 0000-0002-0517-2157

³ Кафедра городского строительства и хозяйства, Инженерный институт Запорожского национального университета, пр. Соборный, 226, Запорожье, Украина, 69006, тел. +38 (095) 599 11 56, эл. почта arutyunyanegen@gmail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СХЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДОВ ЗА СЧЕТ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

Цель. Исследования теоретико-методологических основ и инновационных мероприятий по организации улучшения функционально-планировочной инфраструктуры городов Украины за счет дорожного строительства и ремонта современного состояния дорожного покрытия. **Методика.** Важную роль в организации функционально-планировочной инфраструктуры городов является исследование и возможности применения современных отечественных и зарубежных технологий разработки транспортной сети. Перед строительной отраслью поставлены актуальные задания, решение которых обеспечивает экономические интересы госу-

дарства, удовлетворения потребностей государства, населения в усовершенствовании и развитии автомобильных дорог общего пользования, расширения возможностей производственного и социального развития предприятий дорожного хозяйства, повышения эффективности использования материальных, финансовых и других ресурсов на основе совместной деятельности, разделения труда и кооперации. Возможности применения при дорожном строительстве современных логистических подходов, в качестве усовершенствования организационно-технологических решений. **Результаты.** В работе проведен анализ современного состояния дорожного покрытия. Определены негативные факторы влияния на программы развития строительства в сфере дорожного строительства и ремонта дорожного покрытия. Предложены прогрессивные направления в проектировании автомобильных дорог. **Научная новизна.** Сформированы теоретико-методологические направления организационно-технологических решений при дорожном строительстве и ремонте дорожного покрытия, которые влияют на строительные процессы, на организацию материально-технического обеспечения, финансирования. **Практическая значимость.** Теоретико-методологическим инструментом анализа являются показатели уровня дорог Украины. Выяснено, что ремонт дорожного покрытия возможен за счет совершенствования организационно-технологических решений, учитывая инновационные технологии и процессы организации.

Ключевые слова: строительный сектор; дороги; дорожное покрытие; строительство; ремонт; организационно-технические решения

I. A. ARUTIUNIAN^{1*}, A. V. BANAKH², YE. E. ARUTIUNIAN³

^{1*} Department of Industrial and Civil Engineering, Engineering Institute of Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (066) 900 78 28, e-mail iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-5049-3742

² Department of Urban Engineering and Development, Engineering Institute of Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. + 38 (095) 076 28 62, e-mail andrew.banakh@gmail.com, ORCID 0000-0002-0517-2157

³ Department of Urban Engineering and Development, Engineering Institute of Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (095) 599 11 56, e-mail arytyanyanevgen@gmail.com

OPTIMIZATION OF ORGANIZATIONAL CHARTS OF FUNCTIONAL AND PLANNING URBAN INFRASTRUCTURE THROUGH THE ROAD CONSTRUCTION AND REPAIR OF THE ROADWAY

Purpose. Research of theoretical and methodological foundations and innovative measures to improve the functional and planning infrastructure of Ukrainian cities through the road construction and repair of the current state of the roadway. **Methodology.** An important role in the organization of functional and planning urban infrastructure is the research and the possibilities of using modern domestic and foreign technologies for the development of the transport network. The construction branch is faced with urgent tasks, their solution ensures the economic interests of the state, meets the needs of the state and the population in improving and developing public roads, expands the capacity of industrial and social development of road enterprises, improves the efficiency of use of material, financial and other resources on the basis of common activities, division of labor and cooperation. Possibilities of using modern logistic approaches as an improvement of organizational and technological solutions in road construction. **Findings.** Thesis analyzes the current state of the roadway. Negative factors affecting the development programs in the road construction and roadway repair branches are determined. Progressive ways in the design of highways are proposed. **Originality.** Theoretical and methodological ways of organizational and technological solutions in road construction and repair of the roadway affecting on the construction processes, the organization of logistics and financing are formed. **Practical value.** The theoretical and methodological tool of analysis is the quality indicators of Ukrainian roads. It was found out that pavement repair is possible by improving organizational and technological solutions, taking into account innovative technologies and organization processes.

Keywords: construction branch; roadway; road surface; construction; repair; organizational and technical solutions

REFERENCES

Lytvynenko, T., & Gasenko, L. (2015). Peculiarities of infrastructure designing for the movement of individual environmental friendly vehicles. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 43, 2, 81-86. (in English)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- Lytvynenko, T. P., & Smilyanets, L. V. (2013). The feasibility of the integrating of cycling in the road network of settlements. *Geodesy, Architecture & Construction: Proceedings of the 5th International Conference of Young Scientists GAC 2013*, 34-37. (in English)
- DBN D.2.2-27-99 (2000). *Avtomobilni dorohy: zbirnyk 27*. Kyiv: Derzhavnyi komitet budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovoi polityky Ukrainy. (in Ukrainian)
- Halushko, V. O. (2011). Problemy ta perspektyvy rozvytku dorozhnoi haluzi. *Dorozhnia haluz*, 2, 12-15. (in Ukrainian)
- Zavorickij, V. I., Starovojda, V. P., Beljatinskij, A. A. i dr. (1996). *Proektirovanie i stroitel'stvo avtomobil'nyh dorog: spravochnik*. Kyiv: Tekhnika. (in Russian)
- Kyzyma, S. S. (2009). *Ekspluatatsiia avtomobilnykh dorih: posibnyk*. Kyiv: MONU/NTU. (in Ukrainian)
- Kudrytska, N. V. (2010). *Transportno-dorozhnii kompleks Ukrainy: suchasnyi stan, problemy ta shliakhy rozvytku*. Kyiv: NTU. (in Ukrainian)
- Kulytskyi, S. (2017). Problemy rozvytku merezhi avtomobilnykh dorih v Ukraini. *Ukraina: podii, fakty, komentari*, 22, 56-65. (in Ukrainian)
- Miklovda, V. P., & Shevchuk, Ya. V. (2011). Suchasnyi stan ta riven rozvytku avtomobilnoi infrastruktury Ukrainy. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriiia «Ekonomika»*, 32, 6-13. (in Ukrainian)
- Novikova, A. M. (2003). *Ukraina v systemi mizhnarodnykh transportnykh korydoriv: posibnyk*. Kyiv: NIPBM. (in Ukrainian)
- Pashchenko, Yu. Ye., & Nykyforuk, O. I. (2008). *Transportno-dorozhnii kompleks Ukrainy v protsesakh mizhnarodnoi intehtatsii*. Nizhyn: Aspekt-Polihraf. (in Ukrainian)
- Pyrozhekov, S., Preiher, D., & Maliarchuk, I. (2005). Problemy realizatsii tranzytnoho potentsialu Ukrainy u konteksti rozshyrennia YeS i formuvannia YeEP. *Ekonomika Ukrainy*, 3, 4-19. (in Ukrainian)
- Preiher, D. K., Sobkevych, O. V., & Yemelianova, O. Yu. (2011). *Realizatsiia potentsialu transportnoi infrastruktury Ukrainy v stratehii postkryzovoho ekonomichnoho rozvytku*. Kyiv: NISD. (in Ukrainian)
- Radkevych, A. V., Arutiunian, I. A., & Saikov, D. V. (2018). Optymizatsiia orhanizatsiinykh protsesiv budivelnoho vyrobnytstva yak formotvorcha skladova konkurentospromozhnosti pidriadnykh pidpriemstv. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 35, 64-73. (in Ukrainian)
- Shevchuk, Ya. V. (2011). Rehionalna polityka rozvytku avtotransportnoi infrastruktury v Ukraini. *Stalyi rozvytok ekonomiky*, 1, 108-114. (in Ukrainian)
- Yukhnovskiy, I. R., Lebeda, H. B., & Popova, T. I. (2004). *Transportnyi kompleks Ukrainy. Avtomobilni dorohy: problemy ta perspektyvy: posibnyk*. Kyiv: FADA, LTD. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 20.11.2019

Прийнята до друку 26.11.2019

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.072.32-023.11/-27.236:517.96

В. М. БЕЗСАЛИЙ¹, Д. О. БАННІКОВ^{2*}

¹ Факультет «Промислове та цивільне будівництво», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (063) 764 68 95, ел. пошта bezsalslava@gmail.com, ORCID 0000-0003-4424-0105

^{2*} Кафедра «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (063) 400 43 07, ел. пошта bdo2020@yahoo.com, ORCID 0000-0002-9019-9679

ЕФЕКТИВНІСТЬ СТАЛЕВИХ ТОНКОСТІННИХ ОЦИНКОВАНИХ ПРОФІЛІВ ДЛЯ АРКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Мета. Виконати інженерну оцінку ефективності застосування сталевих тонкостінних оцинкованих профілів на прикладі інженерної конструкції у вигляді арки. Сформулювати рекомендації щодо доцільності використання таких профілів порівняно з іншими більш традиційними видами сортаментних профілів. **Методика.** Для досягнення поставленої мети проведено серію чисельних розрахунків аркової конструкції, виконаної із трьох типів сталевих сортаментних профілів – безшовних гарячедеформованих труб, електрозварних прямошовних труб і тонкостінних оцинкованих профілів. При цьому варіювались прольоти аркової конструкції в діапазоні від 12 до 24 м і крок її розташування в діапазоні від 3 до 6 м. Також окремо розглядалась дія снігових та вітрових навантажень відповідно до чинного стандарту України. Обчислення проводились методом скінчених елементів на базі проектного комплексу Lira for Windows. **Результати.** По результатах аналізу та співставлення отриманих даних чисельних розрахунків встановлено, що найменш кошторисним є застосування сталевих оцинкованих профілів, конструкції з яких по всіх розглянутих варіантах мають найнижчу вартість. Сталеві арки на основі електрозварних прямошовних труб виявляються приблизно на 50...80 % дорожчими, а арки на основі безшовних гарячедеформованих труб – в середньому втричі дорожчими. При цьому до уваги приймалась як усереднена ринкова вартість профілів, так і вартість виготовлення з них аркової конструкції. **Наукова новизна.** Визначено найбільш ефективний тип сталевих сортаментних профілів для використання в аркових спорудах, що є несучими елементами каркасів легких швидкокомонтованих будівель. Зокрема доведено високу ефективність сучасних тонкостінних оцинкованих профілів для даного типу конструкцій. **Практична значимість.** В ході досліджень отримано інженерні дані щодо конкретних типів тонкостінних оцинкованих профілів, які необхідно застосовувати для несучих аркових елементів швидкокомонтованих будівель. Дані представлені в зручній для користування в інженерній практиці табличній формі в залежності від природно-кліматичних навантажень, прольотів та кроків несучих елементів каркасу таких будівель.

Ключові слова: аркова конструкція; тонкостінний оцинкований профіль; труба; метод скінчених елементів; комплекс Lira for Windows

Вступ

Останнім часом в Україні все більшої популярності набуває створення інженерних споруд різноманітного призначення на основі сталевих тонкостінних оцинкованих профілів. Вони виготовляються на спеціальному обладнанні шляхом гнуття в холодному стані сталевих листів з подальшим покриттям захисним антикорозійним шаром. Оскільки подібне обладнання практично відсутнє в Україні, то сортамент таких профілів на вітчизняному ринку металопрокату представлений в основному іноземними виробниками, як наприклад, компанія «Пру-

шинські» (<http://www.pruszyński.com.ua>). Серед українських виробників слід відмітити компанію «Альбатрос» (<http://albatros.ua>), засновану в 1996 р., і компанію «STEELCO» (<http://steelco.com.ua>), засновану у 2004 р.

За своєю структурою сортамент сталевих тонкостінних оцинкованих профілів включає наступні різновиди – С-профіль, U-профіль, Z-профіль та Σ -профіль, які вже фактично стали стандартизованими. Позначення цих профілів доволі точно описує їх зовнішню конфігурацію, а товщина не перевищує 3 мм.

Найбільш розповсюдженим на тепер є С-профіль, який для підвищення несучої здатнос-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ті перерізу нерідко застосовується у вигляді подвійних елементів, з'єднаних між собою саморізами або болтами (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд вузла металоконструкції, виконаної з С-подібних сталевих тонкостінних оцинкованих профілів

Останнім часом у виробництво запущений також і вдосконалений різновид таких профілів із підвищеними теплоізоляційними властивос-

тями – термопрофіль, який має спеціальні насічки на поверхні.

Подібні тонкостінні профілі за даними виробників є високоефективними як для різноманітних об'єктів цивільного призначення, так і сільськогосподарського і навіть, промислового призначення. Проте специфіка тонкостінних профілів потребує пошук і використання новітніх, не зовсім традиційних конструктивних рішень для доволі традиційних інженерних споруд. Для сталевих інженерних конструкцій, особливо виконаних в сучасному дизайні, одним із таких рішень є застосування в якості несучого конструктивного елементу арки.

Однією з таких інженерних конструкцій є склади, які стали доволі популярним об'єктом будівництва в останні роки саме на хвилі розповсюдження сталевих тонкостінних оцинкованих профілів (рис. 2). Їх нерідко використовують в якості тимчасових перевантажувальних комплексів на різноманітних автотранспортних і залізничних вузлах.

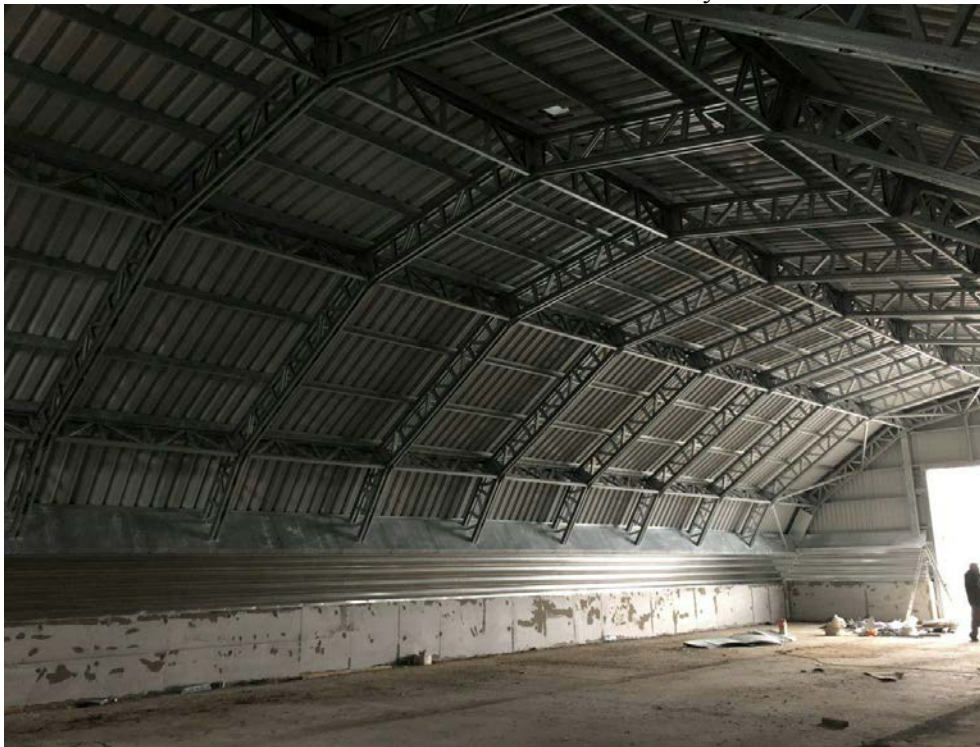


Рис. 2. Загальний вигляд складської споруди, виконаної на основі сталевих тонкостінних оцинкованих профілів

Робота сталевих тонкостінних профілів в цілому є доволі складною та відрізняється, в першу чергу, питаннями, пов'язаними з оцінкою втрати стійкості (Марченко, & Банников, 2009а,

2009б, 2011). В чинних нормативних документах з проектування сталевих конструкцій (ДБН В.2.6-198:2014) цьому аспекту приділяються відносно небагато уваги. При цьому в основу

покладено підхід, який допускає подальшу роботу тонкостінних профілів за межею границі текучості після втрати місцевої стійкості певними частинами профілів. Досить детально такий підхід був проаналізований та узагальнений в монографії (Перельмутер, & Сливкер, 2007), а також розглянутий в нещодавно виданій монографії (Баженов, Перельмутер, Ворона, & Отрашевська, 2018). Тому можна стверджувати, що в цілому у вітчизняній науково-дослідній практиці накопичений значний обсяг теоретичних розробок в цьому напрямку.

Щодо сучасного закордонного досвіду, то він не є настільки ґрунтовним і представлений в першу чергу дослідженнями роботи замкнених тонкостінних профілів (He, Chen, & Wan, 2018). Інша частина досліджень охоплює питання пошуку більш ефективних захисних поверхонь для тонкостінних профілів (Gronostajski, Kaczyński, Polak, & Bartczak, 2018). Також певна кількість досліджень підіймає питання монтажу та виготовлення конструкцій з тонкостінних профілів (Piekarczuk, Więch, & Cybulski, 2019).

Проте на тепер практична апробація накопиченого теоретичного матеріалу щодо роботи сталевих тонкостінних профілів при різних видах навантажень значно обмежена. При цьому критичний аналіз та особливо наукові дослідження для конкретних інженерних випадків майже відсутні. Тому дана публікація має на меті почати заповнювати цей пробіл.

Мета

Виконати інженерну оцінку ефективності застосування сталевих тонкостінних оцинкованих профілів на прикладі інженерної конструкції у вигляді арки. Сформулювати рекомендації щодо доцільності використання таких профілів порівняно з іншими більш традиційними видами сортаментних профілів.

Методика

В якості інженерної конструкції, для якої проводились дослідження були обрані сталеві двохшарнірні арки циркульного абрису, які є несучими елементами транспортних складських споруд. При цьому аналізувались наступні конструктивні варіації основних параметрів

арок, які найчастіше використовуються для сучасних складів:

- проліт арок 12 м, 15 м, 18 м, 20 м і 24 м;
- крок арок 3 м, 4 м, 5 м і 6 м.

В якості розглядуваних сортаментних профілів в ході досліджень співставлялись наступні сталеві профілі:

- гарячекатані круглі труби відповідно до сортаменту (ГОСТ 8732-78*);
- зварні круглі труби відповідно до сортаменту (ГОСТ 10704-91);
- тонкостінні оцинковані С-подібні профілі відповідно до сортаменту (ТУ У В.2.6-24.3-37452010-002:2014).

Навантаження в ході досліджень визначались відповідно до чинного нормативного документу (ДБН В.1.2-2:2006). При цьому до уваги приймалась окрім власної ваги аркових споруд та власної ваги елементів покрівлі дія двох природно-кліматичних навантажень – вітрового та снігового. Розглядались окремо випадки розташування складської споруди в сніговому та вітровому районах із найвищими значеннями.

В якості методу досліджень застосовувався один із сучасних чисельних методів будівельної механіки – метод скінчених елементів, який в теперішній час продовжує вдосконалюватись і набуває все нових можливостей (Zhang, Ge, Zhang, & Zhao, 2018). Його практична реалізація відбувалась на базі вітчизняного проектного комплексу Lira for Windows (Стрелец-Стрелецкий, Журавлев, & Водопьянов, 2019). Такий вибір був зроблений виходячи із будівельної орієнтації цього комплексу, на відміну від інших розробок, таких як SolidWorks, CosmosWork, Nastran або WinMachine, які мають машинобудівну орієнтацію (Neduzha, & Shvets, 2016).

Побудовані скінченно-елементні моделі для досліджень являли собою плоскі стержневі системи – рис. 3. Для гарячекатаних профілів арковий елемент являв собою дугу кола. Для тонкостінних оцинкованих профілів арковий елемент виконувався у вигляді плоскої ферми з перерізами з подвійних С-подібних профілів. Абрис такої ферми приймався з окремих прямолінійних ділянок (сегментів), вписаних в дугу кола. Кількість ділянок залежала від прольоту споруди. Закріплення аркових елементів моделювались таким чином, щоб отримати двохшарнірну схему їх роботи.

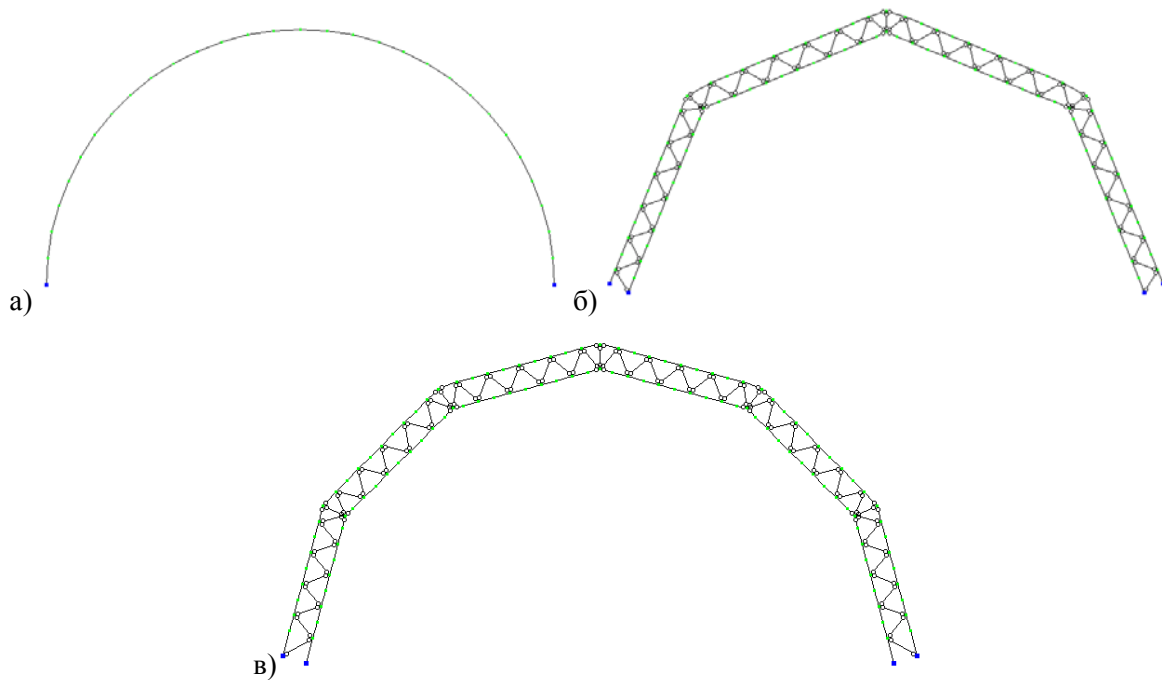


Рис. 3. Скінченно-елементні моделі несучої арки:
а – з гарячекатаних і зварних труб; б – з тонкостінних профілів (4-ох сегментна);
в – з тонкостінних профілів (6-ти сегментна)

Результати

Окремим питанням під час підбору перерізів тонкостінних профілів була необхідність врахування редукованої площі їх поперечного перерізу. Для цього виконувались додаткові розрахунки відповідно до вимог чинних вітчизняних норм (ДБН В.2.6-198:2014), а також затвердженого національного варіанту європейських норм (ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012).

Попередньо розглядався тонкостінний С-подібний профіль (рис. 4) із наступними геометричними характеристиками: $H = 200$ мм, $b = 65$ мм, $c = 25$ мм, $t = 2$ мм, $r = 3$ мм, площа $A = 7,28$ см².

Отримані значення редукованої площі дорівнюють:

- за ДБН В.2.6-198:2014 $A_{red} = 4,29$ см²;
- за ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012 $A_{red} = 4,59$ см².

При цьому ефективність застосування такого профілю становитиме:

- за ДБН В.2.6-198:2014 – 58,9 %;
- за ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012 – 63,0 %.

З наведених даних видно, що відповідно до вимог чинних вітчизняних норм (ДБН В.2.6-

198:2014) редукована площа виявляється нижчою. Розраховані значення таких площ разом із відсотком їх ефективності застосування представлені в табл. 1. Дані наведені для найбільш широковживаних профілів відповідно до сортаменту (ТУ У В.2.6-24.3-37452010-002:2014).

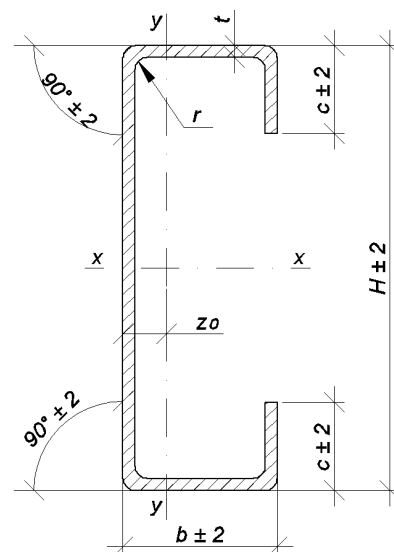


Рис. 4. Розглядуваний сталевий тонкостінний оцинкований профіль

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Таблиця 1

Ефективність С-подібних тонкостінних профілів

Профіль	Повна площа A, см ²	Редукована площа A _{red} , см ²	Ефективність перерізу, %
ПСс-02 80/1,2	2,293	1,784	77,8
ПСс-02 80/1,4	2,654	2,147	80,9
ПСс-02 80/2,0	3,702	3,354	90,6
ПСс-02 100/1,2	2,533	1,784	70,4
ПСс-02 100/1,4	2,934	2,147	73,2
ПСс-02 100/2,0	4,102	3,354	81,7
ПСс-03 150/1,2	3,373	2,024	60,0
ПСс-03 150/1,4	3,914	2,427	62,0
ПСс-03 150/2,0	5,502	3,754	68,2
ПСс-03 200/1,2	3,973	2,024	50,9
ПСс-03 200/1,4	4,614	2,427	52,6
ПСс-03 200/2,0	6,502	3,754	57,7
ПСс-03 250/1,2	4,573	2,024	44,2
ПСс-03 250/1,4	5,314	2,427	45,6
ПСс-03 250/2,0	7,502	3,754	50,0
ПСс-04 60/1,2	2,533	2,264	89,3
ПСс-04 60/1,4	2,934	2,707	92,2
ПСс-04 60/2,0	4,102	4,054	98,8
ПСс-04 80/1,2	2,773	2,264	81,6
ПСс-04 80/1,4	3,214	2,707	84,2
ПСс-04 80/2,0	4,502	4,154	92,2

Результати підбору поперечних перерізів аркових елементів для різних типів профілів, прольотів та кроків наведені в табл. 2 і 3.

В табл. 4-6 представлена остаточно вартість аркових елементів з різних типів профілів для обраних прольотів і кроків. Дані наведені в перерахунку на площу забудови, оскільки цей показник є визначальним при складанні проектно-кошторисної документації.

При розрахунку вартості до уваги приймалась не тільки ринкова ціна певного виду профілів відповідно до його маси, а й вартість технологічних операцій (зокрема, гнуття і виготовлення зварних швів), необхідні для отримання аркового елементу з трубних профілів. Також додатково враховувались подальші операції ґрунтування та фарбування профілів з труб та витрати на їх монтаж.

Для тонкостінних оцинкованих профілів в кошторисну вартість включались операції збірки перерізу з двох окремих профілів, а також витрати на подальший монтаж аркових елементів.

Зазначимо, що в кошторисну вартість в усіх випадках закладались ринкові показники станом на осінь 2019 р. в Україні. Ціни прийняті усередненими по території країни, оскільки вони дещо варіюються в залежності від регіону.

Таблиця 2

Підібрані поперечні перерізи аркового елементу для максимального вітрового району

Крок, м	3			4		
	Гарячекатаний	Зварний	Тонкостінний	Гарячекатаний	Зварний	Тонкостінний
Профіль						
Проліт, м						
12	146×4,5	193,7×2,5	ПС-04 60/1,2	159×5	219×2,5	ПС-04 60/1,2
15	168×5	219×2,8	ПС-04 60/1,2	194×5	244,5×3	ПС-04 60/1,2
18	203×6	273×3,5	ПС-04 60/1,2	219×7	273×4,5	ПС-04 60/1,2
20	219×7	273×4,5	ПС-04 60/1,2	219×9,5	325×4	ПС-04 80/1,4
24	219×11	355,6×4	ПС-04 60/1,2	219×11	219×16	ПС-02 100/1,4

Закінчення таблиці 2

Крок, м	5			6		
	Гарячекатаний	Зварний	Тонкостінний	Гарячекатаний	Зварний	Тонкостінний
Профіль						
Проліт, м						
12	180×5	219×3,2	ПС-04 60/1,2	194×5	244,5×3	ПС-04 60/1,4
15	203×6	244,5×3,8	ПС-04 80/1,2	219×6	273×3,8	ПС-04 80/1,4
18	219×9	325×4	ПС-04 60/1,4	219×11	355,6×4	ПС-02 80/2,0
20	219×12	377×4	ПС-02 80/2,0	219×15	406,4×4	ПС-04 80/2,0
24	219×22	426×4,5	ПС-02 80/2,0	219×28	426×5,5	ПС-02 100/2,0

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Таблиця 3

Підібрані поперечні перерізи аркового елементу для максимального снігового району

Крок, м	3			4		
	Гарячекатаний	Зварний	Тонкостінний	Гарячекатаний	Зварний	Тонкостінний
12	159×5	219×2,5	ПС-04 60/1,2	180×5	244,5×3	ПС-02 80/2,0
15	194×5	244,5×3	ПС-04 60/1,4	203×6	273×3,5	ПС-04 80/1,4
18	203×6,5	273×3,5	ПС-04 60/1,2	219×7,5	325×4	ПС-04 80/1,4
20	219×7	273×4,5	ПС-02 80/1,4	219×9,5	325×4	ПС-04 80/1,4
24	219×11	355,6×4	ПС-02 80/2,0	219×15	406,4×4	ПС-03 150/2,0

Закінчення таблиці 3

Крок, м	5			6		
	Гарячекатаний	Зварний	Тонкостінний	Гарячекатаний	Зварний	Тонкостінний
12	194×5,5	244,5×3,5	ПС-02 80/2,0	203×6	273×3,5	ПС-03 150/2,0
15	219×6,5	273×4,5	ПС-02 80/2,0	219×8	325×4	ПС-04 80/2,0
18	219×10	355,6×4	ПС-04 60/2,0	219×12	377×4	ПС-04 80/2,0
20	219×13	377×4	ПС-04 60/2,0	219×16	406,4×4	ПС-04 80/2,0
24	219×20	426×4,5	ПС-04 80/1,4 + ПП-04 80/1,4	219×25	426×5,5	ПС-04 80/2,0 + ПП-04 80/2,0

Таблиця 4

Вартість аркового елементу, виконаного з гарячекатаних круглих труб (грн./м²)

Крок, м	Максимальний вітровий район				Максимальний сніговий район			
	3	4	5	6	3	4	5	6
12	980	788	664	572	1001	787	675	597
15	1075	858	761	660	1144	952	825	769
18	1269	1072	987	927	1320	1113	1050	979
20	1430	1275	1177	1133	1430	1275	1239	1184
24	1854	1772	1762	1737	1854	1697	1650	1605

Таблиця 5

Вартість аркового елементу, виконаного зі зварних круглих труб (грн./м²)

Крок, м	Максимальний вітровий район				Максимальний сніговий район			
	3	4	5	6	3	4	5	6
12	877	682	589	499	910	750	635	553
15	940	749	655	573	999	829	742	637
18	1106	927	764	667	1106	955	800	688
20	1237	956	826	717	1237	956	826	717
24	1333	1075	944	889	1333	1075	944	889

Таблиця 6

Вартість аркового елементу, виконаного з тонкостінних оцинкованих профілів (грн./м²)

Крок, м	Максимальний вітровий район				Максимальний сніговий район			
	3	4	5	6	3	4	5	6
12	307	241	204	189	341	338	280	341
15	309	242	208	193	391	327	311	306
18	337	264	233	239	377	329	312	290
20	347	308	273	274	403	342	338	324
24	448	367	341	304	568	587	595	548

В цілому, відповідно до отриманих кошторисних показників чітко простежується наступна тенденція – для всіх розглянутих конструктивних варіантів найнижчу вартість мають аркові елементи з тонкостінних оцинкованих профілів. Причому сталеві арки на основі безшовних електрозварних прямошовних труб виявляються приблизно на 50...80 % дорожчими, а арки на основі гарячедеформованих труб – в середньому втричі дорожчими, ніж при застосування тонкостінних оцинкованих профілів.

Також слід відмітити, що снігове навантаження є більш критичним за вітрове навантаження, хоча й не набагато.

Наукова новизна та практична значимість

Таким чином, в даній публікації визначено найбільш ефективний тип сталевих сортаментних профілів для використання в аркових спорудах, що є несучими елементами каркасів легких швидкокомтованих будівель. Зокрема доведено високу ефективність сучасних тонкостінних оцинкованих профілів для даного типу конструкцій.

З практичної точки зору в ході досліджень отримано інженерні дані щодо конкретних типів тонкостінних оцинкованих профілів, які необхідно застосовувати для несучих аркових елементів швидкокомтованих будівель. Дані представлені в зручній для користування в інженерній практиці табличній формі в залежності від природно-кліматичних навантажень, прольотів та кроків несучих елементів каркасу таких будівель.

Окремо наведені відомості щодо кошторисної вартості застосування різних типів сталевих профілів в перерахунку на площу забудову. Цей показник є особливо важливим і корисним при проведенні практичної оцінки вартості будівництва й складання кошторисної документації.

Висновки

На основі проведених досліджень стосовно матеріаломісткості та кошторисної вартості різних типів сталевих профілів для несучих аркових елементів слід констатувати наступне:

1. Найбільш економічно ефективним типом профілів є тонкостінні оцинковані профілі. Вони дозволяють виконати сталевий каркас інже-

нерних споруд в середньому в 2...3 рази дешевше трубних профілів, які традиційно застосовуються в якості несучих елементів транспортних інженерних об'єктів.

2. Середня вартість забудови із використанням тонкостінних оцинкованих профілів становить 300...350 грн./м² в ринкових цінах 2019 р. в Україні. Для трубних профілів цей показник коливається в межах 800...1300 грн./м².

3. При проведенні розрахунків несучої здатності тонкостінних оцинкованих профілів обчислена редукована площа виявляється нижчою відповідно до вимог чинних вітчизняних норм (ДБН В.2.6-198:2014) порівняно із Європейськими стандартами (ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012). При цьому ефективність використання площ перерізів за вітчизняними сортаментами (ТУ У В.2.6-24.3-37452010-002:2014) знаходиться в межах від 45 до 100 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Gronostajski, Z., Kaczyński, P., Polak, S., & Bartczak, B. (2018). Energy absorption of thin-walled profiles made of AZ31 magnesium alloy. *Thin-Walled Structures*, 122, 491-500.
- He, K., Chen, Yu., & Wan, J. (2018). Web crippling behavior of grouted galvanized rectangular steel tube. *Thin-Walled Structures*, 122, 300-313.
- Neduzha, L. O., & Shvets, A. O. (2016). Application of APM WinMachine software for design and calculations in mechanical engineering. *Science and Transport Progress*, 2(62), 129-147.
- Piekarczyk, A., Więch, Pr., & Cybulski, R. (2019). Experimental method to evaluate the load-carrying capacity of double corrugated sheet profiles. *Thin-Walled Structures*, 144, Article No. 106283.
- Zhang, Ya., Ge, W., Zhang, Yo., & Zhao, Zh. (2018). Topology optimization method with direct coupled finite element–element-free Galerkin method. *Advances in Engineering Software*, 115, 217-229.
- Баженов, В. А., Перельмутер, А. В., Ворона, Ю. В., & Отрашевська В. В. (2018). *Варіаційні принципи будівельної механіки. Нариси з історії*. Київ: Каравела.
- ГОСТ 10704-91. (2007). *Трубы стальные электро-сварные прямошовные. Сортамент*. Москва: Стандартинформ.
- ГОСТ 8732-78*. (1989). *Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент*. Москва: Изд-во стандартов.
- ДБН В.1.2-2:2006 (зі змінами) (2007). *Система надійності та безпеки в будівництві. Навантаження і впливи. Норми проектування*. Київ: Держбуд.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- ДБН В.2.6-198:2014 (2014). *Сталеві конструкції. Норми проектування*. Київ: Мінрегіонбуд України.
- ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012 (2012). *Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів*. Київ: Мінрегіонбуд та ЖКГ України.
- Марченко, Т. В., & Банников, Д. О. (2011). Технология ЛСТК: проблемы и перспективы. *Строительство, материаловедение, машиностроение, серия: Создание высокотехнологических социально-экокомплексов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития*, 60, 120-124.
- Марченко, Т. В., & Банников, Д. О. (2009а). Експериментальні дослідження форм втрати стійкості тонкостінних елементів. *Строительство, материаловедение, машиностроение, серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения*, 50, 368-372.
- Марченко, Т. В., & Банников, Д. О. (2009б). Порівняльний аналіз форм втрати стійкості тонкостінних стержневих елементів. *Металеві конструкції*, 15, 3, 177-188.
- Перельмутер, А. В., & Сливкер, В. И. (2007). *Устойчивость равновесия конструкций и родственные проблемы. Т. 1: Общие теоремы. Устойчивость отдельных элементов механических систем*. Москва: СКАД СОФТ.
- Стрелец-Стрелецкий, Е. Б., Журавлев, А. В., & Водопьянов, Р. Ю. (2019). *ЛИРА-САПР. Книга 1. Основы*. Киев: LIRALAND.
- ТУ У В.2.6-24.3-37452010-002:2014. Профили и детали стальные гнутые для строительства. Режим доступу: <https://domstroy.com.ua/company/466-kompaniya-stilko>

В. М. БЕЗСАЛИЙ¹, Д. О. БАННИКОВ^{2*}

¹ Факультет «Промышленное и гражданское строительство», Днепровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (063) 764 68 95, эл. почта bezsalyslava@gmail.com, ORCID 0000-0003-4424-0105

^{2*} Кафедра строительного производства и геодезии, Днепровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (063) 400 43 07, эл. почта bdo2020@yahoo.com, ORCID 0000-0002-9019-9679

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОНКОСТЕННЫХ ОЦИНКОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ АРОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Цель. Выполнить инженерную оценку эффективности использования стальных тонкостенных оцинкованных профилей на примере инженерной конструкции в виде арки. Сформулировать рекомендации относительно целесообразности применения таких профилей по сравнению с другими более традиционными видами сортаментных профилей. **Методика.** Для достижения поставленной цели проведена серия численных расчетов арочной конструкции, выполненной из трех типов стальных сортаментных профилей – бесшовных горячедеформированных труб, электросварных прямошовных труб и тонкостенных оцинкованных профилей. При этом варьировались пролеты арочной конструкции в диапазоне от 12 до 24 м и шаг ее расположения в диапазоне от 3 до 6 м. Также отдельно рассматривалось действие снеговой и ветровой нагрузок в соответствии с действующим стандартом Украины. Вычисления проводились методом конечных элементов на базе проектного комплекса Lira for Windows. **Результаты.** По результатам анализа и сопоставления полученных данных численных расчетов установлено, что наименее затратным является применение стальных оцинкованных профилей, конструкции из которых для всех рассмотренных вариантов имеют наименьшую стоимость. Стальные арки на основе электросварных прямошовных труб оказываются приблизительно на 50...80 % более дорогими, а арки на основе бесшовных горячедеформированных труб – в среднем в три раза дороже. При этом во внимание принималась как усредненная рыночная стоимость профилей, так и стоимость изготовления из них арочной конструкции. **Научная новизна.** Определен наиболее эффективный тип стальных сортаментных профилей для использования в арочных сооружениях, которые являются несущими элементами каркасов легких быстромонтируемых зданий. В частности доказана высокая эффективность современных тонкостенных оцинкованных профилей для данного типа конструкций. **Практическая значимость.** В ходе исследований получены инженерные данные относительно конкретных типов тонкостенных оцинкованных профилей, которые необходимо применять для несущих арочных элементов быстромонтируемых зданий. Данные представлены в удобной для использования в инженерной практике табличной форме

в зависимости от природно-климатических нагрузок, пролетов и шагов несущих элементов каркаса таких зданий.

Ключевые слова: арочная конструкция; тонкостенный оцинкованный профиль; труба; метод конечных элементов; комплекс Lira for Windows

V. M. BEZSALYI¹, D. O. BANNIKOV^{2*}

¹ Faculty «Industrial and Civil Engineering», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (063) 400 43 07, e-mail bezsalslava@gmail.com, ORCID 0000-0003-4424-0105

^{2*} Department «Construction Production and Geodesy», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (063) 400 43 07, e-mail bdo2020@yahoo.com, ORCID 0000-0002-9019-9679

EFFICIENCY OF THIN-WALLED GALVANIZED PROFILES FOR ARCH ELEMENTS

Purpose. To carry out an engineering estimation of the effectiveness of using steel thin-walled galvanized profiles on the example of an engineering structure in the form of an arch. To formulate recommendations regarding the appropriateness of using such profiles in comparison with other more traditional types of assortment profiles. **Methodology.** To achieve this goal, a series of numerical calculations of an arch structure made of three types of steel assortment profiles – seamless hot-deformed pipes, electric-welded straight-seam pipes and thin-walled galvanized profiles – was carried out. At the same time, the spans of the arch structure were varied in the range from 12 to 24 m and the step of its arrangement in the range from 3 to 6 m. The effect of snow and wind loads was also separately considered in accordance with the current standard of Ukraine. The calculations were done using the finite element method based on the Lira for Windows project complex. **Findings.** According to the results of analysis and comparison of the obtained data of numerical calculations, it was found that the least costly is the use of galvanized steel profiles, the structures of which have the lowest cost for all the variants considered. Steel arches based on electric-welded straight-seam pipes turn out to be approximately on 50...80 % more expensive, and arches based on seamless hot-deformed pipes are on average in three times more expensive. At the same time, both the average market value of the profiles and the cost of manufacturing an arch structure from them were taken into account. **Originality.** The most effective type of steel assortment profiles for use in arched structures, which are the supporting elements of the frames of lightweight fast-mounted buildings, is determined. In particular, the high efficiency of modern thin-walled galvanized profiles for this type of structure has been proven. **Practical value.** In the course of the research, engineering data were obtained, regarding specific types of thin-walled galvanized profiles, which must be used for load-bearing arched elements of fast-mounted buildings. The data are presented in a tabular form convenient for use in engineering practice, depending on the climatic loads, spans and steps of the supporting elements of the frame of such buildings.

Keywords: arched structure; thin-walled galvanized profile; pipe; finite element method; complex Lira for Windows

REFERENCES

- Gronostajski, Z., Kaczyński, P., Polak, S., & Bartczak, B. (2018). Energy absorption of thin-walled profiles made of AZ31 magnesium alloy. *Thin-Walled Structures*, 122, 491-500. (in English)
- He, K., Chen, Yu., & Wan, J. (2018). Web crippling behavior of grouted galvanized rectangular steel tube. *Thin-Walled Structures*, 122, 300-313. (in English)
- Neduzha, L. O., & Shvets, A. O. (2016). Application of APM WinMachine software for design and calculations in mechanical engineering. *Science and Transport Progress*, 2(62), 129-147. (in English)
- Piekarczyk, A., Więch, Pr., & Cybulski, R. (2019). Experimental method to evaluate the load-carrying capacity of double corrugated sheet profiles. *Thin-Walled Structures*, 144, Article No. 106283. (in English)
- Zhang, Ya., Ge, W., Zhang, Yo., & Zhao, Zh. (2018). Topology optimization method with direct coupled finite element–element-free Galerkin method. *Advances in Engineering Software*, 115, 217-229. (in English)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- Bazhenov, V. A., Perel'muter, A. V., Vorona, Yu. V., & Otrasheska V. V. (2018). *Variatsiini pryntsyipy budive-lnoi mekhaniky. Narysy z istorii*. Kyiv: Karavela. (in Ukrainian)
- GOST 10704-91. (2007). *Truby stal'nye jelektrosvarnye prjamoshovnye. Sortament*. Moskva: Standartinform. (in Russian)
- GOST 8732-78*. (1989). *Truby stal'nye besshovnye gorjachedeformirovannye. Sortament*. Moskva: Izd-vo standartov. (in Russian)
- DBN V.1.2-2:2006 (zi zminamy) (2007). *Systema nadiinosti ta bezpeky v budivnytstvi. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia*. Kyiv: Derzhbud. (in Ukrainian)
- DBN V.2.6-198:2014 (2014). *Stalevi konstruksii. Normy proektuvannia*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- DSTU-N B EN 1993-1-3:2012 (2012). *Yevrokod 3. Proektuvannia stalevykh konstruksii. Chastyna 1-3. Zahalni pravyla. Dodatkovy pravyla dlia kholodnoformovanykh elementiv i profilovanykh lystiv*. Kyiv: Minrehionbud ta ZhKH Ukrainy. (in Ukrainian)
- Marchenko, T. V., & Bannikov, D. O. (2011). *Tehnologija LSTK: problemy i perspektivy. Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie, serija: Sozdanie vysokotehnologicheskikh sociojekokompleksov v Ukraine na osnove koncepcii sbalansirovannogo (ustojchivogo) razvitija*, 60, 120-124. (in Russian)
- Marchenko, T. V., & Bannikov, D. O. (2009a). *Eksperymentalni doslidzhennia form vtraty stiikosti tonkos-tinnykh elementiv. Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie, serija: Innovacionnye tehnologii zhiznennogo cikla obektov zhilishhno-grazhdanskogo, promyshlennogo i transportnogo naznachenija*, 50, 368-372. (in Ukrainian)
- Marchenko, T. V., & Bannikov, D. O. (2009b). *Porivnialnyi analiz form vtraty stiikosti tonkostinnykh sterzhnevnykh elementiv. Metalevi konstruksii*, 15, 3, 177-188. (in Ukrainian)
- Perel'muter, A. V., & Slivker, V. I. (2007). *Ustojchivost' ravnovesija konstrukcij i rodstvennye pro-blemy. T. 1: Obshhie teoremy. Ustojchivost' ot del'nyh jelementov mehanicheskikh sistem*. Moskva: SKAD SOFT. (in Russian)
- Strelec-Streleckij, E. B., Zhuravlev, A. V., & Vodop'janov, R. Ju. (2019). *LIRA-SAPR. Kniga I. Osnovy*. Kiev: LIRALAND. (in Russian)
- TU U V.2.6-24.3-37452010-002:2014. *Profili i detali stal'nye gnutye dlja stroitel'stva*. Rezhym dostupu: <https://domstroy.com.ua/company/466-kompaniya-stilko>. (in Russian)

Надійшла до редколегії 17.10.2019

Прийнята до друку 08.11.2019

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 625.57:656.025.2/08

М. В. ГУЗИЄНКО^{1*}, Л. А. СУХІНА²

^{1*} ННЦ «Мости і тунелі», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, ел. пошта huziyenko@gmail.com, ORCID 0000-0001-6378-9166

² ННЦ «Організація будівництва та експлуатації доріг», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 51, ел. пошта huziyenko@gmail.com, ORCID 0000-0003-4568-4269

РОЗРОБКА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИДУ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ІЗ ЗАГАЛЬНИМ ПІДВИЩЕННЯМ РІВНЯ БЕЗПЕКИ ПАСАЖИРІВ

Мета. В роботі поставлено за мету розробку основ альтернативного виду транспорту для умов міста, який дозволить скерувати пасажиропотоки, розвантажити конкретні зони міста та підвищить безпеку. Таким альтернативним видом транспорту є пасажирська підвісна канатна дорога, яка займає в сучасному світі провідне місце в забезпеченні транспортно-технологічних та розважальних функцій в міських інфраструктурах. **Методика.** Для досягнення поставленої мети проведено аналіз вимог безпеки пасажирів з урахуванням особливостей підвісної дороги. Запропоновано застосування комп'ютерного моделювання для вирішення задачі маршрутизації альтернативного виду транспорту. За його допомогою можливо виконати комп'ютерне моделювання профілю рельєфу, визначити перепад висот і ухил шляху. **Результати.** Для м. Дніпра проаналізовано завантаженість шляхів пересування населення у години пік, обрано місце дослідження та для нього за допомогою аналітичних даних отримано розрахункові дані. Для подальшої обробки інформації складена карта. Доведено, що в умовах мегаполісу канатна дорога є гідним та досить серйозним конкурентом іншим видам громадського транспорту. Оскільки транспортна система повинна використовуватися максимально ефективно, застосування пасажирської підвісної канатної дороги є доцільним та потребує виконання попереднього комплексу теоретичних й експериментальних досліджень із залученням фахівців різних напрямків. **Наукова новизна.** Наукова новизна полягає у вирішенні подальшої задачі регулювання та оптимізації пасажиропотоків міста, скоригованих наявністю нової альтернативної транспортної системи. **Практична значимість.** Підтверджено, що пріоритетом розвитку суспільства повинна бути безпека руху, зниження негативного впливу транспорту на людину і навколишнє середовище. Отримані дані доводять, що використання пасажирської підвісної канатної дороги, як альтернативного виду транспорту, актуально для вирішення ряду транспортних питань мегаполісу.

Ключові слова: транспорт; пасажиропотік; безпека перевезень та руху; екологія; пасажирська підвісна канатна дорога

Вступ

Для сталого розвитку суспільства в умовах інтеграції України до Європейського Союзу серед необхідності вирішення багатьох питань актуальним залишається і підвищення безпеки на транспорті шляхом зниження інтенсивності пасажиропотоків, оптимізації існуючої транспортної системи міст та запровадження альтернативних видів транспорту (Петренко, Тютюкін, & Хавін, 2018; Тютюкін, & Бурауї, 2018; Neduzha, Cherniavska, 2019).

Прогрес сьогодення є невід'ємним від роботи й розвитку транспорту. В сучасних умовах транспорт – це багатофункціональна система та різноманітна інфраструктура, які включають в

себе потужні мережі залізничних, морських, річкових, автомобільних, повітряних, трубопроводних, міських, промислових комунікацій. Завдяки транспорту забезпечуються потреби населення вантажних/пасажирських перевезень; взаємодії промислових підприємств, сфер обслуговування тощо. Екологічність (рис. 1) є також важливим аргументом на користь транспорту в народно-господарчому комплексі держави (Myamlin, Zelenko, & Neduzha, 2014; Зеленько, & Недужа, 2015; Зеленько, Мямлін, & Недужая, 2015; Zelenko, Lunys, Neduzha, & Steišūnas, 2019).

Однак, при багатьох перевагах, транспорт, нажаль, є і зоною ризику та небезпеки – в табл. 1 наведена статистика дорожньо-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

транспортних пригод (ДТП) в Україні на автошляхах за неповних шість місяців 2017-2018 років (Городской сайт Дніпра, <https://gorod.dp.ua>).

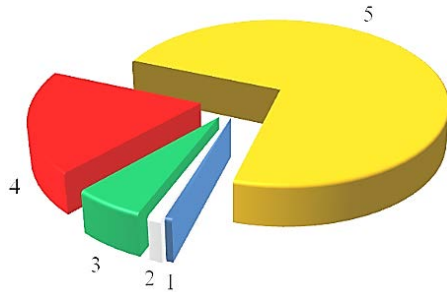


Рис. 1. Доля різних джерел в загальній емісії парникових газів:

1 – вантажний залізничний (0,6 %); 2 – інші види вантажного (1,1%); 3 – вантажний автотранспорт (5,8 %); 4 – пасажирський (19,3 %); 5 – джерела, що не відносяться до транспорту (73,2 %)

Таблиця 1

Статистика дорожньо-транспортних пригод

Рік	Загальна кількість ДТП	ДТП з потерпілими	Кількість травмованих в ДТП
2017	63 372	9 270	11 967
2018	57 184	7 861	10 146

Це підтверджує, що підвищення безпеки на транспорті є актуальним та потребує вирішення низки питань.

Мета

Розробка основ альтернативного виду транспорту для умов міста, який дозволить скерувати пасажиропотоки, розвантажити конкретні зони міста та підвищить безпеку.

Так, одним з альтернативних видів, є пасажирська підвісна канатна дорога (ППКД), яка займає в сучасному світі провідне місце в забезпеченні транспортно-технологічних та розважальних функцій в міських інфраструктурах.

Це досить важливий для міста вид громадського транспорту, що дозволяє швидко й відносно дешево з'єднати різні точки населеного пункту (особливо житлові масиви), не зважаючи на складності рельєфу та довжину траси. Використання канатної дороги є альтернативним рішенням для поїздок на різні відстані в системах з високим пасажиропотоком, найбільш ефективно та екологічно привабливими.

Методика

Транспорт – це комплекс, що складається з окремих видів залізничного, морського, річкового, автомобільного, трубопровідного та повітряного. Вони взаємодіють між собою і становлять транспортну систему, яка повинна у повному обсязі забезпечувати як загальнодержавні потреби у пасажирському та вантажному русі, так і міські. Хоча транспорт і є одним з найменших джерел забруднення навколишнього середовища, викиди газів, вилив мастил, зовнішні шуми тощо негативно впливають як на стан здоров'я населення, так і на природні процеси. Мережа транспортних шляхів займає великі площі землі, які можна було б використувати більш доцільно.

Транспортні проблеми великих міст є дуже актуальними; в умовах інтеграції України до європейських структур важливо знати тенденції та варіанти їх вирішення в інших країнах, в яких досить популярними є альтернативні види транспорту, наприклад, канатна дорога.

Класична схема підвісної канатної дороги (рис. 2) складається з двох терміналів, механізмів приводу та натягу канатів, лебідки, напрямних рейс, Вагон відправляється, Вагон зупиняється.

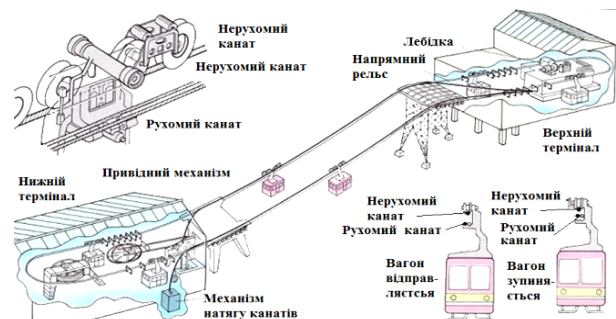


Рис. 2. Класична схема підвісної канатної дороги

Для її безпечної роботи повинні виконуватися ряд вимог, зокрема:

- безпека перевезення пасажирів з урахуванням її типу, особливостей ландшафту, метеорологічних та інших факторів середовища, у якому канатна дорога експлуатується;
- плавність пуску та зупинки механізмів і транспортних засобів;
- безпека персоналу при управлінні, проведенні необхідних перевірок, технічному обслуговуванні та ремонті.

Використання комп'ютерного моделювання стало невід'ємною частиною науки і однією зі складових технічного прогресу. Застосування комп'ютерного моделювання допомагає конструкторам та інженерам у вирішенні широкого спектру технічних завдань (Kalivoda, & Neduzha, 2017; Myamlin, Lunys, & Neduzha, 2017; Bondarenko, & Neduzha, 2019). Серед сучасних

програмних комплексів (Ansys, Solid Works, Calculix, Adams/Rail, Medyna, Simpack, Universal mechanism, APM WinMachine та інші) (Neduzha, & Shvets, 2016; Kalivoda, & Neduzha, 2017; Myamlin, Lunys, & Neduzha, 2017; Bondarenko, Lunys, Neduzha, & Keršys, 2019; Klimenko, Kalivoda, & Neduzha, 2019; Lunys, Neduzha, & Tatarinova, 2019) гідне місце займає Google Earth. За його допомогою можливо виконати комп'ютерне моделювання профілю рельєфу, визначити перепад висот і ухил шляху. Google Earth дозволяє побудувати план поперечного профілю рельєфу, прокласти маршрут міста за реальними даними та отримати значну кількість інформації для проектування канатної дороги (орієнтовні місця встановлення станцій, опор тощо).

Автори виконали деякі розрахунки для м. Дніпра, яке є одним із найбільш населених міст України – станом на січень 2018 р. населення 1002900 осіб, площа 405 кв. км., більше 2200 вулиць, протяжність міста з півночі на південь 22 км, протяжність із заходу на схід 33 км (рис. 3).

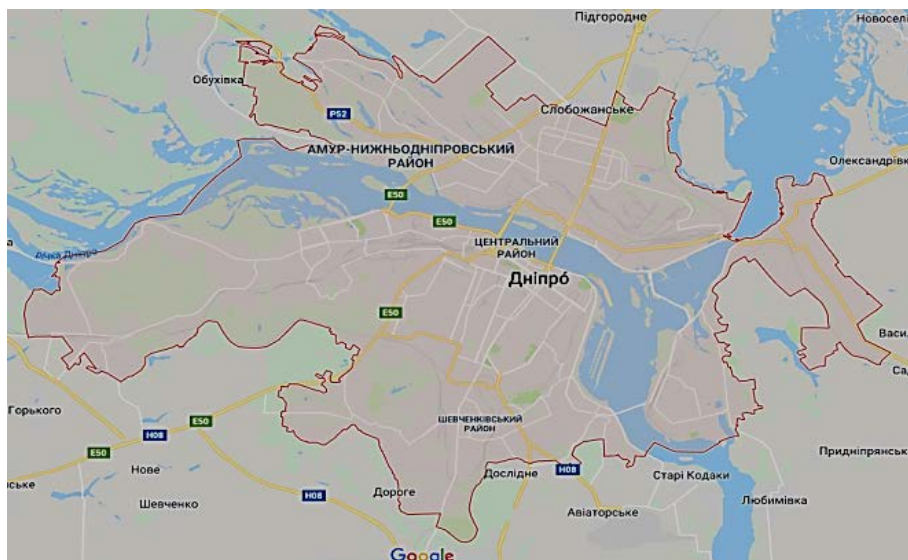


Рис. 3. Карта м. Дніпра (Google Earth)

Проаналізуємо завантаженість шляхів пересування населення м. Дніпра (правий берег) у години пік, коли люди їдуть до роботи та повертаються додому. Для цього автори:

- обрали місце дослідження та для нього за допомогою аналітичних даних отримали дані;
- для подальшої обробки інформації масштабували карту;

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

– за допомогою програмного комплексу отримали схему завантаженості маршрутних ліній районів (рис. 4).

Враховуючи аналітичні дані транспортних потоків та завантаженість автомобільних шляхів у пікові години, очевидним є необхідність

впровадження альтернативних проектів на транспорті. Застосування сучасних програмних комплексів дозволяє отримати необхідні вихідні дані (зокрема і за поперечним профілем місцевості) та використати їх у подальших дослідженнях.

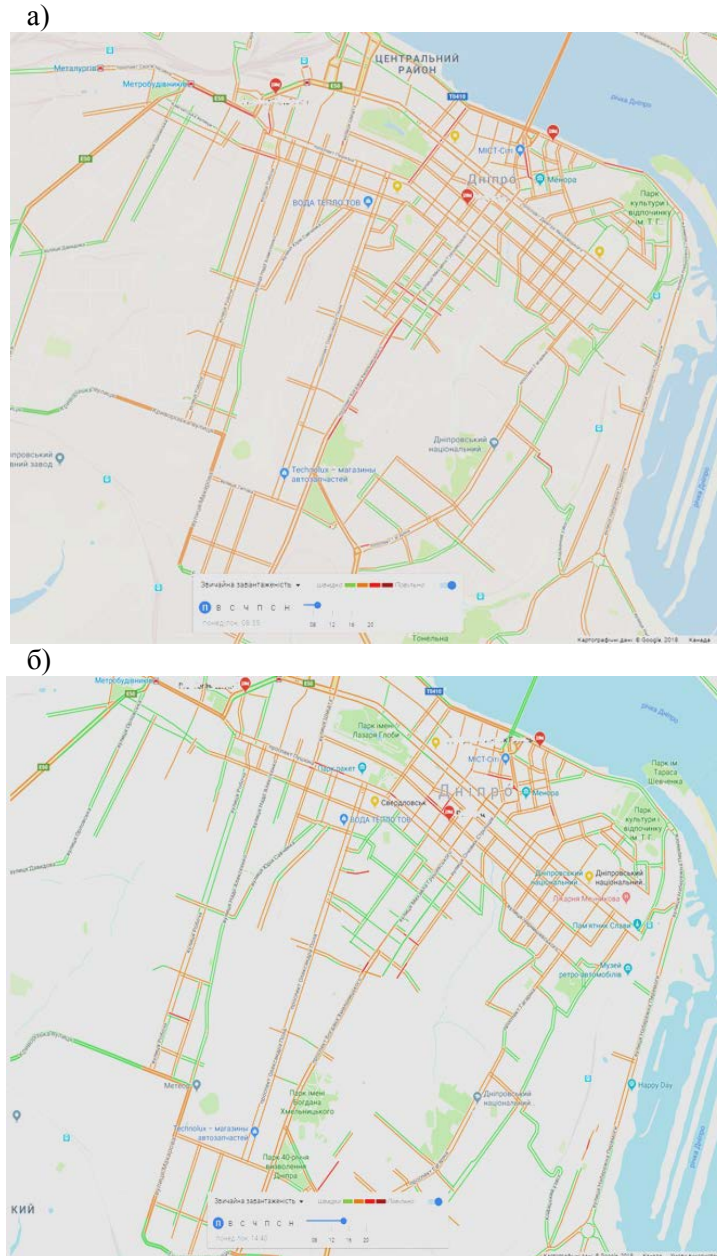


Рис. 4. Завантаженість шляхів у м. Дніпро (Google Earth):

а) ранок; б) вечір

Місто Дніпро вже має досвід роботи такого альтернативного виду транспорту як пасажирська підвісна канатна дорога (рис. 5, а) – у травні 2018 року вона відзначила півстолітній юві-

лей. Цей унікальний міський об'єкт був дуже популярний серед мешканців нашого міста та його гостей, оскільки з'єднав правий берег Дніпра з родзинкою міської зони відпочинку на

Монастирському острові. Нажаль, тривалий час канатна дорога не працює.

а)



б)

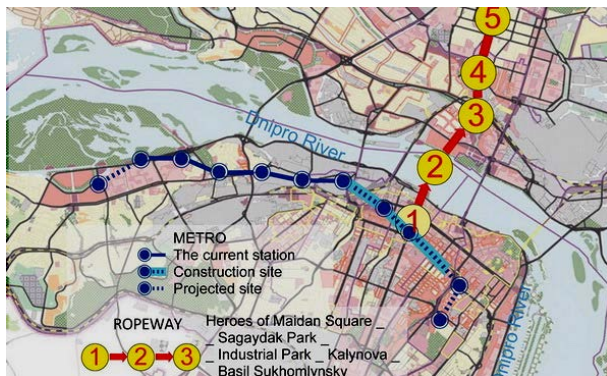


Рис. 5. Альтернативний вид транспорту в м. Дніпро:

а) канатна дорога на Монастирський острів (<http://lopata.in.ua/gorod-dnepropetrovsk/interesnie-mesta/kanatnaya-doroga>); б) проект будівництва (<https://gorod.dp.ua/news/148232>)

Але, враховуючи вимоги та потреби сучасного життя мегаполісу, є проекти не тільки з відновлення роботи одного із символів другої половини ХХ століття нашого міста, а й побудови повітряного метро (рис. 5, б), яке буде функціонувати по принципу канатної дороги і з'єднає право- та лівобережну частини Дніпра.

Такі проекти та їх реалізація повинні стати результатом вдалого поєднання наукової думки та дій всіх, кому не байдужа майбутня доля самого міста, безпеки руху, здоров'я населення.

Наукова новизна та практична значимість

Проведена робота є більш практичною, в тих рамках, що окреслені. Але вона позначена потенційною науковою новизною, що полягає у вирішенні подальшої задачі регулювання та оптимізації пасажиропотоків міста, скоригованих наявністю нової альтернативної транспортної системи. В умовах мегаполісу канатна дорога є гідним та досить серйозним конкурентом іншим видам громадського транспорту. Її впровадження, підтримане сукупністю інших альтернативних рішень проблеми транспорту великих міст може мати значну практичну значимість для підвищення рівня життя в мегаполісах.

Висновки

1. Підтверджено, що пріоритетом розвитку суспільства повинно бути безпека руху, зниження негативного впливу транспорту на людину і навколишнє середовище.

2. Отримані дані для м. Дніпра доводять, що використання пасажирської підвісної канатної дороги, як альтернативного виду транспорту, актуально для вирішення ряду транспортних питань мегаполісу.

3. Оскільки транспортна система повинна використовуватися максимально ефективно, застосування пасажирської підвісної канатної дороги є слушним і доцільним та потребує виконання попереднього комплексу теоретичних й експериментальних досліджень із залученням фахівців різних напрямків.

4. Для вирішення цих питань виконуються комплексні експериментальні, теоретичні та організаційні роботи, які неможливо здійснити без методів математичного моделювання.

За підтримку у підготовці матеріалу статті автори вдячні д.т.н., доценту Тютюкіну О. Л. та к.т.н., доценту Недужій Л. О.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Babyak, M. O., Neduzha, L. O., & Koty`k, V. Ya. (2011). The Investigation of Protective Strap's Wear of Pantographs Electric Rolling Stock of Direct Current. *Elektryfikaciya transportu*, 2, 10-12.
- Bondarenko, I. O., & Neduzha, L. O. (2019). Investigation of the Influence of the Rolling Stock Dynamics on the Intensity of Using of the Railway Track Ele-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- ments. *Science and Transport Progress*, 4 (82), 61-73.
- Bondarenko, I., Lunys, O., Neduzha, L., & Keršys, R. (2019). Dynamic Track Irregularities Modeling when Studying Rolling Stock Dynamics. *Proc. of 23rd Intern. Scientific Conf. «Transport Means. 2019»*, 1014-1019.
- Kalivoda, J., & Neduzha, L. O. (2017). Enhancing the Scientific Level of Engineering Training of Railway Transport Professionals. *Science and Transport Progress*, 6 (72), 128-137.
- Klimenko, I., Kalivoda, J., & Neduzha, L. (2019). Influence of Parameters of Electric Locomotive on its Critical Speed. *Proc. of 11th Intern. Scientific Conf. «Transbaltica 2019»*.
- Lunys, O., Neduzha, L., & Tatarinova, V. (2019). Stability Research of the Main-Line Locomotive Movement. *Proc. of 23rd Intern. Scientific Conf. «Transport Means. 2019»*, 1341-1345.
- Myamlin, S., Lunys, O., & Neduzha, L. (2017). Estimation of Dynamic Qualities of Freight Wagons on Bogies of a Perspective Model. *Proc. of IX Intern. Conf. «Transport Problems»*, 459-469.
- Myamlin, S. V., Zelenko, Yu. V., & Neduzha, L. O. (2014). *Parametric environment in railway transport. Principles, assessment, monitoring, security: monograph*. Dnepropetrovsk: Lithographer Publishing.
- Myamlin, S. V., Neduzha, L. O., & Shvets, A. O. (2018). *Research of Dynamics and Strength of Freight Cars*. Dnepropetrovsk: «Svidler A.L.».
- Neduzha, L. O., & Shvets, A. O. (2016). Application of APM WinMachine Software for Design and Calculations in Mechanical Engineering. *Science and Transport Progress*, 2 (62), 129-147.
- Neduzha, L., & Cherniavska, O. (2019). The Road over Dnipro. Contemporaneity and Prospects. *Visnik serifikatsii zaliznichnogo transportu*, 1, 28-32.
- Tatarinova, V. A., Kalivoda, J., & Neduzha, L. O. (2018). Research of Locomotive Mechanics Behavior. *Science and Transport Progress*, 5 (77), 104-114.
- Zelenko, Yu., Lunys, O., Neduzha, L., & Steišūnas, S. (2019). The Assessment of Negative Impact of Oil Products on Railroad Track and Rolling Stock Constructions. *Proc. of 23rd Intern. Scientific Conf. «Transport Means. 2019»*, 1300-1306.
- Городской сайт Днепра, посилання <https://gorod.dp.ua/news/tag/175>
- Зеленько, Ю. В., & Недужа, Л. О. (2015). Прогнозування та моделювання шумового навантаження. Сучасні підходи до створення шумових карт залізниць. *Локомотив-інформ*, 09-10, 12-16.
- Зеленько, Ю. В., Мямлін, С. В., & Недужа, Л. А. (2015). Современные подходы к контролю шума от подвижного состава и созданию шумовых карт железных дорог. *Транспорт РФ*, 3 (58), 50-53.
- Капіца, М. І., Калівода, Я., Недужа, Л. О., Очкасов, О. Б., & Черняев, Д. В. (2018). *Комп'ютерне моделювання залізничних транспортних засобів: метод. вказівки до виконання практичних робіт, курсового та дипломного проектування*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна.
- Петренко, В. Д., Тютюкін, О. Л., & Хавін, О. Б. (2018). Чисельний аналіз конструкції перегінних тунелів, що знаходяться в різних рівнях. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 13, 75-90.
- Таємниці Дніпра: Канатний дорозі – рівно півстоліття!, посилання <http://uanews.dp.ua/other/2018/05/31/146392.html>
- Татарінова, В. А., & Недужа, Л. О. (2018). Теоретичні дослідження руху одиниці рухомого складу. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*, 16, 121-126.
- Тютюкін, А. Л., & Бурауи, Р. (2018). Основы концепции комбинированного наземного метрополитена в г. Днепре с позиции тунисского опыта. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 14, 71-80.

М. В. ГУЗИЕНКО^{1*}, Л. А. СУХІНА²

¹ ННЦ «Мости и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, эл. почта huziyenko@gmail.com, ORCID 0000-0001-6378-9166

² ННЦ «Организация строительства и эксплуатации дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 51, эл. почта huziyenko@gmail.com, ORCID 0000-0003-4568-4269

РАЗРАБОТКА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИДА ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА С ОБЩИМ ПОВЫШЕНИЕМ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПассажиРОВ

© М. В. Гузиенко, Л. А. Сухина, 2019

Цель. В работе намечена целью разработка основ альтернативного вида транспорта для условий города, который позволит направить пассажиропотоки, разгрузит конкретные зоны города и повысит безопасность. Таким альтернативным видом транспорта является пассажирская подвесная канатная дорога, которая занимает в современном мире ведущее место в обеспечении транспортно-технологических и развлекательных функций в городских инфраструктурах. **Методика.** Для достижения поставленной цели проведен анализ требований безопасности пассажиров с учетом особенностей подвесной дороги. Предложено применение компьютерного моделирования для решения задачи маршрутизации альтернативного вида транспорта. С его помощью можно выполнить компьютерное моделирование профиля рельефа, определить перепад высот и уклон пути. **Результаты.** Для г. Днепра проанализирована загруженность путей передвижения населения в часы пик, выбрано место исследования и для него с помощью аналитических данных получены расчетные данные. Для дальнейшей обработки информации составлена карта. Доказано, что в условиях мегаполиса канатная дорога является достойным и достаточно серьезным конкурентом другим видам общественного транспорта. Поскольку транспортная система должна использоваться максимально эффективно, применение пассажирской подвесной канатной дороги целесообразно и требует выполнения предыдущего комплекса теоретических и экспериментальных исследований с привлечением специалистов различных направлений. **Научная новизна.** Научная новизна заключается в решении дальнейшей задачи регулирования и оптимизации пассажиропотоков города, скорректированных наличием новой альтернативной транспортной системы. **Практическая значимость.** Подтверждено, что приоритетом развития общества должна быть безопасность движения, снижение негативного воздействия транспорта на человека и окружающую среду. Полученные данные показывают, что использование пассажирской подвесной канатной дороги, как альтернативного вида транспорта, актуально для решения ряда транспортных вопросов мегаполиса.

Ключевые слова: транспорт; пассажиропоток; безопасность перевозок и движения; экология; пассажирская подвесная канатная дорога

М. V. HUZUYENKO^{1*}, L. A. SOOHINA²

^{1*} ESC «Bridges and tunnels», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 53, e-mail huzuyenko@gmail.com, ORCID 0000-0001-6378-9166

² ESC «Organization of construction and operation of roads», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 51, e-mail huzuyenko@gmail.com, ORCID 0000-0003-4568-4269

DEVELOPMENT OF AN ALTERNATIVE TYPE OF URBAN TRANSPORT WITH A GENERAL INCREASE IN THE SECURITY LEVEL OF PASSENGERS

Purpose. The goal is to develop the foundations of an alternative mode of transport for the conditions of the city, which will allow directing passenger flows, unloading specific areas of the city and increasing safety. Such an alternative mode of transport is the passenger cableway, which occupies a leading place in the modern world in providing transport, technological and entertainment functions in urban infrastructures. **Methodology.** To achieve this goal, an analysis of passenger safety requirements was carried out taking into account the characteristics of the cableway. The use of computer modeling to solve the routing problem of an alternative mode of transport is proposed. Using it, you can perform computer modeling of the profile of the relief, determine the elevation and slope of the path. **Findings.** For the city of Dnipro, the workload of the population's movement routes during peak hours was analyzed, the place of study was selected and calculated data were obtained for it using analytical data. A map has been compiled for further information processing. It is proved that in a metropolis, the cable car is a worthy and quite serious competitor to other types of public transport. Since the transport system should be used as efficiently as possible, the use of a passenger cableway is advisable and requires the implementation of the previous set of theoretical and experimental studies involving specialists from various fields. **Originality.** Originality lies in solving the further task of regulating and optimizing the passenger flow of the city, adjusted by the presence of a new alternative transport system. **Practical value.** It was confirmed that the priority for the development of society should be traffic safety, reducing the negative impact of transport on humans and the environment. The data obtained show that the use of passenger cableway as an alternative mode of transport is relevant for solving a number of transport issues in the metropolis.

Keywords: transport; passenger flow; transport safety and traffic; ecology; passenger cableway

© М. В. Гузиєнко, Л. А. Сухіна, 2019

REFERENCES

- Babyak, M. O., Neduzha, L. O., & Koty`k, V. Ya. (2011). The Investigation of Protective Strap's Wear of Pantographs Electric Rolling Stock of Direct Current. *Elektryfikaciya transportu*, 2, 10-12. (in English)
- Bondarenko, I. O., & Neduzha, L. O. (2019). Investigation of the Influence of the Rolling Stock Dynamics on the Intensity of Using of the Railway Track Elements. *Science and Transport Progress*, 4 (82), 61-73. (in English)
- Bondarenko, I., Lunys, O., Neduzha, L., & Keršys, R. (2019). Dynamic Track Irregularities Modeling when Studying Rolling Stock Dynamics. *Proc. of 23rd Intern. Scientific Conf. «Transport Means. 2019»*, 1014-1019. (in English)
- Kalivoda, J., & Neduzha, L. O. (2017). Enhancing the Scientific Level of Engineering Training of Railway Transport Professionals. *Science and Transport Progress*, 6 (72), 128-137. (in English)
- Klimenko, I., Kalivoda, J., & Neduzha, L. (2019). Influence of Parameters of Electric Locomotive on its Critical Speed. *Proc. of 11th Intern. Scientific Conf. «Transbaltica 2019»*. (in English)
- Lunys, O., Neduzha, L., & Tatarinova, V. (2019). Stability Research of the Main-Line Locomotive Movement. *Proc. of 23rd Intern. Scientific Conf. «Transport Means. 2019»*, 1341-1345. (in English)
- Myamlin, S., Lunys, O., & Neduzha L. (2017). Estimation of Dynamic Qualities of Freight Wagons on Bogies of a Perspective Model. *Proc. of IX Intern. Conf. «Transport Problems»*, 459-469. (in English)
- Myamlin, S. V., Zelenko, Yu. V., & Neduzha, L. O. (2014). *Parametric environment in railway transport. Principles, assessment, monitoring, security: monograph*. Dnepropetrovsk: Lithographer Publishing. (in English)
- Myamlin, S. V., Neduzha, L. O., & Shvets, A. O. (2018). *Research of Dynamics and Strength of Freight Cars*. Dnepropetrovsk: «Svidler A.L.». (in English)
- Neduzha, L. O., & Shvets, A. O. (2016). Application of APM WinMachine Software for Design and Calculations in Mechanical Engineering. *Science and Transport Progress*, 2 (62), 129-147. (in English)
- Neduzha, L., Cherniavska, O. (2019). The Road over Dnipro. Contemporaneity and Prospects. *Visnik sertifikatsii zaliznichnogo transportu*, 1, 28-32. (in English)
- Tatarinova, V. A., Kalivoda, J., & Neduzha, L. O. (2018). Research of Locomotive Mechanics Behavior. *Science and Transport Progress*, 5 (77), 104-114. (in English)
- Zelenko, Yu., Lunys, O., Neduzha, L., & Steišūnas, S. (2019). The Assessment of Negative Impact of Oil Products on Railroad Track and Rolling Stock Constructions. *Proc. of 23rd Intern. Scientific Conf. «Transport Means. 2019»*, 1300-1306. (in English)
- Gorodskoj sajt Dnepra, posylannia <https://gorod.dp.ua/news/tag/175> (in Russian)
- Zelenko, Yu. V., & Neduzha, L. O. (2015). Prognozuvannya ta modelyuvannya shumovogo navantazhennya. Suchasni pidkhodi do stvorennia shumovikh kart zaliznits. *Lokomotiv-inform*, 9-10, 12-16. (in Ukrainian)
- Zelenko Yu. V., Myamlin S. V., & Neduzha L. A. (2015). Modern approaches to the control of noise from rolling stock and the creation of noise maps of railways. *Transport RF*, 3 (58), 50-53. (in Russian)
- Kapitsa, M. I., Kalivoda, J., Neduzha, L. O., Ochkasov, O. B., & Chernyayev, D. V. (2018). Komp'yuterne modelyuvannya zaliznichnikh transportnikh zasobiv: metodychni vkazivky do vykonannia praktychnykh robot, kursovoho ta dyplomnoho proektuvannia. D.: DNURT, 59 p. (in Ukrainian)
- Petrenko, V. D., Tiutkin, O. L., & Khavin, O. B. (2018). Chyselnyi analiz konstruktsii perehinnykh tuneliv, shcho znakhodiatsia v riznykh rivniakh. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 13, 75-90. (in Ukrainian)
- Taiemnytsi Dnipra: Kanatnii dorozh – rivno pivstolittia!, posylannia <http://uanews.dp.ua/other/2018/05/31/146392.html> (in Ukrainian)
- Tatarinova, V., & Neduzha, L. (2018). Theoretical Research of the Traction Vehicle Motion. *Electromagnetic compatibility and safety on railway transport*, 16, 121-126. (in Ukrainian)
- Tjut'kin, A. L., Burai, R. (2018). Osnovy koncepcii kombinirovannogo nazemnogo metropolitena v g. Dnepre s pozicii tunisskogo opyta. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 14, 71-80. (in Russian)

Надійшла до редколегії 02.09.2019

Прийнята до друку 25.09.2019

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 658.5:[69-049.6:519.85/.87]

Н. О. ДАНКЕВИЧ

Кафедра «Промислове та цивільне будівництво», Інженерний інститут Запорізького національного університету,
пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, ORCID 0000-0002-7146-9303

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ РІШЕНЬ У СКЛАДІ ПРОЕКТУ ОРГАНІЗАЦІЇ БУДІВНИЦТВА

Мета. Дослідження умов господарювання суб'єктів договорів підряду на будівництво, виокремлення їх можливості самостійно регламентувати договірні відносини при виконанні робіт і надання послуг в інвестиційно-будівельній сфері. **Методика.** Перед підрядником стоїть завдання вибору договірних значень тривалості і вартості будівництва з такою нормою надмірності, яка з вірогідністю 10 % допускала можливі втрати будівельною організацією і планованому прибутку. **Результати.** При укладенні договорів їх учасники стикаються з різного роду ризиками. При укладенні договору підряду на будівництво об'єкту замовник і підрядчик переслідують принципово протилежні цілі – замовник прагне понизити ціну, а підрядчик – її збільшити. Керуючому органу необхідно передбачити такі договірні значення тривалості і вартості проекту, які з допустимим ступенем надмірності змогли б обмежити об'єктивно існуючу різноманітність неприйнятних результатів будівництва. Ці обставини зумовлюють необхідність розробки організаційної моделі, яка мінімізує вплив різноманітних факторів на вибір оптимального варіанту організаційних рішень. **Наукова новизна.** Розробка ефективної моделі на основі принципів системотехніки, яка дозволить створити оптимальні умови розв'язання складних питань ефективності організаційних рішень будівництва об'єктів. **Практична значимість.** Оптимальність організаційних рішень може бути досягнута лише при врахуванні чинників мікро- і макросередовища, що визначають різноманітність можливих результатів будівництва, які виникають у зв'язку зі змінами в організаційно-технологічному середовищі функціонування проектних і будівельних організацій та інших учасників інвестиційно-будівельної діяльності.

Ключові слова: ефективність; організаційно-технологічні рішення; підрядник; надійність; системотехніка

Вступ

В сучасних умовах господарювання суб'єкти договорів підряду на будівництво об'єктів отримали широкі можливості самостійно регламентувати договірні стосунки при виконанні робіт і надання послуг в інвестиційно-будівельній сфері. В той же час, при укладенні договорів учасники стикаються з ризиками. При укладенні договору підряду на будівництво об'єкту замовник і підрядчик переслідують принципово протилежні цілі – замовник прагне понизити ціну, а підрядчик – збільшити її. Тому керуючому органу, необхідно передбачити такі договірні значення тривалості і вартості будівельного проекту, які з допустимою мірою надмірності змогли б обмежити об'єктивно існуючу різноманітність неприйнятних результатів будівництва. Перш ніж укласти контракт, будівельна організація повинна вирішити, яку величину збитку і з якою вірогідністю вона погодиться понести в результаті заданої різноманітності стану системи, тобто визначити межу

допустимого ризику у виборі величини тривалості і вартості будівництва при висуненні умов на тендері підряду.

Мета

Метою роботи є проведення аналізу методів обґрунтування надійності прийняття організаційних рішень у виборі величини кошторисної вартості і тривалості будівництва при укладенні контракту. Для того, щоб оцінити конкретні договірні величини з позиції рівня допустимого ризику, необхідно побудувати імовірнісний розподіл результатів від реалізації підряду, а для цього необхідно знати щільність розподілу двовимірної випадкової величини, а також її функцію розподілу в умовах максимального використання обмежених трудових ресурсів.

Методика

Аналіз вітчизняних і зарубіжних досліджень в області системотехніки і вплив чинників невизначеності при плануванні виробничо-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

економічної діяльності будівельної організації показує, що врахувати цей вплив, значить, будівельна організація матиме необхідну виробничо-економічну надійність, що дозволяє досягти поставлених цілей (Голенко, 1968; Бушуев, & Михайлов, 1980; Асаул, 2001; Павлов, & Радкевич, 2003; Гусаков, 2004; Радкевич, & Данкевич, 2011; Арутюнян, (Ред.), 2017). У світовій практиці управління проектами межа допустимого ризику визначається можливістю втрати усього прибутку з вірогідністю 10 %. Таким чином, перед підрядником стоїть завдання вибору договірних значень тривалості і вартості будівництва з такою нормою надмірності, яка з вірогідністю 10 % допускала можливі втрати будівельною організацією і планованому прибутку.

Вирішенню окремих питань цієї проблеми присвячені роботи Асаула А. Н., Афанасьєва В. А., Антипенка Є. Ю., Гусакова А. А., Гумбы Х. М., Доненка В. І., Кірнос В. М., Опарина С. Г., Павлова І. Д., Радкевича А. В. Тяна Р. Б., Уварова Е. П., Шенона Д., Эшби Р. (Бушуев, & Михайлов, 1980; Павлов, 1993; Павлов, & Радкевич, 2003; Павлов, Брехаря, & Радкевич, 2005; Тян, Павлов, & Головова, 2006). В той же час існує низка запитань, що вимагають подальшого теоретичного і практичного рішення. В зв'язку з цим потрібна розробка нових методів і вдосконалення вже існуючих.

Якщо інвестору потрібна тривалість будівництва, що змушує підрядника до максимально-можливої інтенсивності освоєння кошторисної вартості, природно при існуючому обмеженні на ресурси, то в цьому випадку кількість параметрів, по підвищенню надійності отримання прибутку, які має в розпорядженні орган управління, зменшується за рахунок інтенсивності споживання ресурсів, оскільки кількість використовуваних ресурсів на (i, j) -й роботі є строго певною (а саме: максимально-можливою) величиною. Тому керуючому органу, необхідно передбачити такі значення параметрів, що залишилися, в саме T_a , C_a , які з достатньою мірою надмірності змогли б обмежити різноманітність неприйнятних фактичних значень T_f і C_f досягши поставлених цілей.

Тому в результаті аналізу можливих умов реалізації проекту експертною системою будівельної організації отримані щільність розподілу $P(T)$, $P(C)$ і статистичні функції розподілів $F(T)$, $F(C)$ величини T і C .

Таким чином організаційна модель характеризується певною різноманітністю можливих станів її характеристик тривалості і вартості (Павлов, & Радкевич, 2003; Павлов, 2008; Радкевич, Арутюнян, & Данкевич, 2017).

При цьому тимчасова ентропія системи розраховується:

$$H_{tm} = \int_{T_{min}}^{T_{max}} p(T) \log_2 p(T) dT. \quad (1)$$

а вартісна ентропія:

$$H_{cm} = \int_{C_{min}}^{C_{max}} p(C) \log_2 p(C) dC. \quad (2)$$

Нехай також замовником на тендері висунені наступні умови реалізації проекту:

$$\begin{cases} C = C_3 \\ T = T_3 \\ Y = E(T - T_3) \end{cases}, \quad (3)$$

де Y – штрафи санкції за зрив термінів будівництва; E – пеня за день прострочення.

Умови формули (3) обмежуються різноманітністю неприйнятних значень T і C , тобто що задовольняють умовам:

$$T_3 T \leq T_{max}, \quad C_3 C \leq C_{max}. \quad (4)$$

Таким чином, при заданій різноманітності прийнятних значень вартості (C) і тривалості (T) ентропія системи розраховується за формулами:

$$H_t = \int_{T_{min}}^{T_{max}} p(T) \log_2 p(T) dT. \quad (5)$$

$$H_c = \int_{C_{min}}^{C_{max}} p(C) \log_2 p(C) dC. \quad (6)$$

Надмірність обмеження різноманітності визначається:

$$R = 1 - \frac{H}{H_m}. \quad (7)$$

Аналіз формул (5, 6), дозволяє зробити наступний висновок:

– якщо $T = T_{min}$ і $C = C_{min}$, $R_T = 0$, $R_C = 0$, тобто не спостерігається ніякого обмеження різноманітності;

– якщо $T = T_{max}$ і $C = C_{max}$, $R_T = R_C = 1$, тобто обмеження різноманітності максимально.

На підставі вищевикладеного перед підрядником виникають наступні завдання:

– аналіз умов формули (4) в сенсі отримання розрахункового прибутку;

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

– формування таких умов формули (3), які не лише забезпечували б отримання планованого прибутку, але також і відповідали б високій вірогідності отримання цього підяду на тендері, тобто розумній надмірності обмеження існуючої різноманітності формул (1) та (2). Очевидно, що перше завдання є окремим випадком другого, тобто якщо в результаті рішення другої задачі підрядником отримані значення $T=T_d$, $C=C_d$, то порівняння їх з умовами формули (3), можна зробити висновок про прийнятність заданих значень C_3 і T_3 .

Таким чином, саме цілі діяльності підрядної організації будуть основоположні при виборі договірних показників тривалості T_d і вартості C_d проекту.

Якщо в якості договірних прийняти умову формули (3), то кількісну оцінку величини результатів, що досягаються в цьому випадку, можна дати на основі наступного аналізу:

– подією А визначаємо перевищення фактичної вартості над договірною (заданою), $C_\phi > C_d$;

– подією Б визначаємо перевищення фактичної тривалості над договірною, $T_\phi > T_d$;

– подією В визначаємо перевищення договірної вартості над фактичною, $C_d > C_\phi$;

– подією Г визначаємо перевищення заданої тривалості будівництва над фактичною $T_3 > T_\phi$.

Математично ці умови виражаються наступним нерівностями

$$A: C_3 < C_\phi \leq C_{\max} \quad B: T_3 < T_\phi \leq T_{\max}$$

$$B: C_{\min} \leq C_\phi \leq C_3 \quad G: T_{\min} \leq T_\phi \leq T_3$$

Відносно подій А, Б, В, Г, можуть бути дані наступні кількісні оцінки:

1) вірогідність появи подій:

$$P(A) = 1 - F, (C \leq C_3); \quad (8)$$

$$P(B) = 1 - F, (T \leq T_3); \quad (9)$$

$$P(B) = F, (C \leq C_3); \quad (10)$$

2) максимальне значення подій, що досягаються при появі, А, Б, В результатів (збитку додаткового прибутку) і їх вірогідності:

$$\Pi_A^{\max} = C^{\max} - C_3, \quad P(\Pi_A^{\max}) = P(C^{\max}), \quad (11)$$

де $\Pi_A^{\max}$ – максимальне значення втрат, коли $C_\phi = C_{\max}$;

$$\Pi_E^{\max} = E(T^{\max} - T_3), \quad P(\Pi_E^{\max}) = P(C^{\max}), \quad (12)$$

де $\Pi_E^{\max}$ – максимальне значення втрат, коли $T_\phi = T_{\max}$;

$$D_B^{\max} = C_3 - C^{\min}, \quad P(D_B^{\max}) = P(C^{\max}), \quad (13)$$

де $D_B^{\max}$ – максимальне значення додаткових доходів, коли $C_\phi = C_{\min}$;

3) очікувані значення результатів, що досягаються, а також вірогідність того, що ці результати не будуть перевищені (для витрат або занижені доходів):

$$C_{ож} = \int_{C^{\min}}^{C^{\max}} C p(C) dC. \quad (14)$$

$$\Pi_A^{ож} = C_{ож} - C_3, \quad F(\Pi \leq \Pi_A^{ож}) = F(C \leq C_{ож}), \quad (15)$$

$$D_B^{ож} = C_{ож} - C_3, \quad F(D \leq D_B^{ож}) = F(C \leq C_{ож}), \quad (16)$$

де $C_{ож}$ – математичне очікування вартості будівництва; $F(C \leq C_{ож})$, – вірогідність того, що фактична вартість не перевищить очікуваного значення; $\Pi_A^{ож}$ – очікуване значення втрат за умови, що $C_{ож} > C_3$ тобто при настанні події А; $F(\Pi \leq \Pi_A^{ож})$ – вірогідність того, що втрати $\Pi_A^{ож}$ не будуть перевищені; $D_B^{ож}$ – очікуване значення додаткового доходу за умови, що $C_{ож} > C_3$, тобто при настанні події В; $F(D \leq D_B^{ож})$ – вірогідність того, що доход $D_B^{ож}$ не буде занижений;

$$T_{ож} = \int_{T^{\min}}^{T^{\max}} E(T - T_3) p(T) dT. \quad (17)$$

$$\Pi_B^{ож} = E(T_{ож} - T_3), \quad F(\Pi \leq \Pi_B^{ож}) = F(T \leq T_{ож}), \quad (18)$$

де $T_{ож}$ – математичне очікування тривалості будівництва; $F(T \leq T_{ож})$ – вірогідність, що фактична вартість не перевищить очікувані значення; $\Pi_B^{ож}$ – очікуване значення втрат за умови, що $(T \leq T_{ож})$, тобто при настанні події Б; $F(\Pi \leq \Pi_B^{ож})$ – вірогідність того, що втрати $\Pi_B^{ож}$ – не будуть перевищені.

Результати

Загальний результат реалізації проекту може полягати в появі однієї з чотирьох подій, а саме:

$$AB: \begin{cases} C_3 < C_\phi \leq C^{\max} \\ T_3 < T_\phi \leq T^{\max} \end{cases}; \quad (19)$$

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

$$BG: \begin{cases} C_{\phi}^{\min} \leq C_{\phi} \leq C_3; \\ T^{\min} \leq T_{\phi} \leq T_3; \end{cases} \quad (20)$$

$$AG: \begin{cases} C_3 < C_{\phi} \leq C^{\max}; \\ T^{\min} \leq T_{\phi} \leq T_3; \end{cases} \quad (21)$$

$$BB: \begin{cases} T_3 < T_{\phi} \leq T^{\max}; \\ C^{\min} \leq C_{\phi} \leq C_3. \end{cases} \quad (22)$$

Тоді мінімальні значення результатів, що досягаються, при появі подій AB , BG , AG , BB можуть бути визначені за формулах:

$$P_{AB}^{\max} = P_A^{\max} + P_B^{\max}, \quad C_{\phi} = C^{\max}, \quad T_{\phi} = T^{\max}; \quad (23)$$

$$D_{BG}^{\max} = D_B^{\max}, \quad C_{\phi} = C^{\min}; \quad (24)$$

$$P_{AG}^{\max} = P_A^{\max}, \quad C_{\phi} = C^{\max}; \quad (25)$$

$$P_{BB}^{\max} = P_B^{\max} + P^{\max}, \quad C_{\phi} = C_3, \quad T_{\phi} = T^{\max}; \quad (26)$$

$$D_{BB}^{\max} = D_B^{\max} + P_B^{\max}, \quad C_{\phi} = C_3^{\min}, \quad T_{\phi} = T_3; \quad (27)$$

де P – втрати, D – додатковий дохід.

Очікувані результати знаходяться згідно формул:

$$P_{AB}^{\text{ож}} = P_A^{\max} + P_B^{\max}, \quad C_{\phi} = C^{\text{ож}} > C_3, \quad (28)$$

$$T_{\phi} = T^{\text{ож}} > T_3;$$

$$D_{BG}^{\text{ож}} = D_B^{\text{ож}}, \quad C_{\phi} = C^{\text{ож}} < C_3; \quad (29)$$

$$P_{AG}^{\text{ож}} = P_A^{\text{ож}}, \quad C_{\phi} = C^{\text{ож}} > C_3; \quad (30)$$

$$P_{BB}^{\text{ож}} = P_B^{\max}, \quad C_{\phi} = C_3 = C^{\text{ож}}, \quad T_{\phi} = T^{\text{ож}} > T_3; \quad (31)$$

$$D_{BB}^{\max} = D_B^{\max}, \quad C_{\phi} = C^{\text{ож}} < C_3, \quad T_{\phi} = T_3 = T^{\text{ож}}. \quad (32)$$

Оскільки при плануванні фінансово-економічної діяльності будівельної організації в першу чергу повинна виходити із співвідношення безпеки і лише в другу чергу з розрахунку отримання майбутнього прибутку, то в якості параметра, що визначає необхідний рівень ризику при виборі договірних значень вартості і тривалості, приймаємо показник P_{AB} , як такий, що характеризує самий несприятливий результат діяльності організації.

Отже, потенційний інвестор, з допомогою методу буде забезпечений повним набором даних, що характеризують ризик проекту. На цій основі він зможе прийняти зважене рішення про надання коштів.

Наукова новизна та практична значимість

Дана методика дозволяє побудувати математичну модель з невизначеними значеннями параметрів, і, знаючи ймовірнісні розподіли параметрів продукту, а також зв'язок між змі-

нами параметрів (кореляцію) отримати розподіл результатів критерію.

Метод створює додаткову можливість при оцінці ризику за рахунок того, що робить можливим створення випадкових сценаріїв. Застосування аналізу ризику використовує багатство інформації, будь вона у формі об'єктивних даних чи оцінок експертів, для кількісного опису невизначеності, яка існує у відношенні основних змінних проекту, для обґрунтованих розрахунків можливого впливу невизначеності на ефективність інвестиційного проекту. Результат аналізу ризику виражається не яким-небудь єдиним значенням, а у вигляді імовірнісного розподілу всіх можливих значень цього показника.

Оптимізаційна модель спрямована на пошук кращих з усіх можливих підприємницьких рішень і передбачають їх подальшу реалізацію.

Висновки

Узагальнюючи отримані результати, можна зробити висновки тому, що актуальність цього завдання обумовлена об'єктивним існуванням невизначених чинників мікро- і макросередовища, визначальних різноманітність можливих результатів будівництва.

Для того, щоб оцінити конкретні договірні величини тривалості і вартості з позиції рівня допустимого ризику, необхідно побудувати імовірнісний розподіл результатів від реалізації підприємства, а для цього необхідно знати щільність розподілу двовимірної випадкової величини, а також її функцію розподілу в умовах максимального використання обмежених трудових ресурсів, підвищення надійності досягнення цілей будівництва, тобто отримання прибутку, досягається за рахунок прямого резервування часу і засобів для компенсації негативного впливу мікро- і макросередовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Асаул, А. Н. (2001). *Феномен инвестиционно-строительного комплекса или сохраняется строительный комплекс в рыночной экономике*. Санкт-Петербург.
- Арутюнян, І. А. (Ред.). (2017). *Наукові основи розвитку будівельної галузі України*. Запоріжжя: ЗДІА.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- Бушуев, С. Д., & Михайлов, В. С. (1980). *Разработка алгоритмов управления строительством*. Киев: Будівельник.
- Голенко, Д. И. (1968). *Статистические методы сетевого планирования и управления*. Москва: Наука.
- Гусаков, А. А. (Ред.). (2004). *Системотехника в строительстве. Энциклопедический словарь*. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов.
- Павлов, І. Д. (1993). *Оптимальні моделі організації будівельного виробництва: навчальний посібник*. Київ: ІСДО.
- Павлов, І. Д., & Радкевич, А. В. (2003). *Оптимальні моделі організації будівельного виробництва: навчальний посібник*. Запоріжжя: ЗДІА.
- Павлов, І. Д., Брехаря, Г. П., & Радкевич, А. В. (2005). *Модели принятия управленческих решений*. Запорожье: ЗНУ.
- Павлов, І. Д. (2008). *Управління проектами і оптимізація рішень в умовах невизначеності та ризику*. Запоріжжя: ЗДІА.
- Радкевич, А. В., & Данкевич, Н. О. (2011). Вибір ефективного варіанту організаційно-технологічних рішень будівельного проекту. *Комунальне господарство міст. Серія «Технічні науки та архітектура»*, 101, 97-103.
- Радкевич, А. В., Арутюнян, І. А., & Данкевич, Н. О. (2017). Аналіз методів і моделей при обґрунтування організаційно-технологічних рішень будівництва об'єктів. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 11, 74-80.
- Тян, Р. Б., Павлов, І. Д., & Головова, Л. С. (2006). *Управління проектами в виробничих системах*. Запоріжжя: ГУ ЗІДМУ.

Н. А. ДАНКЕВИЧ

Кафедра промышленного и гражданского строительства Инженерный институт Запорожского национального университета, пр. Соборный, 226, Запорожье, Украина, 69006, тел +38(098)272 90 77, эл. почта: DankevichNatali28@gmail.com, ORCID 0000-0002-7146-9303

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В СОСТАВЕ ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА

Цель. Исследование условий хозяйствования субъектов договоров подряда на строительство, выделение им возможности самостоятельно регламентировать договорные отношения при выполнении работ и оказание услуг в инвестиционно-строительной сфере. **Методика.** Перед подрядчиком стоит задача выбора договорных значений продолжительности и стоимости строительства с такой нормой избыточности, которая с вероятностью 10 % допускала возможные потери строительной организацией и планируемой прибыли. **Результаты.** При заключении договоров их участники сталкиваются с различного рода рисками. При заключении договора подряда на строительство объекта заказчик и подрядчик преследуют принципиально противоположные цели – заказчик стремится снизить цену, а подрядчик – ее увеличить. Управляющему органу необходимо предусмотреть такие договорные значения продолжительности и стоимости проекта, которые с допустимым степенно избыточности смогли бы ограничить объективно существующее разнообразие неприемлемых результатов строительства. Эти обстоятельства обуславливают необходимость разработки организационной модели, которая минимизирует влияние различных факторов на выбор оптимального варианта организационных решений. **Научная новизна.** Разработка эффективной модели на основе принципов системотехники, которая позволит создать оптимальные условия решения сложных вопросов эффективности организационных решений строительства объектов. **Практические значения.** Оптимальность организационных решений может быть достигнута только при учете факторов микро- и макросреды, определяющих разнообразие возможных результатов строительства, возникающие в связи с изменениями в организационно-технологической среде функционирования проектных и строительных организаций и других участников инвестиционно-строительной деятельности.

Ключевые слова: эффективность; организационно-технологические решения; подрядчик; надежность; системотехника

N. A. DANKEVICH

Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia State Engineering Academy, Sobornyi Avenu 226, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (098) 272 90 77, e-mail DankevichNatali28@gmail.com, ORCID 0000-0002-7146-9303

© Н. О. Данкевич, 2019

IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF ORGANIZATIONAL DECISIONS IN THE COMPOSITION OF THE CONSTRUCTION PROJECT

Purpose. The study of the economic conditions of the subjects of construction contracts, the allocation of the opportunity for them to independently regulate contractual relations in the performance of work and the provision of services in the construction sector. **Methodology** The contractor is faced with the task of choosing contractual values for the duration and cost of construction with such a redundancy rate that with a probability of 10 % allowed possible losses by the construction organization and the planned profit. **Findings.** When concluding contracts, their participants face various kinds of risks. When concluding a contract for the construction of an object, the customer and the contractor pursue fundamentally opposite goals – the customer seeks to reduce the price, and the contractor – to increase it. The governing body, it is necessary to provide such contractual values of the duration and cost of the project, which with an acceptable degree of redundancy could limit the objectively existing variety of unacceptable construction results. These circumstances necessitate the development of an organizational model that minimizes the influence of various factors on the selection of the best option for organizational decisions. **Originality.** The development of an effective model based on the principles of systems engineering, which will create optimal conditions for solving complex issues of the effectiveness of organizational solutions for the construction of facilities. **Practical value.** The optimality of organizational decisions can be achieved only by taking into account factors of the micro- and macro environment, which determine the variety of possible construction results that arise in connection with changes in the organizational and technological environment of the functioning of design and construction organizations and other participants in construction activities.

Key words: effectiveness; organizational and technological solutions; contractor; reliability; system engineering

REFERENCES

- Asaul, A. N. (2001). *Fenomen investicionno-stroitel'nogo kompleksa ili sohranjaetsja stroitel'nyj kompleks v rynochnoj jekonomike*. Sankt-Peterburg. (in Russian)
- Arutiunian, I. A. (Red.). (2017). *Naukovi osnovy rozvytku budivelnoi haluzi Ukrainy*. Zaporizhzhia: ZDIA. (in Ukrainian)
- Bushuev, S. D., & Mihajlov, V. S. (1980). *Razrabotka algoritmov upravlenija stroitel'stvom*. Kiev: Budivelnyk. (in Russian)
- Golenko, D. I. (1968). *Statisticheskie metody setevogo planirovanija i upravlenija*. Moskva: Nauka. (in Russian)
- Gusakov, A. A. (Red.). (2004). *Sistemotekhnika v stroitel'stve. Jenciklopedicheskij slovar'*. Moskva: Izdatel'stvo As-sociacii stroitel'nyh vuzov. (in Russian)
- Pavlov, I. D. (1993). *Optymalni modeli orhanizatsii budivelnoho vyrobnytstva: navchalnyi posibnyk*. Kyiv: ISDO. (in Ukrainian)
- Pavlov, I. D., & Radkevych, A. V. (2003). *Optymalni modeli orhanizatsii budivelnoho vyrobnytstva: navchalnyi posibnyk*. Zaporizhzhia: ZDIA. (in Ukrainian)
- Pavlov, I. D., Breharja, G. P., & Radkevich, A. V. (2005). *Modeli prinjatija upravlencheskih reshenij*. Zaporozh'e: ZNU. (in Russian)
- Pavlov, I. D. (2008). *Upravlinnia proektamy i optymizatsiia rishen v umovakh nevyznachenosti ta ryzyku*. Zaporizhzhia: ZDIA. (in Ukrainian)
- Radkevych, A. V., & Dankevych, N. O. (2011). *Vybir efektyvnogo variantu orhanizatsiino-tekhnologichnykh rishen budivelnoho proektu. Komunalne hospodarstvo mist. Seriya «Tekhnichni nauky ta arkhitektura»*, 101, 97-103. (in Ukrainian)
- Radkevych, A. V., Arutiunian, I. A., & Dankevych, N. O. (2017). *Analiz metodiv i modelei pry obgruntuvannia orhanizatsiino-tekhnologichnykh rishen budivnytstva obektiv. Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 11, 74-80. (in Ukrainian)
- Tian, R. B., Pavlov, I. D., & Holovkova, L. S. (2006). *Upravlinnia proektamy v vyrobnychych systemakh*. Zaporizhzhia: HU ZIDMU. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 12.11.2019

Прийнята до друку 04.12.2019

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 621.643.035:624.078.5

А. О. КИЧМА^{1*}, Й. Й. ЛУЧКО², І. Б. КРАВЕЦЬ³

^{1*} Кафедра технічної механіки та динаміки машин, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, 79013, тел. +38 (067) 782 67 27, ел. пошта akychma@gmail.com, ORCID 0000-0002-0339-4100

² Кафедра будівельних конструкцій, Львівський національний аграрний університет, вул. В. Великого, 1, Дубляни, Україна, 80381, ORCID 0000-0002-3675-0503

³ Кафедра мостів та тунелів, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, ORCID 0000-0002-2239-849X

ПРОБЛЕМИ ОПОРНИХ КОНСТРУКЦІЙ НАДЗЕМНИХ ДІЛЯНОК НАФТОГАЗОПРОВОДІВ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Мета. Узагальнення виявлених на основі тривалих багаторічних обстежень стану опорних вузлів надземних ділянок магістральних трубопроводів (МТ). Розроблення рекомендацій щодо мінімізації впливу виявлених відхилень і пошкоджень елементів опорних вузлів на подальшу безаварійну роботу надземних переходів магістральних трубопроводів. **Методика.** Для досягнення поставленої мети, проводилась робота в таких напрямках: розроблення рекомендацій та методики з виконання ремонтно-відновлювальних робіт залізобетонних конструкцій; розроблення рекомендацій із забезпечення необхідної несучої здатності залізобетонних паль та методики встановлення опорних роликів у проектне положення за допомогою мобільного підйимального пристрою без припинення транспортування продукту у магістральних трубопроводах. **Результати.** На основі проведених досліджень виявлено дефекти в опорних залізобетонних конструкціях, зменшення несучої здатності паль та відхилення елементів опорних вузлів від проектного положення і корозійні пошкодження ділянок трубопроводу під півхомутами. Здійснено моделювання напружено-деформованого стану (НДС) надземних ділянок МТ виходячи з умови, що труба одночасно є елементом будівельної конструкції, на яку діють вертикальні і горизонтальні навантаження від власної ваги, зміни температури, вітрові навантаження та технологічним елементом, який зазнає дії внутрішнього тиску. Навантаження, що діють на надземну ділянку трубопроводу під час ремонтно-відновлювальних робіт приймалися у найбільш невідповідних можливих комбінаціях чинників, що закладені у процесі будівництва і експлуатації МТ. Визначення НДС ділянок надземних переходів трубопроводів проводили на основі методу скінчених елементів. Значення напруженого стану надземних ділянок МТ визначали експериментальним шляхом електромагнітним методом, за допомогою приладу MESTR-411. **Наукова новизна.** Узагальнено численні дослідження стану елементів опорних залізобетонних конструкцій та рухомих кареток з опорними роликами. Розроблено методики ремонтно-відновлювальних робіт за допомогою мобільного пристрою без припинення транспортування продукту у магістральних трубопроводах. **Практична значимість.** Результати даного дослідження можна використовувати при плануванні обстежень та ремонтно-відновлювальних робіт магістральних трубопроводів, що експлуатуються. Розроблена методика ремонтно-відновлювальних робіт дозволяє виконувати ремонт у важкодоступних місцях (русла і заплави річок, заболочена місцевість та ін.) без застосування важкої підйимальної техніки (крани, трубоукладачі та ін.). Створена «Технологічна інструкція з підняття магістральних газопроводів на опорах надземних переходів балкового типу при проведенні ремонтних робіт».

Ключові слова: магістральні трубопроводи; надземні переходи; ін'єкційні методи; опора; ролики

Вступ

Надземні переходи магістральних трубопроводів (МТ) через водні перешкоди та заболочені ділянки – це складна просторова рамно-оболонкова конструкція, яка включає трубопроводи з компенсаторами, залізобетонні палі, які зв'язані залізобетонним ростверком на опо-

рі конструкції. При цьому значні габарити, коливання температури, вплив навколишнього середовища, швидкість потоку транспортованого продукту, вітрові навантаження та непостійність цих параметрів в часі призводять до того, що такі конструкції працюють у дуже складних умовах. Під час експлуатації внаслідок одночасної дії вертикального вагового навантаження

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

та обумовленої температурним перепадом і внутрішнім тиском транспортованого продукту поздовжньої сили надземний трубопровід деформується у поздовжньому і поперечному напрямках (Красовський, Ориняк, & Новіков, 2015).

Оцінка технічного стану залізобетонних опорних конструкцій нафто- та газопроводів є важливим показником, який характеризує безпечну і надійну експлуатацію усієї трубопровідної системи. Особливу увагу треба приділяти визначенню технічного стану трубопроводів, амортизаційний термін яких вичерпався (Лучко, & Кичма, 2019). Наприклад, газотранспортна система бувшого УМГ «Львівтрансгаз» включала більше 100 різних надземних переходів магістральних газопроводів через заплави річок, болота та водні перешкоди. Біля 52 % всіх газопроводів підприємства вже експлуатуються більше 25 років. Тому забезпечення задовільної працездатності таких потенційно небезпечних ділянок є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. У рамках виконання цільової програми НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин» у 2013-2015 рр. проведена технічна діагностика 20 надземних переходів магістральних газопроводів (МГ) балкового типу, які розташовані на території Карпатського регіону (Патон, 2015). Виявлено ряд відхилень дійсного положення надземних ділянок МГ від проектного положення. Вплив пружного згину на напружено-деформований стан трубопроводів, що пролягають у гірських районах досліджено у праці (Bilobran, Dziubuk, & Yanovskyi, 2013). Конструкції опорних вузлів надземних переходів магістральних трубопроводів та основні види їх відхилень від початкового стану і види поломок розглянуто в (Dzyubuk, Palash, Nazar, Dzyubuk, & Palash, 2016). Авторами (Лаус, Коломєєв, Савула та ін., 2008) запропонована методика проведення підготовчих, ремонтно-відновлювальних і заключних робіт під час ремонту ділянок трубопроводів, розташованих на опорах балкових переходів. Спосіб ремонту ділянок газопроводів розташованих на колонах балкових переходів, без припинення перекачування газу запропонований в (Мандра, Беккер, Ніколаєв, Ксендзюк та ін., 2004). Питання оптимізації конструктивних параметрів мобільних підймальних при-

строїв для ремонту опор надземних переходів магістральних газопроводів розглянуті в праці (Харченко, & Новіцький, 2011).

Мета

Узагальнення виявлених на основі тривалих багаторічних обстежень стану опорних вузлів надземних ділянок магістральних трубопроводів (МТ). Розроблення рекомендацій щодо мінімізації впливу виявлених відхилень і пошкоджень елементів опорних вузлів на подальшу безаварійну роботу надземних переходів магістральних трубопроводів.

Методика

Для досягнення поставленої мети проводилась робота в таких напрямках: розроблення рекомендацій та методики з виконання ремонтно-відновлювальних робіт залізобетонних конструкцій; розроблення рекомендацій із забезпечення необхідної несучої здатності залізобетонних паль та методики встановлення опорних роликів у проектне положення за допомогою мобільного підймального пристрою без припинення транспортування продукту.

Результати

Технічний стан тривало експлуатованих залізобетонних конструкцій МТ. На рис. 1 а, б показано вигляд опорних вузлів газопроводу середнього тиску від ГРС «Розвадів» до ПАТ «Миколаївцемент» – II нитка, яку було введено в експлуатацію у 1972 р.

Газопровід виконано з безшовних сталевих труб із сталі 20 з зовнішнім діаметром Ø 325 мм і товщиною стінки 8 мм, ізоляція – бітумно-гумова з паперовою обгорткою, товщина ізоляції – 6 мм. Довготривала експлуатація газопроводу привела до деформації кріпильного хомута на опорі № 1 (рис. 1, а) і призвела до часткового руйнування опори №3 (рис. 1, б) і №5 (рис. 2) газопроводу середнього тиску від ГРС «Розвадів» до ПАТ «Миколаївцемент» – II нитка, яка експлуатується з 1972 року. Бетон на опорі №5 уражений біокорозією (рослинністю і мохом). Руйнування ростверку залізобетонних опор надземного переходу МГ «Івацевичі-Долина» II нитка, Ду 1200 через річку Свіча, яка експлуатується з 1976 року показано на рис. 3 і 4.

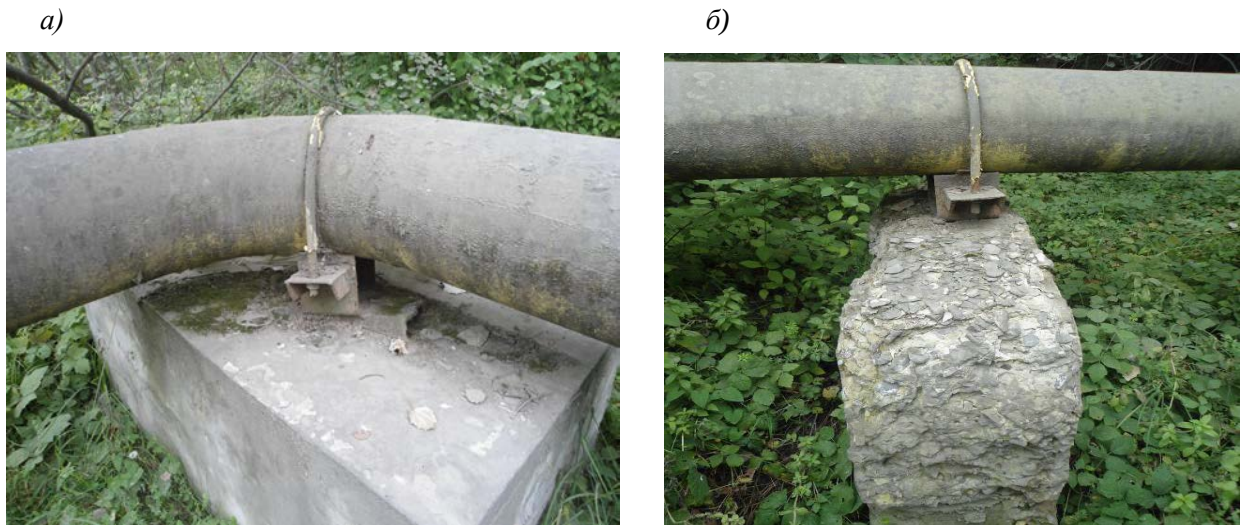


Рис. 1. Часткове руйнування опор № 1 (а) і № 3 (б) газопроводу середнього тиску від ГРС «Розвадів» до ПАТ «Миколаївцемент» – II нитка



Рис. 2. Технічний стан опори № 5 газопроводу середнього тиску від ГРС «Розвадів» до ПАТ «Миколаївцемент» – II нитка



Рис. 3. Руйнування ростверку залізобетонної опори надземного переходу МГ «Івацевичі-Долина» II нитка, Ду 1200 через р. Свіча



Рис. 4. Руйнування ростверку залізобетонної опори надземного переходу МГ «Івацевичі-Долина» II нитка, Ду 1200 через р. Свіча

Руйнування залізобетонної ділянки анкерної опори для розтяжок пілонів вантового переходу МГ «Івацевичі-Долина» II нитка, Ду 1200 через річку Дністер, який експлуатується з 1976 року наведено на (рис. 5). Таке руйнування спричиняє малоциклове навантаження. За цей час трубопровід, пілони і сталеві канати зазнають періодичного впливу різних силових факторів (льодове і снігове навантаження, зміна сили і напрямку вітру, просадка опор і поздовжні деформації канату та інші), що сприяє виникненню мало циклової втоми.



Рис. 5. Руїнування залізобетонної ділянки анкерної опори для розтяжок пілонів вантового переходу МГ «Івацевичі-Долина» II нитка, Ду 1200 через р. Дністер

Розглянуті опори (рис.1, б), та (рис. 2-5) за період тривалої експлуатації уражені деструктивними процесами руйнування бетону та корозійними процесами незворотного характеру. Наведена методика та способи ремонтно-відновлювальних робіт цих залізобетонних конструкцій. Згідно запропонованої методики необхідно застосувати ін'єкційні матеріали та технології для відновлення працездатності залізобетонних елементів опорних конструкцій МТ (Лучко, Парнета, & Назаревич, 2016).

До зон підвищеного ризику необхідно віднести ділянки МТ при надземному перетині водних перешкод (рис. 6 і 7).



Рис. 6. Вимивання ґрунту навколо буронабивної залізобетонної палі у береговій зоні надземного переходу МГ Пукеничі-Дашава Ду500 та МГ Пукеничі-Долина Ду 700 через р. Стрий



Рис. 7. Розмивання ґрунту навколо буронабивних залізобетонних паль, які встановлені у зоні русла ріки на надземному переході МГ «Івацевичі-Долина» – 3 нитка, Ду 1200 через р. Дністер

Вимивання ґрунту навколо буронабивної залізобетонної палі у береговій зоні надземного переходу МГ «Пукеничі-Дашава» Ду 500 та МГ «Пукеничі-Долина» Ду 700 через р. Стрий, які експлуатуються з 1962 року показано на (рис. 6). Крім цього необхідно враховувати можливі переміщення буронабивних залізобетонних паль під час повеней та весняного льодоходу. Зокрема, на переході МГ «Пукеничі-Дашава» через р. Стрий було підраховано, що горизонтальні переміщення оголовків паль довжиною 29 м і діаметром 1020 мм від тиску водного потоку, або льодоходу може скласти кілька десятків міліметрів. Це в свою чергу, створює значні додаткові навантаження на трубопровід, тим самим знижуючи його довговічність.

На рис. 7 наведений загальний вигляд надземного переходу МГ «Івацевичі-Долина» – 3 нитка, Ду 1200 через р. Дністер, який експлуатується з 1979 р. Перехід включає 8 паль, які об'єднані попарно залізобетонним ростверком, утворюючи 4 П-подібних опори (рис. 7). Проектна довжина паль – 27 м. Перша і четверта опори знаходяться відповідно на лівому і правому березі р. Дністер. Висота надземної частини паль опор № 1 і № 4 складає від 3 м до 4 м. Опори № 2 та № 3 знаходяться у руслі р. Дністер. Висота їх надводної частини коливається в залежності від рівня води в межах 6,0...9,0 м, у тому числі підводної частини – 4,0 м...8,0 м (рис. 7). Підводні обстеження опор

№ 2 і № 3 виявили розмив основи опори № 2 глибиною до 1,5 м.

Зменшення забуреної ділянки паль при переході МТ через водні перешкоди зменшує сумарну жорсткість опор і може спричинити їх просідання. Для забезпечення необхідної несучої здатності залізобетонних паль необхідно виконати посилення їх нижньої частини, використовуючи габійні конструкції або мішки з цементно-піщаної суміші. У вільно провисаючих трубопроводах може мати місце явище вітрового резонансу, яке ускладнюється тим, що вітрові навантаження мають подвійну дію. З одного боку, вітровий потік згинає трубопровід в напрямку своєї дії, тобто в горизонтальній площині. З іншого боку, у вертикальній площині виникають коливання, які спричинені аеродинамічними силами. Такий характер дії вітрового навантаження і пояснює необхідність перевірки трубопроводу на можливість виникнення механічного резонансу.

Аналіз результатів обстежень планово-висотного положення цього газопроводу показав, що має місце значне зміщення труби відносно котків, яке обумовлене деформаціями від зміни температурного режиму газопроводу і навколишнього середовища, а також зміни тиску газу в трубопроводі, а саме зміщення рухомої опори на надземному переході через р. Дністер МГ «Івацевичі-Долина» – 3 нитка, Ду 1200 в осьовому (рис. 8) і перпендикулярному до осі трубопроводу напрямках (рис. 9).



Рис. 8. Зміщення рухомої опори на надземному переході через р. Дністер МГ «Івацевичі-Долина» – 3 нитка, Ду 1200 в осьовому напрямку

Узагальнюючи результати обстежень розглянутого надземного переходу, слід відмітити,

що напружено-деформований стан газопроводу періодично змінюється.



Рис. 9. Зміщення рухомої опори від проектного положення на надземному переході через р. Дністер МГ «Івацевичі-Долина» – 3 нитка, Ду 1200 у перпендикулярному напрямку до осі трубопроводу

На рис. 10 наведена прямолінійна частина багатопрогонового надземного переходу трубопроводу через річку, який працює в умовах поздовжньо-поперечного згину, за наявності значної поздовжньої стискальної або розтягальної сил. Поздовжнє навантаження, що виникає на цій надземній ділянці, істотно ускладнюється умовами роботи надземного трубопроводу з підвищенням температури металу стінки труби порівняно з її температурою, при якій виконували замикаючий монтажний зварний шов (за умови позитивних температурних перепадів).



Рис. 10. Прямолінійна частина багатопрогонового надземного переходу через річку, який зазнає впливу поздовжньо-поперечного згину

На прямолінійність осі трубопроводу впливає початкова точність установки рухомих і нерухомих опор та просідання буронабивних паль під час їх тривалої експлуатації. Слід за-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

значити, що при періодичній зміні співвідношень крапкових і гірших умов експлуатації (поздовжнє і поперечне переміщення) проходить накопичення сумарного зміщення у сторону їх збільшення. Тому під час тривалої експлуатації трубопроводу з існуючої проектною, виконавчою і експлуатаційною технічною документацією необхідно враховувати початкове і реальне положення осі трубопроводу у горизонтальній і вертикальній площинах, спосіб монтажу надземного переходу, а також температуру, при якій проводили виконання замикаючого зварного з'єднання, взятої із журналу виконання зварювальних робіт.

Основною причиною утворення зазору між поверхнею металевої площини опори і ложементом проміжної опори на надземному переході МГ «Уренгой-Помари-Ужгород», Ду 1400 через р. Латориця (рис. 11) є просідання проміжної опори і переміщення трубопроводу за рахунок поздовжньо-поперечного згину.



Рис. 11. Утворення зазору між опорною поверхнею металевої площини і ложементом проміжної опори на надземному переході МГ «Уренгой-Помари-Ужгород», Ду 1400 через р. Латориця

На надземному переході МГ «Союз» через р. Саджава довжиною 112 м на усіх трьох проміжних опорах виявлено зазор між опорними поверхнями металевої пластини і сідловиною (Красовський, Ориняк, & Новіков, 2015). Таке просторове положення МГ приводить до суттєвого перерозподілу навантажень за довжиною МГ на його надземній ділянці і більш суттєвого впливу вітрового навантаження на стійкість трубопроводу.

Як показує досвід експлуатації трубопроводів, в місцях їхнього контакту з опорними конструкціями виникають корозійні процеси металевої поверхні труби і несучих елементів

опори (див. рис. 9), руйнування елементів опор та їх сповзання (рис. 12), що спричиняє поступове руйнування як опор балкових переходів, так і трубопроводу. Конструкція Г-подібних компенсаторів на надземних переходах МГ «Пукеничі-Дашава» Ду500 та «Пукеничі-Долина» Ду 700 через р. Стрий – наведена на (рис. 13). Під час тривалої роботи МГ за різних умов експлуатації відбулося зміщення рухомої опори на Г-подібному компенсаторі надземного переходу МГ Пукеничі-Дашава Ду500 через р. Стрий (рис. 13).



Рис. 12. Зміщення рухомої опори на Г-подібному компенсаторі надземного переходу МГ Пукеничі-Дашава Ду500 через р. Стрий



Рис. 13. Надземний перехід МГ «Пукеничі-Дашава» Ду500 та «Пукеничі-Долина» Ду 700 через р. Стрий (ділянка Г- подібних компенсаторів)

Схема надземного переходу МГ «Комарно-Держкордон» через р. Вишенька є статично невизначеною системою з п'ятьма зайвими в'язями. Оскільки елементи надземного переходу трубопроводу виготовлені з достатньо пластичних матеріалів (сталь марки «Ц»), то із збільшенням навантаження на конструкцію відбулося поступове виключення з роботи зайвих

в'язів. Це видно з рис. 14, де внаслідок поздовжніх переміщень опора № 1 стала опиратись на один ролик. Неодноразове обстеження стану опори № 1 засвідчило, що таке положення роликів зберігається і є достатньо стабільним.



Рис. 14. Технічний стан рухомої опори надземного переходу МГ «Комарно-Держжордон» Ду700 через р. Вишенька

У випадку, коли на опорі тільки один ролик взаємодіє з площиною сідловини розрахункові контактні напруження, які виникають між роликом і нижньою поверхнею сідловини опори визначені згідно формули Герца дорівнювали 394,2 МПа. Допустиме контактне напруження для даної пари «сталь – сталь» без змащування рівне 432 МПа. Таким чином умова контактної міцності між нижньою поверхнею ложементу і одним роликом задовольняється.

На рис. 15 зафіксовано руйнування рухомої каретки з опорними роликами на надземному переході МГ «Івацевичі Долина» – 2 нитка, Ду 1200 через річку Свіча.



Рис. 15. Руйнування рухомої каретки з опорними роликами на надземному переході МГ «Івацевичі Долина» – 2 нитка, Ду 1200 через р. Свіча

Оцінку працездатності потенційно небезпечних ділянок надземних переходів проводять з позиції механіки руйнування (Панасюк, 1991), враховуючи тип та конфігурацію виявлених дефектів і одночасну дію внутрішнього тиску транспортованого продукту, сумарних згинальних моментів, поздовжньої та поперечної сил. Вирішення цієї проблеми дає змогу експлуатанцям, за встановленими методами діагностування розмірів дефекту та розрахунковими методиками, визначити максимальний рівень напружень і з врахуванням величини деградації металу труб приймати науково обґрунтоване рішення щодо потреби і об'єму виконання реабілітаційних робіт.

Технологія ремонту опорних вузлів надземних ділянок магістральних трубопроводів. З літературного огляду (Кичма, 2010; Красовський та ін., 2015; Лаус та ін., 2008; Лучко, & Кичма, 2019; Лучко та ін., 2016; Мандра та ін., 2004; Панасюк, 1991; Патон, 2015) та наведеного аналізу видно, що для трубопроводів тривалої експлуатації необхідно періодично контролювати їх технічний стан і при необхідності проводити ремонтно-відновлювальні роботи опорних вузлів балкових переходів. Як показує практика експлуатації, на важкодоступних ділянках надземних переходів трубопроводів через відсутність мобільних підймальних пристроїв ремонтно-відновлювальні роботи переважно не проводились. Оскільки вантажопідймальна техніка не може переміститися до опори балкового переходу, що знаходиться у важкодоступних місцях, наприклад, безпосередньо у руслі ріки чи на заболочених ділянках, без коштовних підготовчих робіт з облаштування під'їзних шляхів і монтажних майданчиків.

Відомий спосіб ремонту ділянок газопроводів, розташованих в колонах балкових переходів, у якому підняття ділянки трубопроводу відносно сідловини опори здійснюється за допомогою підймального пристрою, що складається з гвинтової пари і двох клинових пластин (Мандра, Беккер, Ніколаєв, Ксендзюк, та ін., 2004). Однак такий спосіб не можна реалізувати у випадку вузьких залізобетонних ростверків.

Автори патенту (Лаус, Коломєєв, Савула та ін., 2008) запропонували проведення підготовчих, ремонтно-відновлювальних і заключних

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

робіт при ремонті ділянок газопроводів, розташованих на опорах балкових переходів, за яким застосовують пневматичні подушки V68 фірми Vetter, розмірами 950×950 мм і вантажопідймальністю 67,7 т. Суттєві розміри таких подушок призвели до великих габаритів і ваги елементів металоконструкцій мобільного підймального пристрою. Це привело до необхідності додаткового застосування підймальних кранів під час виконання ремонтних робіт.

Для проведення ремонту опорних вузлів надземних переходів більш доцільно використовувати мобільне технологічне обладнання

(рис. 16), для підймання ділянок трубопроводів з пневматичними подушками V24L фірми Vetter з розмірами 310×1020 мм і вантажопідймальністю 24 т. вага окремих складових такого мобільного підймального пристрою не перевищує 20 кг (Савула, Банахевич, Зубик, Кичма, & Новіцький, 2007). Таким чином, проведення монтажних робіт запропонованого мобільного підймального пристрою не потребує додаткових підймальних кранів. Технічні характеристики розглянутого підймального пристрою наведені у праці (Кичма, 2010).

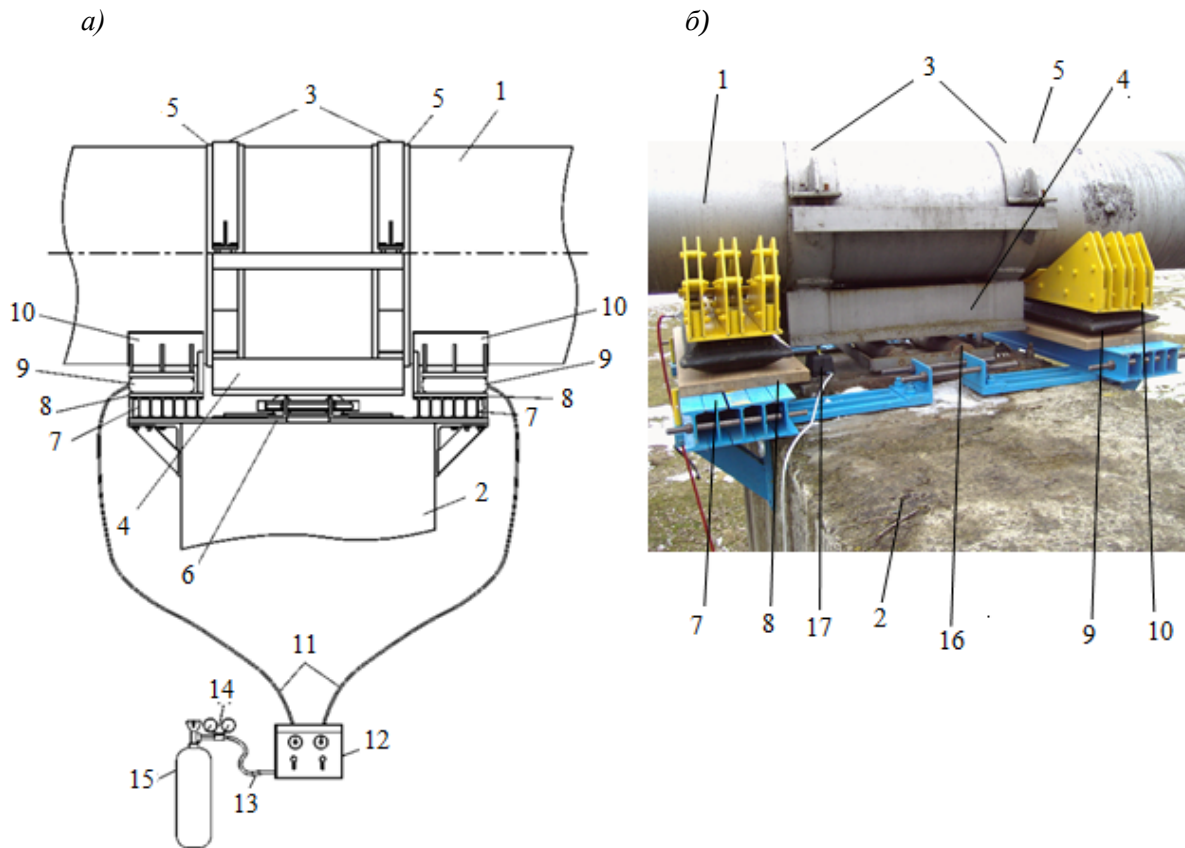


Рис. 16. Підймальна установка: *а* – принципова схема одного із варіантів технологічного обладнання для ремонту опорних вузлів трубопроводів, *б* – конструкція підймальної установки ППТ – 19

Підймання трубопроводів підймальною установкою ППТ – 19 здійснюють таким чином. Спочатку на опорі балкового переходу 2 (рис. 16) роз'єднують кріпильні хомути 3, потім симетрично до осі трубопроводу 1 монтують регулюючі кронштейни 6 і за допомогою стяжних шпильок закріплюють їх до бетонної поверхні опори балкового переходу 2. Симетрично, щодо сідловини опори 4 встановлюють переносні опорні площадки 7, що включають групу

балок осі яких перпендикулярні осям регулюючих кронштейнів 6. Балки механічно зв'язують за допомогою нарізеного з'єднання. На утворену таким чином додаткову переносну опорну площадку 7 по чергово встановлюють вирівнюючу плиту 8, пневмоподушку 9 та плиту з ложементом 10. За допомогою подвійного пульта управління 12 синхронізовано подають стиснуте в балоні 15 повітря в пневмоподушки 9 через редукційний клапан 14, шланги 11 і 13. Внаслідок

© А. О. Кичма, Й. Й. Лучко, І. Б. Кравець, 2019

док цього трубопровід 1 піднімається відносно сідловини опори 4 на обґрунтовану розрахунком безпечну висоту і демонтують ізолюючі прокладки 5. Це забезпечує доступ до поверхні трубопроводу 1, яка раніше була закрита нижнім півхомутом і ізолюючими прокладками 5. Після цього проводять заплановані діагностичні та ремонтно-відновлювальні роботи.

У результаті виконання дефектоскопії визначаються зміни форми труби і товщини стінки, механічні пошкодження, а також поверхневі дефекти такі, як тріщини, закати, забої, підриви, випучини, корозійні дефекти в місцях контакту труби з металевими опорами, раковини тощо. На основі результатів попередньої оцінки НДС МТ з використанням методу скінченних елементів і експериментальним шляхом за допомогою приладу MESTR-411 та виявлених корозійних дефектів розробляють план виконання робіт (ПВР), згідно якого проводять ремонтно-відновлювальні роботи.

Наукова новизна та практична значимість

У результаті проведених обстежень елементів опорних залізобетонних конструкцій та рухомих кареток з опорними роликами, розроблено методику проведення ремонтно-відновлювальних робіт за допомогою мобільного пристрою без припинення транспортування продукту у магістральних трубопроводах. Результати даного дослідження можна використовувати при плануванні ремонтів та обстежень магістральних трубопроводів.

Висновки

З наведених обстежень і аналізу їх результатів видно, що на безпечну роботу надземних переходів МТ тривалої експлуатації впливає багато факторів. Особливо відчутні зміни у процесі тривалої експлуатації МТ відбуваються з тілом трубопроводу і їх зварних з'єднань, з залізобетонними опорами і їх ростверками та рухомими роликовими опорами. Тому під час експлуатації таких ділянок надземних переходів МТ необхідно застосовувати комплексний підхід, який включає передові технології діагностичних обстежень, розрахунку на міцність та довговічність і нові методи проведення ремонтно-відновлювальних робіт, що дозволяє

підтримувати розглянуте обладнання у працездатному стані.

Досвід виконання ремонту опорних вузлів надземних ділянок газопроводів за допомогою мобільних підіймальних пристроїв згідно запропонованої технології показав, що при проведенні необхідних діагностичних обстежень та розрахунків і безперервному контролю технічних параметрів (висота підймання ділянки трубопроводу, тиск у пневматичних подушках, зміна напружено-деформованого стану труби) під час підймання ділянки трубопроводу і виконання ремонтно-відновлювальних робіт, можна безпечно їх проводити без припинення транспортування продукту у МТ. При цьому терміни виконання і вартість вище описаних робіт значно менша у порівнянні з традиційними технологіями ремонту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Bilobran, B. S., Dziubyk, A. R., & Yanovskyi, S. R. (2013). Influence of installation elastic bending on stress-strain state of pipeline above-ground passages in mountains. *Oil & gas industry of Ukraine*, 4, 52-58.
- Dzyubyk, A. R., Palash, V. M., Nazar, I. B., Dzyubyk, L. V., & Palash, R. V. (2016). Welding renovation of supporting units in gap-crossing structures. *Наукoвий вісник НЛТУ України*. 26.1., 230-238.
- Кичма, А. О. (2010). Технологія ремонту опорних вузлів магістральних трубопроводів. *Науково-технічна нарада ДК «Укртрансгаз»*. – Яремче. *Збірник доповідей*. 66-69.
- Красовський, А. Я., Ориняк, І. В., & Новіков, А. І. (2015). Оцінка технічного і напружено-деформованого стану конструкційних елементів магістральних газопроводів карпатського регіону України. Цільова комплексна програма НАН України *Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин*. 471-496.
- Лаус, А. І., Коломєєв, В. М., Савула, С. Ф., та інші (2008). Патент України 84855. Київ: Міністерство освіти і науки України. Державний департамент інтелектуальної власності.
- Лучко, Й. Й., & Кичма, А. О. (2019). *Розрахунок напружено-деформованого стану та моніторинг проблемних ділянок трубопроводів тривалої експлуатації*. Львів: Світ.
- Лучко, Й. Й., Парнета, Б. З., & Назаревич, Б. Л. (2016). *Методи захисту від корозії залізобетонних конструкцій і споруд*. Львів: Каменяр.
- Мандра, А. С., Беккер, М. В., Ніколаєв, В. О., Ксендзюк, С. В., та інші. (2004). Патент України 68310А. Київ: Міністерство освіти і науки Укра-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- їни. Державний департамент інтелектуальної власності.
- Панасюк, В. В. (1991). *Механіка квазіхрупкого руйнування матеріалів*. Київ: Наукова думка.
- Патон, Б. Є. (2015). *Цільова комплексна програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин»* Збірник наукових статей за результатами, отриманими в 2013-2015 рр. Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. Київ.
- Савула, С. Ф., Банахевич, Ю. В., Зубик, Й. Л., Кичма, А. О., & Новіцький, Я. М. (2007). Патент України 21540. Київ: Міністерство освіти і науки України. Державний департамент інтелектуальної власності.
- Харченко, Є. В., & Новіцький, Я. М. (2011). Оптимізація конструктивних параметрів мобільного підіймального пристрою для ремонту опор надземних переходів магістральних газопроводів. *Вісник національного університету «Львівська політехніка» «Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні»*, 713, 122-126.

А. А. КЫЧМА^{1*}, И. И. ЛУЧКО², И. Б. КРАВЕЦ³

^{1*} Кафедра технической механики и динамики машин, Национальный университет «Львовская политехника», ул. С. Бандеры, 12, Львов, Украина, 79013, тел. +38 (067) 782 6727, эл. почта akychma@gmail.com, ORCID 0000-0002-0339-4100

² Кафедра строительных конструкций, Львовский национальный аграрный университет, ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина, 80381, ORCID 0000-0002-3675-0503

³ Кафедра мостов и тоннелей, Днепровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, ORCID 0000-0002-2239-849X

ПРОБЛЕМЫ ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НАДЗЕМНЫХ УЧАСТКОВ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Цель. Обобщение выявленных на основе длительных многолетних обследований состояния опорных узлов надземных участков магистральных трубопроводов (МТ). Разработка рекомендаций по минимизации влияния выявленных отклонений и повреждений элементов опорных узлов на дальнейшую безаварийную работу надземных переходов магистральных трубопроводов. **Методика.** Для достижения поставленной цели, проводилась работа по следующим направлениям: разработка рекомендаций и методики по выполнению ремонтно-восстановительных работ железобетонных конструкций; разработка рекомендаций по обеспечению необходимой несущей способности железобетонных свай и методики установки опорных роликов в проектное положение с помощью мобильного подъемного устройства без остановки работы магистральных трубопроводов. **Результаты.** На основе проведенных исследований обнаружены дефекты в опорных железобетонных конструкциях, уменьшение несущей способности свай и отклонения элементов опорных узлов от проектного положения. **Научная новизна.** Обобщены многочисленные исследования состояния элементов опорных железобетонных конструкций и подвижных кареток с опорными роликами. Разработаны методики ремонтно-восстановительных работ с помощью мобильного устройства без остановки работы магистральных трубопроводов. **Практическая значимость.** Результаты данного исследования можно использовать при планировании обследований и ремонтно-восстановительных работ магистральных трубопроводов, которые эксплуатируются. Разработанная методика ремонтно-восстановительных работ позволяет выполнять ремонт в труднодоступных местах (русла, поймы рек, заболоченная местность и др.) без применения тяжелой подъемной техники (краны, трубоукладчики и пр.). Составлена «Технологическая инструкция з поднятия магистральных газопроводов на опорах надземных переходов балкового типа при проведении ремонтных работ»

Ключевые слова: магистральные трубопроводы; переходы; инъекционные методы, опора, ролики.

А. О. KYCHMA^{1*}, J. J. LUCHKO², I. B. KRAVETS³

^{1*} Department of Technical Mechanics and Machine Dynamics, National University "Lviv Polytechnic", S. Bandera, 12, Lviv, Ukraine, 79013, tel. +38 (067) 782 6727, email akychma@gmail.com, ORCID 0000-0002-0339-4100

² Department of Building Constructions, Lviv National Agrarian University, V. Velykoho avenue, 1, Dubliany, Ukraine, 80381, ORCID 0000-0002-3675-0503

³ Department «Bridges and tunnels» of Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryana Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, ORCID 0000-0002-2239-849X

PROBLEMS OF SUPPORTING STRUCTURES OVERPASSES SECTIONS OF OIL AND GAZ PIPELINES OF LONG-TERM OPERATION

Purpose. Generalizations of long-term surveys of the ground nodes of the overpasses sections of main pipelines (MP) which revealed on the basis of long-term surveys. Development of recommendations for minimizing the influence of detected deviations and damages of the elements of the supporting units on the further trouble-free operation of the overpasses sections of the main pipelines. **Methodology.** To achieve this goal, work was carried out in the following areas: development of recommendations and methods for performing repair and restoration works of reinforced concrete structures; development of recommendations for providing the required load-bearing capacity of reinforced concrete piles and the method of installing the supporting rollers in the design position by means of a mobile lifting device without stopping the transportation of the product in the main pipelines. **Results.** On the basis of the conducted researches defects in supporting reinforced concrete structures, reduction of bearing capacity of piles and deviation of elements of support units from the design position and corrosion damages of sections of the pipeline under half-clutches were revealed. The modeling of stress-strain state (SSS) of MP overpasses sections is carried out on the condition that the pipe is at the same time an element of the building construction, which is subjected to vertical and horizontal loads: of its own weight, changes in temperature, wind loads and of technological element that is exposed to internal pressure. The loads acting on the overpasses section of the pipeline during the repair and restoration work were taken in the most disadvantageous combinations of factors that are inherent in the process of construction and operation of the MP. The determination of the SSS of the overpasses sections pipeline crossings was carried out on the basis of the finite element method. The magnitude of the stress state of the overpasses sections of MP was determined experimentally by electromagnetic method, using the device MESTR-411. **Originality.** Numerous studies of the state of elements of supporting reinforced concrete structures and moving construction with supporting rollers have been generalized. Methods of repair and restoration works with the help of a mobile device without stopping the transportation of the product in the main pipelines have been developed. **Practical value.** The results of this study can be used in the planning of inspections and repairworks of main pipelines in operation. The developed method of repair and restoration works allows to carry out repair in difficult places (river beds and floodplains, wetlands, etc.) without the use of heaving lifting equipment (cranes, pipelayers, etc.). "Technological instruction for lifting main gas pipelines on supports of the overpasses sections during repair works" was created.

Keywords: main pipelines; overpasses sections; injection methods; support; rollers

REFERENCES

- Bilobran, B. S., Dziubyk, A. R., & Yanovskyi, S. R. (2013). Influence of installation elastic bending on stress-strain state of pipeline above-ground passages in mountains. *Oil & gas industry of Ukraine*, 4, 52-58. (in English)
- Dzyubyk, A. R., Palash, V. M., Nazar, I. B., Dzyubyk, L. V., & Palash, R. V. (2016). Welding renovation of supporting units in gap-crossing structures. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 26.1., 230-238. (in English)
- Kychma, A. O. (2010). Tekhnolohiia remontu opornykh vuzliv mahistralnykh truboprovodiv. *Naukovo-tekhnichna narada DK «Ukrtranshaz»*. – Yaremche. *Zbirnyk dopovidei*. 66-69. (in Ukrainian)
- Krasovskyi, A. Ya., Oryniak, I. V., & Novikov, A. I. (2015). Otsinka tekhnichnoho i napruzhenno-deformovanoho stanu konstruktsiinykh elementiv mahistralnykh hazoprovodiv karpatskoho rehionu Ukrainy. *Tsilova kompleksna prohrama NAN Ukrainy Problemy resursu i bezpeky ekspluatatsii konstruktsii, sporud ta mashyn*. 471-496. (in Ukrainian)
- Laus, A. I., Kolomieiev, V. M., Savula, S. F., ta inshi (2008). Patent Ukrainy 84855. Kyiv: Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. Derzhavnyi departament intelektualnoi vlasnosti. (in Ukrainian)
- Luchko, Y. Y., & Kychma, A. O. (2019). *Rozrakhunok napruzhenno-deformovanoho stanu ta monitorynh problemnykh dilianok truboprovodiv tryvaloi ekspluatatsii*. Lviv: Svit. (in Ukrainian)
- Luchko, Y. Y., Parneta, B. Z., & Nazarevych, B. L. (2016). *Metody zakhystu vid korozii zalizobetonnykh konstruktsii i sporud*. Lviv: Kameniar. (in Ukrainian)
- Mandra, A. S., Bekker, M. V., Nikolaiev, V. O., Ksendziuk, S. V., ta inshi. (2004). Patent Ukrainy 68310A. Kyiv: Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. Derzhavnyi departament intelektualnoi vlasnosti. (in Ukrainian)
- Panasiuk, V. V. (1991). *Mekhanyka kvazykhrupkoho razrushenya materiyalov*. Kyiv: Naukova dumka. (in Ukrainian)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Paton, B. Ye. (2015). Tsilova kompleksna prohrama NAN Ukrainy «Problemy resursu i bezpeky ekspluatatsii konstruktsii, sporud ta mashyn» Zbirnyk naukovykh statei za rezultatamy, otrymanymy v 2013-2015 rr. Instytut elektrozvariuvannia im. Ye.O. Patona NAN Ukrainy. Kyiv. (in Ukrainian)

Savula, S. F., Banakhevykh, Yu. V., Zubyk, Y. L., Kychma, A. O., & Novitskyi, Ya. M. (2007). Patent Ukrainy 21540. Kyiv: Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. Derzhavnyi departament intelektualnoi vlasnosti. (in Ukrainian)

Kharchenko, Ye. V., & Novitskyi, Ya. M. (2011). Optymizatsiia konstruktyvnykh parametriv mobilnoho pidiimalnoho prystroiu dlia remontu opor nadzemnykh perekhodiv mahistralnykh hazoprovodiv. *Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika» «Optymizatsiia vyrobnychych protsesiv i tekhnichniy kontrol u mashynobuduvanni»*, 713, 122-126. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 15.11.2019

Прийнята до друку 12.12.2019

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.191.8:539.38

В. П. КОЖУШКО^{1*}, С. Н. КРАСНОВ²

^{1*} Кафедра «Мосты, конструкции и строительная механика» Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, Харьков, Украина, 61002, тел. (057) 707 37 22, эл. почта kmksm@ukr.net, ORCID 0000-0002-7044-776X

² Кафедра «Мосты, конструкции и строительная механика» Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, Харьков, Украина, 61002, тел. (097) 214 54 09, эл. почта krasnov56@ukr.net, ORCID 0000-0002-2375-4273

АНАЛИЗ РАБОТЫ ЛОТКОВОГО ЭЛЕМЕНТА ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ ПЕШЕХОДНОГО ТОННЕЛЯ

Цель. Определить распределение реактивных давлений и изгибающих моментов в лотковом элементе, контактирующим с грунтовым основанием, описываемом различными моделями грунта при разных показателях гибкости системы «полоса-грунт». **Методика.** Расчет произведен по методике, разработанной одним из авторов, который составит обширные таблицы единичных реактивных усилий от разных поперечно приложенных внешних нагрузок и пригрузок. **Результаты.** Построены эпюры реактивных давлений и изгибающих моментов в лотковой полосе в зависимости от принимаемой модели грунта и показателя гибкости системы «полоса-грунт». При определении внутренних усилий (изгибающих моментов и поперечных сил) использована ступенчатая эпюра по Жемочкину и Синицыну (в пределах каждого участка разбивки интенсивность давления постоянна и равна давлению под серединой участка). Анализ результатов расчета показал, что по форме эпюры реактивного давления значительно отличаются от формы эпюры, полученной без учета совместной работы лотка с грунтом. Изгибающие моменты в среднем сечении полосы значительно больше по величине от моментов, полученных при расчетах без учета совместной работы ее с грунтовым основанием, а отрицательные моменты по модулю имеют меньшие значения. Полученные при комбинированной модели грунта результаты несколько отличаются от таковых при расчете полосы на линейно-деформируемой полуплоскости. **Научная новизна.** Получена возможность прогнозирования работы лоткового элемента тоннеля, при изменении его изгибной жесткости и физико-механических характеристик грунта. **Практическая ценность.** В результате применения рассматриваемой методики расчета будет сэкономлено определенное количество бетона и арматуры.

Ключевые слова: эпюра реактивных давлений; эпюра изгибающих моментов; линейно-деформируемая полуплоскость; линейно-деформируемый слой конечной толщины; винклеровское основание; комбинированная модель; показатель гибкости «полоса-грунт»

Введение

Прямоугольные обделки пешеходных тоннелей, контактируя по контуру с грунтовым массивом, работают совместно с грунтом, т.к. грунт является не только нагрузкой, но и средой, которая воспринимает какую-то долю усилий, возникающих в процессе деформации обделки от внешних нагрузок.

Задача определения реактивных давлений со стороны грунта на обделку является сложнейшей задачей теории упругости. Большие трудности вызывает решение задачи о напряженно-деформированном состоянии (НДС) обделки и в математическом плане. НДС системы зависит от жесткостных характеристик элементов обде-

лки и от используемой при расчетах модели грунта.

В ряде литературных источников приведены результаты расчета тоннельных обделок прямоугольного очертания, работающих совместно с грунтом. В работе Симвулиди (1987) предложена модель грунта в виде линейно-деформируемой полуплоскости как в районе лотка, так и в районе контакта боковых стенок с грунтом, что не совсем корректно, поскольку вертикально и горизонтально расположенные грунтовые слои по-разному работают при передаче на них внешних нагрузок.

Горбунов-Посадов, Маликова & Соломин (1984) исследовали работу только лоткового элемента обделки, совместно работающего с

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

грунтом. Расчет только лоткового элемента с грунтом приведен и в программном продукте «Лира». В работах Мейза (1974); Одена (1976); Лучковского (2000); Stefanov (2009); Kissl (2011); Pereira, & Caldeira (2011); Винникова, Харченка, & Марченка (2012); Тютюкіна, & Мірошника (2012); Петренка, Тютюкіна, & Кулаженка (2014) разработаны и иные модели грунта, но при исследовании работы лоткового элемента совместно с грунтом они не применялись.

Нами был предложен расчет прямоугольной обделки (Кожушко, 1972); Кожушко, 1974), все элементы которой контактируют с грунтом, описываемом комбинированными моделями грунта. В районе лотка и перекрытия была предложена модель грунта в виде винклеровского слоя, лежащего на линейно-деформируемой полуплоскости, а в районе боковых стенок – комбинированная модель в виде винклеровского слоя, лежащего на линейно-деформируемой четвертьплоскости.

Поскольку НДС системы в значительной степени зависит от применяемой модели грунтового массива, то интересным и не вполне исследованным является вопрос о влиянии применяемой модели грунта и жесткостных параметров обделки на распределение усилий в системе. В данной работе поставлена более скромная задача исследования работы только лоткового элемента при различных моделях грунта и при различном показателе гибкости системы «полоса-грунт» (Кожушко (1990)).

Цель

Цель заключается в анализе результатов расчета лоткового элемента двухпролетного пешеходного тоннеля совместно с грунтовым основанием, описываемом разными моделями грунта (линейно-деформируемой полуплоскостью, линейно-деформируемым слоем конечной толщины, основанием Винклера и комбинированной моделью в виде винклеровского слоя, лежащего на линейно-деформируемой полуплоскости (Жемочкин, & Сеницын, 1962), при различных показателях гибкости α системы «лоток-грунт» (Жемочкин, & Сеницын, 1962; Кожушко, 1974).

Методика

Для анализа совместной работы лоткового

элемента с грунтом использована методика расчета полос на линейно-деформируемом основании, изложенная в работе Кожушко (1990). Основой этого расчета являются предложения Жемочкина, & Сеницына (1962), которые, как известно, заменили сложные решения теории упругости методами строительной механики, применив при этом смешанный метод расчета. Как и в указанной работе, нами полоса делится на 5 равных участков, что как показано в источнике Жемочкиным, & Сеницыным (1962), достаточно для получения приемлемых для практики результатов. Одним из авторов этой статьи были составлены обширные таблицы единичных реактивных усилий от различных внешних нагрузок и пригрузок для различных показателей гибкости α системы «полоса-грунт» (Жемочкин, & Сеницын, 1962; Кожушко, 1990). Принятая в расчетах модель грунта – это линейно-деформируемый слой конечной толщины (Крашенинникова, 1964), поэтому таблицы составлены для относительной толщины c/H слоя, изменяющиеся от 1/32 до 4, где c – длина разбивки полосы (в данном случае равна $l/5$, l – длина полосы); H – толщина деформируемого слоя грунта. Анализ этих таблиц показал, что при относительной толщине сжимаемого слоя равного 1/32 – 1/16, полоса работает как элемент на линейно деформируемой полуплоскости. Эти данные совпадают с результатами расчета по методам, изложенным в работах Жемочкина, & Сеницына (1962); Горлова & Серебряного (1968); Попова (1982); Горбунов-Посадова, Маликовой & Соломина (1984); Симвулиди (1987). При толщине слоя, равного 1/8 – 1, полоса ведет себя как элемент, контактирующий с линейно-деформируемым слоем конечной толщины.

Это подтверждается анализом результатов расчета, приведенным в работе Крашенинниковой (1964). При относительной толщине слоя $c/H > 2$, результаты расчета совпадают с решениями полос на основании Винклера (Клепиков, 1967; Симвулиди, 1987).

Таким образом, используя таблицы работы Кожушко (1972), можно проанализировать работу полос на грунтовом основании для трех моделей грунта: линейно-деформируемой полуплоскости, линейно-деформируемого слоя конечной толщины и винклеровского основания при расчетных показателях гибкости си-

стемы «полоса-грунт», изменяющемуся от $\alpha=0$ (жесткая полоса) до $\alpha=0,427$ (короткая полоса).

Результаты

Исследуем работу полосы шириной 1 м, нагруженной системой внешних поперечных сил и концевыми моментами (рис. 1). Под такими нагрузками работает лотковый элемент двухпролетной обделки пешеходного тоннеля.

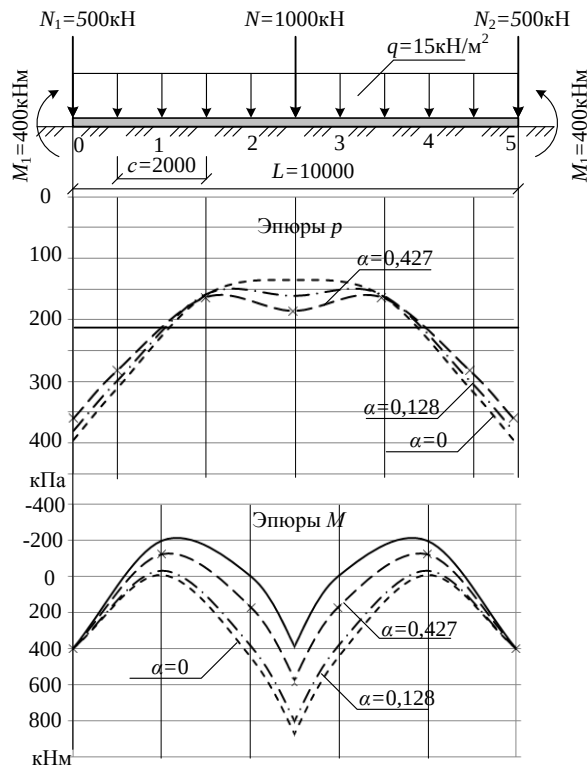


Рис. 1. Эпюры реактивных давлений и изгибающих моментов ($c/H=1/32$)

При неучете совместной работы полосы с грунтом эпюра реактивных давлений представляет собой равномерно распределенную нагрузку (рис. 1, сплошная линия). Интенсивность этой нагрузки

$$p = \frac{\sum N}{A} + q = \frac{2000}{10 \cdot 1} + 15 = 215 \text{ кПа.}$$

В этом случае изгибающие моменты будут равны

$$M_0 = 400 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_1 = 400 + 215 \cdot 2 \cdot 1 - 500 \cdot 2 - 15 \cdot 2 \cdot 1 = -200 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = 400 + 215 \cdot 4 \cdot 2 - 500 \cdot 4 - 15 \cdot 4 \cdot 2 = 0 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{2-3} = 400 + 215 \cdot 5 \cdot 2,5 - 500 \cdot 5 - 15 \cdot 5 \cdot 2,5 = 400 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Определим реактивные давления и значения изгибающих моментов в лотке при $c/H=1/32$, и $\alpha=0$ т.е. оценим работу жесткой полосы на линейно деформируемой полуплоскости. Из таблиц работы Кожушко (1990) позаимствуем значения единичных реактивных усилий $\bar{Y}_i$. Они равны:

от распределенной нагрузки единичной интенсивности

$q_1=qc=1$	$q_2=qc=1$	$q_3=qc=1$
$\bar{Y}_1 = 0,7391;$	$0,5140;$	$0,2888;$
$\bar{Y}_2 = 0,2428;$	$0,1930;$	$0,1433;$
$\bar{Y}_3 = 0,1358;$	$0,1358;$	$0,1358;$
$\bar{Y}_4 = 0,0437;$	$0,0935;$	$0,1433;$
$\bar{Y}_5 = -0,1614;$	$0,0637;$	$0,2880;$

$q_4=qc=1$	$q_5=qc=1$
$0,0637;$	$-0,1614;$
$0,0935;$	$0,0437;$
$0,1358;$	$0,1358;$
$0,1930;$	$0,2428;$
$0,5140;$	$0,7391.$

от единичных сосредоточенных сил

$N_1/b=1$	$N/b=1$	$N_2/b=1$
$\bar{Y}_1 = 0,8516;$	$0,2888;$	$-0,2739;$
$\bar{Y}_2 = 0,2677;$	$0,1433;$	$0,0189;$
$\bar{Y}_3 = 0,1357;$	$0,1358;$	$0,1357;$
$\bar{Y}_4 = 0,0189;$	$0,1433;$	$0,2677;$
$\bar{Y}_5 = -0,2739;$	$0,2888;$	$0,8516.$

от единичных концевых моментов

$M_1/bc=1$	$M_2/bc=1$
$\bar{Y}_1 = -0,2251$	$0,2251;$
$\bar{Y}_2 = -0,0498;$	$0,0498;$
$\bar{Y}_3 = 0;$	$0;$
$\bar{Y}_4 = 0,0498;$	$-0,0498;$
$\bar{Y}_5 = 0,2251;$	$-0,2251.$

Для определения реактивных давлений под серединами участков разбивки полосы воспользуемся формулами, приведенными в работе Кожушко (1990):

от распределенной нагрузки

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

$$p_q = q \sum_{n=1}^5 \bar{Y}_i = 15 \sum_{n=1}^5 \bar{Y}_i;$$

от сосредоточенных сил N_1 и N_2

$$p_{N_i} = 5 \frac{N_i}{b \cdot l} \bar{Y}_i;$$

при действии концевых сил $N_1=500$ кН или $N_2=500$ кН

$$p_{N_i} = 5 \frac{500}{1 \cdot 10} \cdot \bar{Y}_i = 250 \cdot \bar{Y}_i;$$

при действии силы, приложенной посередине $N=1000$ кН,

$$p_{N_i} = 5 \frac{1000}{1 \cdot 10} \cdot \bar{Y}_i = 500 \cdot \bar{Y}_i;$$

от концевых моментов $M_1=400$ кН·м или $M_2=400$ кН·м

$$p_{M_i} = 25 \frac{M}{b \cdot l^2} \bar{Y}_i = 25 \frac{400}{1 \cdot 10^2} \cdot \bar{Y}_i = 100 \cdot \bar{Y}_i.$$

Реактивные давления под серединами участков разбивки полосы

$$p_1 = p_5 = (0,7391 + 0,5140 + 0,2888 + 0,0637 - 0,1614) \cdot 15 + 250(0,8516 - 0,2739) + 500 \cdot 0,2888 + 100(-0,2251 + 0,2251) = 310,485 \text{ кПа};$$

$$p_2 = p_4 = (0,2428 + 0,1930 + 0,1433 + 0,0935 + 0,0437) \cdot 15 + 250 \cdot (0,2677 + 0,0189) + 500 \cdot 0,1433 + 100 \cdot (-0,0498 + 0,0498) = 154,04 \text{ кПа};$$

$$p_3 = 0,1358 \cdot 5 \cdot 15 + 250 \cdot 0,1357 \cdot 2 + 500 \cdot 0,1358 + 100 \cdot 0 = 145,935 \text{ кПа}.$$

Эпюра реактивных давлений на рис. 1 показана пунктирной линией. По Жемочкину & Синицыну (1962) эпюра реактивных давлений – ступенчатая (в пределах каждого участка разбивки интенсивность давления постоянна и равна давлению под серединой участка). При определении внутренних усилий (изгибающих моментов и поперечных сил) следует использовать ступенчатую эпюру (Жемочкин & Синицын, 1962).

Тогда изгибающие моменты под точками 0, 1, 2, 3, 4 и 5 будут иметь следующие значения:

$$M_0=400 \text{ кН·м};$$

$$M_1=400-500 \cdot 2-15 \cdot 2 \cdot 1+310,485 \cdot 2 \cdot 1=-9,3 \text{ кН·м};$$

$$M_2=400-500 \cdot 4-15 \cdot 4 \cdot 2+310,485 \cdot 2 \cdot 3+154,04 \cdot 2 \cdot 1=450,99 \text{ кН·м};$$

$$M_{2-3}=400-500 \cdot 5-15 \cdot 5 \cdot 2,5+310,485 \cdot 2 \cdot 4+154,04 \cdot 2 \cdot 2+145,935 \cdot 1 \cdot 0,5=885,51 \text{ кН·м}.$$

На рис. 1 эпюра изгибающих моментов нанесена пунктирной линией.

Аналогичные кривые реактивного отпора и изгибающих моментов построены при показателях гибкости системы «полоса-грунт» $\alpha=0,128$ и $\alpha=0,427$. Для решения задачи для этих α следует из таблиц работы Кожушко (1990) выписать единичные реактивные усилия и по изложенной выше методике определить реактивные давления и изгибающие моменты:

при $\alpha=0,128$

$$p_1=p_5=298,46 \text{ кПа};$$

$$p_2=p_4=158,595 \text{ кПа};$$

$$p_3=160,95 \text{ кПа};$$

$$M_0=400 \text{ кН·м}; M_1=-33,08 \text{ кН·м};$$

$$M_2=387,95 \text{ кН·м}; M_{2-3}=815,035 \text{ кН·м};$$

при $\alpha=0,427$

$$p_1=p_5=281,83 \text{ кПа};$$

$$p_2=p_4=163,112 \text{ кПа};$$

$$p_3=185,11 \text{ кПа};$$

$$M_0=400 \text{ кН·м}; M_1=-66,34 \text{ кН·м};$$

$$M_2=297,22 \text{ кН·м}; M_{2-3}=712,175 \text{ кН·м}.$$

На рис. 1 штрих-пунктирными линиями показаны эпюры при $\alpha=0,128$, прерывистыми линиями с крестиками – при $\alpha=0,427$.

Анализ результатов этого расчета показал, что по форме эпюры реактивного давления значительно отличаются от формы эпюры, полученной без учета совместной работы лотка с грунтом. Под серединой полосы давления на грунт уменьшаются, а под концами полосы – увеличиваются. Изгибающие моменты в среднем сечении полосы значительно больше по величине от моментов, полученных при расчетах без учета совместной работы ее с грунтовым основанием, а отрицательные моменты по модулю имеют меньшие значения.

Проанализируем работу этой же полосы при относительной толщине сжимаемого слоя $c/H=0,5$. Расчет полосы произведем при тех же показателях гибкости системы $\alpha=0$; $\alpha=0,128$ и $\alpha=0,427$. Напомним, что аналогичные показатели гибкости по М. И. Горбунову-Посадову $t=0$; 3 и 10.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Произведя по выше изложенной методике расчеты, получим следующие значения реактивных давлений и изгибающих моментов:

при $\alpha=0$

$$\begin{aligned} p_1=p_5 &= 252,84 \text{ кПа}; p_2=p_4 = 187,54 \text{ кПа}; \\ p_3 &= 194,255 \text{ кПа}; \\ M_0 &= 400 \text{ кН}\cdot\text{м}; M_1 = -124,32 \text{ кН}\cdot\text{м}; \\ M_2 &= 172,12 \text{ кН}\cdot\text{м}; M_{2-3} = 582,51 \text{ кН}\cdot\text{м}; \end{aligned}$$

при $\alpha=0,128$

$$\begin{aligned} p_1=p_5 &= 249,53 \text{ кПа}; p_2=p_4 = 187,355 \text{ кПа}; \\ p_3 &= 201,31 \text{ кПа}; \\ M_0 &= 400 \text{ кН}\cdot\text{м}; M_1 = -130,94 \text{ кН}\cdot\text{м}; \\ M_2 &= 151,89 \text{ кН}\cdot\text{м}; M_{2-3} = 558,815 \text{ кН}\cdot\text{м}; \end{aligned}$$

при $\alpha=0,427$

$$\begin{aligned} p_1=p_5 &= 245,66 \text{ кПа}; p_2=p_4 = 184,845 \text{ кПа}; \\ p_3 &= 213,97 \text{ кПа}; \\ M_0 &= 400 \text{ кН}\cdot\text{м}; M_1 = -138,68 \text{ кН}\cdot\text{м}; \\ M_2 &= 123,65 \text{ кН}\cdot\text{м}; M_{2-3} = 524,145 \text{ кН}\cdot\text{м}. \end{aligned}$$

Из рис. 2 видно, что при относительной толщине слоя $c/H=0,5$ форма эпюр реактивных давлений и изгибающих моментов при различных величинах α изменяется незначительно, хотя ординаты изменяются существенно.

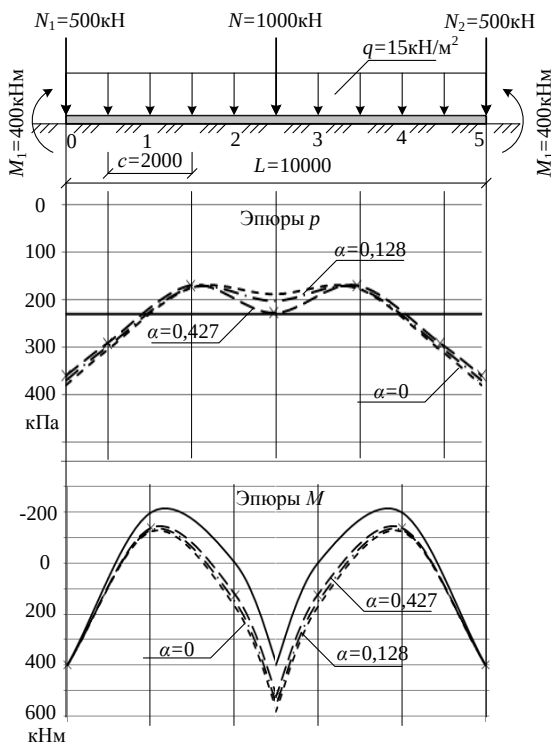


Рис. 2. Эпюры реактивных давлений и изгибающих моментов ($c/H=0,5$)

При $c/H=4$ грунтовый массив работает как винклеровское основание.

Проанализируем работу системы «полоса –

грунт» при прежних показателях гибкости $\alpha=0$; $\alpha=0,128$ и $\alpha=0,427$.

При показателе гибкости $\alpha=0$ полоса работает точно также, как и при неучете ее совместной работы с грунтом.

Результаты расчета, полученные при показателях $\alpha=0,128$ и $\alpha=0,427$ следующие:

при $\alpha=0,128$

$$\begin{aligned} p_1=p_5 &= 223,205 \text{ кПа}; p_2=p_4 = 204,455 \text{ кПа}; \\ p_3 &= 219,67 \text{ кПа}; \\ M_0 &= 400 \text{ кН}\cdot\text{м}; M_1 = -183,59 \text{ кН}\cdot\text{м}; \\ M_2 &= 28,14 \text{ кН}\cdot\text{м}; M_{2-3} = 425,795 \text{ кН}\cdot\text{м}; \end{aligned}$$

при $\alpha=0,427$

$$\begin{aligned} p_1=p_5 &= 231,085 \text{ кПа}; p_2=p_4 = 186,625 \text{ кПа}; \\ p_3 &= 239,58 \text{ кПа}; \\ M_0 &= 400 \text{ кН}\cdot\text{м}; M_1 = -167,83 \text{ кН}\cdot\text{м}; \\ M_2 &= 39,76 \text{ кН}\cdot\text{м}; M_{2-3} = 427,47 \text{ кН}\cdot\text{м}. \end{aligned}$$

Эпюры реактивных давлений и изгибающих моментов при $\alpha=0,128$ и $\alpha=0,427$ практически совпадают (рис. 3).

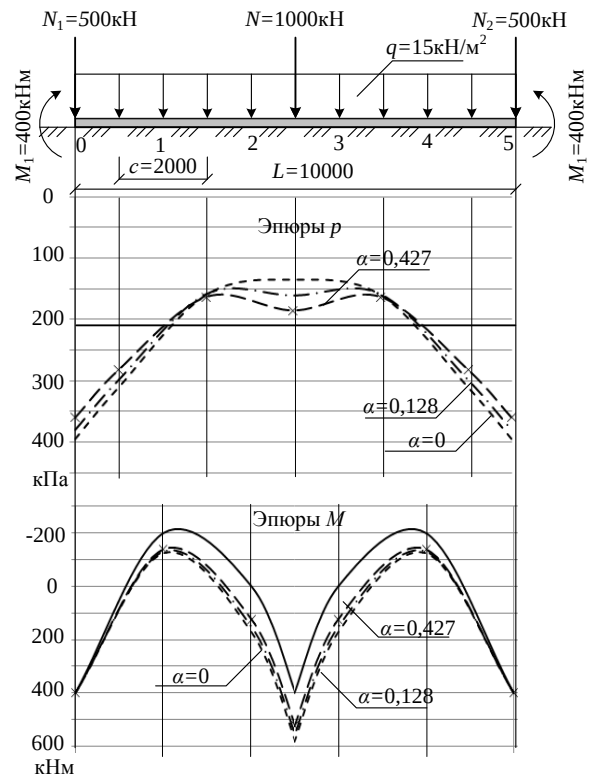


Рис. 3. Эпюры реактивных давлений и изгибающих моментов ($c/H=4$)

Рассмотрим полосу на комбинированном основании (Кожушко,1972; Кожушко,1974) в виде винклеровского слоя, лежащего на линейно-деформируемой полуплоскости при показа-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

телях гибкости системы $\alpha=0$; $\alpha=0,128$ и $\alpha=0,427$.

Относительную толщину винклеровского слоя примем $\xi=0,30$. Значения реактивных давлений и изгибающих моментов будут иметь следующие значения (рис. 4):

при $\alpha=0,128$

$p_1=p_5=262,255$ кПа; $p_2=p_4=186,79$ кПа;
 $p_3=176,93$ кПа;
 $M_0=400$ кН·м; $M_1=-105,5$ кН·м;
 $M_2=227,1$ кН·м; $M_{2-3}=646,2$ кН·м;

при $\alpha=0,427$

$p_1=p_5=256,55$ кПа; $p_2=p_4=187,845$ кПа;
 $p_3=186,205$ кПа;
 $M_0=400$ кН·м; $M_1=-116,90$ кН·м;
 $M_2=194,99$ кН·м; $M_{2-3}=609,38$ кН·м.

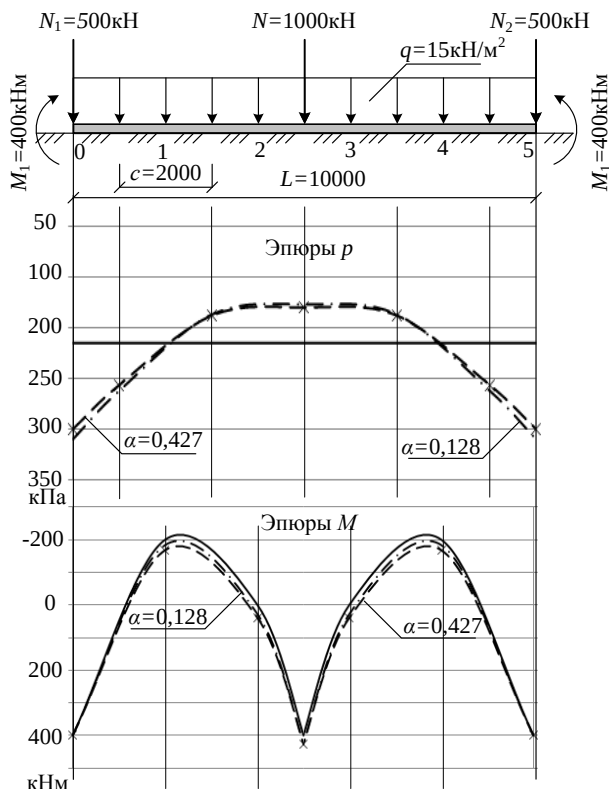


Рис. 4. Эпюры реактивных давлений и изгибающих моментов (комбинированная модель, $\xi=0,30$)

Полученные при комбинированной модели грунта результаты несколько отличаются от таковых при расчете полосы на линейно-деформируемой полуплоскости.

Результаты расчетов по 4-м моделям грунта при разных значениях показателя гибкости сведены в таблицы 1, 2, 3 и 4.

Таблица 1

Реактивные давления под серединой полосы, кПа

c/H	Без учета совместной работы	$\alpha=0$	$\alpha=0,128$	$\alpha=0,427$
1/32	215	145,9	160,9	185,1
1/2	215	194,3	201,3	214,0
4	215	215	219,7	239,6
Комбинированная модель	215	—	176,9	186,2

Таблица 2

Реактивные давления под серединой крайнего участка разбивки, кПа

c/H	Без учета совместной работы	$\alpha=0$	$\alpha=0,128$	$\alpha=0,427$
1/32	215	310,5	298,5	281,8
1/2	215	252,8	249,5	245,7
4	215	215	223,2	231,1
Комбинированная модель	215	—	262,3	256,6

Таблица 3

Изгибающие моменты в среднем сечении полосы, кН·м

c/H	Без учета совместной работы	$\alpha=0$	$\alpha=0,128$	$\alpha=0,427$
1/32	400	885,3	815,0	712,2
1/2	400	582,5	558,8	524,1
4	400	400	425,8	427,5
Комбинированная модель	400	—	646,2	609,4

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Таблица 4

Изгибающие моменты в точке 1 участка
разбивки, кН·м

c/H	Без учета совмест- ной рабо- ты	$\alpha=0$	$\alpha=0,128$	$\alpha=0,427$
1/32	-200	-9,0	-33,1	-66,3
1/2	-200	-124,3	-130,9	-138,7
4	-200	-200	-183,6	-167,8
Комбини- рованная модель	-200	—	-105,5	-116,9

Выводы

1. При применении любой из рассматриваемых моделей грунта эпюры реактивных давлений для большинства показателей гибкости системы «полоса – грунт» резко отличаются от таковых, построенных без учета совместной работы полосы и грунта.

2. Под серединой полосы давления при учете совместной работы полосы и грунта в зависимости от величины α могут уменьшаться в 1,47 раза или увеличиваться в 1,11 раза.

3. Под серединой первого участка разбивки реактивные давления при рассмотрении любой модели грунта и любом показателе гибкости системы имеют большие (до 44,4 %) значения, чем при неучете совместной работы.

4. Величины изгибающих моментов под серединой полосы при учете совместной работы полосы и грунта резко изменяются. Например, при использовании модели линейно-деформируемой полуплоскости в жесткой полосе ($\alpha=0$) изгибающие моменты увеличиваются в 2,21 раза. При работе же полосы на винклеровском основании моменты увеличиваются незначительно (всего в 1,07 раза).

5. Значения изгибающих моментов (по модулю) в точке 1 (см. рис.) уменьшаются, и могут быть при некоторых значениях α отличаться в несколько раз от таковых, рассчитанных без учета совместной работы полосы и грунта.

6. Величины реактивных давлений и изгибающих моментов в значительной степени зависят от применяемой модели грунтового основания. Таким образом, требуются четкие указания по применению той или иной модели

грунта в зависимости от вида грунта и его физико-механических характеристик.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ

- Kissl, A. A. (2011). *Consistent Failure Model for Probabilistic Analysis of Shallow Foundations*. Proc. of the 3rd Intern. Symposium of Geotechnical Safety and Risk. Munich.
- Pereira, C. & Caldeira, I. (2011). *Shallow Foundation Design through Probabilistic and Deterministic*. Proc. of the 3 rd. Intern. Symposium of Geotechnical Safety and Risk. Munich.
- Stefanov, G. (2009). The Stochastic Finite Element Methods: Past, Present and Future. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 198, 9-12, 1031-1051.
- Винников, Ю. М., Харченко, М. О., & Марченко, В. І. (2012). Розрахунок фундаментної плити силосів на армованій стохастичній основі. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 3, 26-32.
- Горбунов-Посадов, М. И., Маликова, Т. А., & Соломин, В. И. (1984). *Расчет конструкций на упругом основании*. Москва: Стройиздат.
- Горлов, А. М., & Серебряный, Р. В. (1968). *Автоматизированный расчет прямоугольных плит на упругом основании*. Москва: Стройиздат.
- Жемочкин, Б. Н., & Синицын, А. П. (1962). *Практические методы расчета фундаментных балок и полос на упругом основании*. Москва: Госстройиздат.
- Клепиков, С. Н. (1967). *Расчет конструкций на упругом основании*. Київ: Будівельник.
- Кожушко, В. П. (1972). Розрахунок підземних споруд прямокутного перерізу з урахуванням обпирання перекриття на пружну опору. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, 11, 110-114.
- Кожушко, В. П. (1974). Розрахунок прямокутних підземних споруд як рам на двохшаровій основі. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, XV, 146-151.
- Кожушко, В. П. (1990). *Расчет инженерных конструкций на линейно-деформируемом слое конечной толщины*. Киев: УМК ВО.
- Крашенинникова, Г. В. (1964). *Расчет балок на упругом основании конечной глубины*. Москва – Ленинград: Энергия.
- Лучковский, И. Я. (2000). *Взаимодействие конструкций с основанием*. Харків: ХДАТМ.
- Мейз, Дж. (1974). *Теории и задачи механики сплошных сред*. Москва: Мир.
- Овечкин, А. М. (1986). *Расчет балок на упругом основании. Метод сечения*. Москва: Высшая школа.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- Оден, Дж. (1976). *Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред*. Москва: Мир.
- Петренко, В. Д., Тютюкін, О. Л., & Кулаженко, Є. Ю. (2014). Проблема визначення деформацій оправи перегінних тунелів при суттєвій зміні інженерно-геологічних умов. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 5, 62-69.
- Попов, Г. Я. (1982). *Контактные задачи для линейно-деформируемого основания*. Москва: Высшая школа.
- Симвулиди, И. А. (1987). *Расчет инженерных конструкций на упругом основании*. Москва: Высшая школа.
- Тютюкін, О. Л., & Мірошник, В. А. (2012). Розробка теоретичних основ модифікованого методу розрахунку тунелів колонного окреслення. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 2, 96-100.

В. П. КОЖУШКО^{1*}, С. М. КРАСНОВ²

^{1*} Кафедра «Мости, конструкції та будівельна механіка», Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61002, тел. (057) 707 37 22, ел. пошта kmksm@ukr.net, ORCID 0000-0002-7044-776X

² Кафедра «Мости, конструкції та будівельна механіка», Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61002, тел. (097) 214 54 09, ел. пошта krasnov56@ukr.net, ORCID 0000-0002-2375-4273

АНАЛІЗ РОБОТИ ЛОТКОВОГО ЕЛЕМЕНТА ПРЯМОКУТНОЇ ОПРАВИ ПІШОХІДНОГО ТУНЕЛЮ

Мета. Визначити розподіл реактивних тисків і згинальних моментів у лотковому елементі, що контактує з ґрунтовою основою, яка описується різними моделями ґрунту при різних показниках гнучкості системи «смуга – ґрунт». **Методика.** Розрахунок проведений за методикою, розробленою одним із авторів, який склав численні таблиці одиничних реактивних зусиль від різних поперечно прикладених зовнішніх навантажень і привантажень. **Результати.** Побудовано епюри реактивних тисків і згинальних моментів в лотковій смугі у залежності від прийнятої моделі ґрунту і показника гнучкості системи «смуга – ґрунт». При визначенні внутрішніх зусиль (згинальних моментів і поперечних сил) застосовано ступінчасту епюру за Жемочкіним і Синіциним (в межах кожної ділянки розбивки інтенсивність тиску постійна і дорівнює тиску під середньою ділянкою). Аналіз результатів розрахунку показав, що за формою епюри реактивного тиску значно відрізняються від форми епюри, отриманої без урахування спільної роботи лотка з ґрунтом. Згинальні моменти в середньому перетині смуги значно більші за величиною від моментів, отриманих при розрахунках без урахування спільної роботи її з ґрунтовою основою, а від’ємні моменти за модулем мають менші значення. Отримані при комбінованій моделі ґрунту результати дещо відрізняються від таких при розрахунку смуги на лінійно-деформованій півплощині. **Наукова новизна.** Отримана можливість прогнозування роботи лоткового елемента тунелю, при зміні його згинальної жорсткості і фізико-механічних характеристик ґрунту. **Практична значимість.** У результаті застосування даної методики розрахунку буде зекономлено певну кількість бетону і арматури.

Ключові слова: епюра реактивних тисків; епюра згинальних моментів; лінійно-деформівна півплощина; лінійно-деформівний шар скінченної товщини; вінклерівська основа; комбінована модель; показник гнучкості «смуга – ґрунт»

V. P. KOZHUSHKO^{1*}, S. N. KRASNOV²

^{1*} Department of Bridges, Constructions, Construction Mechanisms, Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudrogo str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002, tel. (057) 707-37-22; e-mail kmksm@ukr.net, ORCID 0000-0002-7044-776X

² Department of Bridges, Constructions, Construction Mechanisms, Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudrogo str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002, tel. (097) 214 54 09; e-mail krasnov56@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2375-4273

ANALYSING OPERATION OF THE TROUGH ELEMENT OF A PEDESTRIAN TUNNEL RECTANGULAR LINING

Purpose. Distribution of reactive pressures and bending moments in the trough element which contacts with the soil base, described by various soil models with different indicators of the “lane-soil” system flexibility is investigated. **Methods.** The calculation was made according to the method developed by the author, who compiled extensive tables of individual reactive forces from different transversely applied external loads and surcharging. **Results.**

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

The curves of reactive pressures and bending moments in the trough lane are built depending on the adopted soil model and the indicator of the "lane-soil" system flexibility. When determining the internal forces (bending moments and transverse forces) a step diagram by Zhemochkin and Sinitsyn was used (within each section of the layout, the pressure intensity is constant and equal to the pressure at the middle of the section). Analysis of the calculation results showed that the shape of the diagram of the reactive pressure significantly differ from the shape of the diagram obtained without taking into account the joint work of the tray with the soil. The bending moments in the middle section of the strip are significantly larger in magnitude than the moments obtained in the calculations without taking into account its joint work with the soil base, and the absolutes of negative moments have lower values. The results obtained with the combined soil model are somewhat different from those calculated the strip on the linearly deformable half-plane. **Scientific novelty.** It was made possible to predict operation of the tunnel trough element when changing its flexural rigidity and physical and mechanical characteristics of the soil. **Practical value.** The considered method of calculation will help save a certain amount of concrete and reinforcement.

Keywords: reactive pressure curve; bending moment curve; linearly deformable half-plane; linearly deformable layer of finite thickness; Winkler base; combined model; "lane-soil" flexibility indicator

REFERENCES

- Kissl, A. A. (2011). *Consistent Failure Model for Probabilistic Analysis of Shallow Foundations*. Proc. of the 3rd Intern. Symposium of Geotechnical Safety and Risk. Munich. (in English)
- Pereira, C. & Caldeira, I. (2011). *Shallow Foundation Design through Probabilistic and Deterministic*. Proc. of the 3rd Intern. Symposium of Geotechnical Safety and Risk. Munich. (in English)
- Stefanov, G. (2009). The Stochastic Finite Element Methods: Past, Present and Future. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 198, 9-12, 1031-1051. (in English)
- Vynnykov, Yu. M., Kharchenko, M. O., & Marchenko, V. I. (2012). Rozrakhunok fundamentnoi plyty sylosiv na armovanii stokhastychnoi osnovi. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 3, 26-32. (in Ukrainian)
- Gorbunov-Posadov, M. I., Malikova, T. A., & Solomin, V. I. (1984). *Raschet konstrukcij na uprugom osnovanii*. Moskva: Strojizdat. (in Russian)
- Gorlov, A. M., & Serebrjanyj, R. V. (1968). *Avtomatizirovannyj raschet prjamougol'nyh plit na uprugom osnovanii*. Moskva: Strojizdat. (in Russian)
- Zhemochkin, B. N., & Sinitsyn, A. P. (1962). *Prakticheskie metody rascheta fundamentnyh balok i polos na uprugom osnovanii*. Moskva: Gosstrojizdat. (in Russian)
- Klepikov, S. N. (1967). *Raschet konstrukcij na uprugom osnovanii*. Kyiv: Budivelnik. (in Russian)
- Kozhushko, V. P. (1972). Rozrakhunok pidzemnykh sporud priamokutnoho pererizu z urakhuvanniam obpyrannia perekryttia na pruzhnu oporu. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 11, 110-114. (in Ukrainian)
- Kozhushko, V. P. (1974). Rozrakhunok priamokutnykh pidzemnykh sporud yak ram na dvosharovii osnovi. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, XV, 146-151. (in Ukrainian)
- Kozhushko, V. P. (1990). *Raschet inzhenernykh konstrukcij na linejno-deformiruемом sloe konechnoj tolshhiny*. Kiev: UMK VO. (in Russian)
- Krashennikova, G. V. (1964). *Raschet balok na uprugom osnovanii konechnoj glubiny*. Moskva – Leningrad: Jenergiya. (in Russian)
- Luchkovskij, I. Ja. (2000). *Vzaimodejstvie konstrukcij s osnovaniem*. Kharkiv: KhDATM. (in Russian)
- Mejz, Dzh. (1974). *Teorii i zadachi mehaniki sploshnykh sred*. Moskva: Mir. (in Russian)
- Ovechkin, A. M. (1986). *Raschet balok na uprugom osnovanii. Metod sechenija*. Moskva: Vysshaja shkola. (in Russian)
- Oden, Dzh. (1976). *Konechnye jelementy v nelinejnoj mehanike sploshnykh sred*. Moskva: Mir. (in Russian)
- Petrenko, V. D., Tiutkin, O. L., & Kulazhenko, Ye. Yu. (2014). Problema vyznachennia deformatsii opravy perehinnykh tuneliv pry sutteviv zmini inzhenerno-heolohichnykh umov. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 5, 62-69. (in Ukrainian)
- Popov, G. Ja. (1982). *Kontaktnye zadachi dlja linejno-deformiruемого osnovanija*. Moskva: Vysshaja shkola. (in Russian)
- Simvulidi, I. A. (1987). *Raschet inzhenernykh konstrukcij na uprugom osnovanii*. Moskva: Vysshaja shkola. (in Russian)
- Tiutkin, O. L., & Miroshnyk, V. A. (2012). Rozrobka teoretychnykh osnov modyfikovanoho metodu rozrakhunku tuneliv kolonnoho okreslennia. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 2, 96-100. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 06.05.2019
Прийнята до друку 20.05.2019

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 625.12:[693.54:624.131-033.24]

В. Д. ПЕТРЕНКО¹, О. Л. ТЮТЬКІН^{2*}, В. І. КРИСАН³, В. В. КРИСАН⁴

¹ Кафедра «Мости та тунелі», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, ел. пошта petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

^{2*} Кафедра «Мости та тунелі», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, ел. пошта alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

³ ТОВ НВО РЕМБУД, провул. Калинина, 23, оф. 7, Дніпро, Україна, 49000, тел. +38 (056) 236 03 67, ел. пошта krysan.v.i@ukr.net

⁴ ТОВ ПАРИТЕТ, вул. Новокримська, 5, кв. 308, Дніпро, Україна, 49000, тел. +38 (056) 232 05 17, ел. пошта krysan.v.i@ukr.net

ВІДНОВЛЕННЯ МІЦНОСНИХ ТА ДЕФОРМАТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ТА ЙОГО ОСНОВИ АРМУВАННЯМ ҐРУНТОЦЕМЕНТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Мета. Відновлення міцносних та деформативних характеристик земляного полотна та його основи, а також розробка способу, який можна використовувати як при будівництві нових, так і при ремонті старих колій. **Методика.** Армування ґрунтоцementeними елементами виконується на основі технології закріплення слабких ґрунтів, при якій процес укріплення здійснюється при достатньо низькому тиску в 0,15...0,25 МПа, на відміну від струминної технології (до 60 МПа). При цьому руйнування ґрунту виконується спеціальним пристроєм (струминно-змішувальним долотом). Для обґрунтування ефективності технології були проведені досліді на зразках ґрунтоцementeних елементів в стабілометрі (тривісний стиск при зразку 32 мм в діаметрі і 75 мм по висоті). При цьому визначалися міцнісні та деформаційні характеристики, включно вертикальне напруження руйнування, питоме зчеплення, кут внутрішнього тертя та модуль пружності. **Результати.** По результатах експериментальних досліджень для неконсолідовано-недренованого стиску в стабілометрі були побудовані паспорти міцності в координатах «тангенційні напруження – девіатор напружень» та графік залежності відносних деформацій від напружень. Отримано результати міцносних та деформативних параметрів ґрунтоцementeних елементів для зразків зі змістом цементу 7, 23 та 37,5 %. Так, напруження руйнування досягає декілька сотен кілопаскалей, модуль пружності – приблизно 7...22 МПа, зчеплення – 10...221 МПа. **Наукова новизна.** Вона полягає в отриманні закономірностей міцносних (напруження руйнування при тривісному стиску, питоме зчеплення, кут внутрішнього тертя) та деформативних (модуль пружності) параметрів від змісту цементу в ґрунтоцementeних елементах, призначених для армування земляного залізничного полотна та основи. **Практична значимість.** Обладнання для реалізації способу укріплення армуванням ґрунтоцementeними елементами, маючи невелику вагу та габарити, дозволяє ефективно обурювати та ін'єктувати земляне полотно та основу під різними кутами.

Ключові слова: земляне полотно; основа; ґрунтоцementeні елементи; міцності та деформативні характеристики; струминно-змішувальна технологія

Вступ

АТ «Укрзалізниця» має близько 19800 км залізничних колій, зношеність яких в цілому досягла 50 %, а повної реконструкції потребує 27 % колій всіх магістралей. Всього, наприклад до кінця 2018 року, ремонтні шляхові бригади повинні були виконати реконструкцію 260 км, капітальний ремонт 230 км, середній ремонт 870 км та комплексно-оздоровчий ремонт 520 км шляхів.

Одним з важливих критеріїв на залізничному транспорті є безпека під час руху та виконання всіх робіт, що забезпечують рух залізничного транспорту. Як відомо, залізнична колія включає в себе комплекс інженерних споруд, пристроїв і облаштувань, що розташовані в смугі відведення, призначений для забезпечення руху поїздів і складений з верхньої будови колії, земляного полотна, водовідвідних та штучних споруд та ґрунтової основи, що відповідає різним інженерно-геологічним умовам.

© В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін, В. І. Крисан, В. В. Крисан, 2019

Весь цей комплекс повинен забезпечувати виконання основної задачі ефективної роботи транспортної системи – високошвидкісне і безпечне перевезення вантажів та пасажирів. Одним з найважливіших елементів системи є земляне полотно та ґрунтова основа, характеристики яких забезпечують довговічність та експлуатаційну надійність всієї системи.

Оскільки значна частина аварій рухомого складу виникає за причин дефектів, деформацій та пошкоджень, що створюються на залізничній колії та земляному полотні, необхідно розробляти високоефективні способи їх укріплення чи підсилення, включно із основою земляного полотна.

Значні витрати часу, праці та фінансів потребують роботи по стабілізації основної площадки земляного полотна, оскільки воно повинно забезпечувати експлуатацію з мінімальними відмовами при проходженні сучасних та перспективних типів рухомого складу при максимальних швидкостях і розрахунковій вантажності залізниці, бути надійним на всій протяжності на ґрунтах всіх типів. Так, ремонтні роботи займають 27 % часу, що в грошовому еквіваленті становить близько 700 млн. грн.

Технологія улаштування земляного полотна практично не змінилась з XIX сторіччя. Як і тоді, зараз виконується механічне ущільнення ґрунтів як виїмок, так і насипів, улаштування захисного шару під баластною призмою. Виконати ущільнення ґрунту, як того вимагають нормативні документи, є дуже непростю справою. Не кожен ґрунт здатний до ущільнення, крім того необхідні і певні умови, щоб його виконати. Такими умовами є вологість ґрунту, товщина шару ущільнення, ущільнюючий тиск. І порушення кожного з цих параметрів може звести нанівець якість виконання робіт. А природні фактори, такі як атмосферні опади, повністю порушують графік виконання робіт, тому що перезволожений ґрунт слід підсушувати до тієї вологості, яка забезпечить необхідний коефіцієнт ущільнення.

Для підсилення земляного полотна використовуються різні типи геотекстилю, пінопласту та шлаків, а також габіони, які потребують значних витрат фінансів і праці. Нормативною документацією рекомендуються різні інженерні способи підсилення основи та захисту насипів. Це можуть бути дренажні конструкції, залізо-

бетонні укріплення, хімічне закріплення поверхневого шару.

Всі ремонтні роботи, такі як капітальний ремонт путі з використанням нових матеріалів, капітальний ремонт путі з старорічними матеріалами, посилений та звичайний середні ремонти, підйомочний ремонт, що передбачені регламентами для виконання, включають роботи по виправленню дефектів, що сталися при експлуатації. Велика частина робіт пов'язана з ліквідацією активного розвитку баластних заглиблень, баластних випорів, просадок, здимання. Часто при експлуатації стається видавлювання глинистих ґрунтів, виникають опливи, сповзання ухилів. Всі перераховані вище дефекти виникають із-за того, що ґрунти, які є основою шляху та саме земляне полотно, не мають достатньої міцності або втратили її під час експлуатації за різних причин.

Для виконання прогнозованих ремонтних робіт нормативною документацією передбачається створення або розвиток матеріальної бази, як відкриття ґрунтових, кам'яних та піщаних кар'єрів, що забезпечать необхідні матеріали для виконання вказаних робіт.

Мета

Метою науково-дослідницької роботи є відновлення міцносних та деформативних характеристик земляного полотна та його основи, а також розробка способу, який можна використовувати як при будівництві нових, так і при ремонті старих колій.

Методика

На сьогоднішній час вже достатньо випробуваною і введеною в нормативну документацію України є технологія армування ґрунтів вертикальними жорсткими елементами. За останні 40-50 років були розроблені варіанти технологій укріплення ґрунтів з різними фізико-механічними властивостями, основою яких є руйнуюча дія водяного променя (Jahiro, & Joshida, 1974; Kutzner, 1996; Croce, Flora, & Modoni, 2014).

Перший напрямок ґрунтувався на використанні спеціалізованих насосів, що забезпечували тиск в 400...1000 атм. В подальшому більшій увазі було приділено іншому напрямку, що дозволяв використовувати насоси з більш низь-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ким тиском, але високою витратою робочої рідини. Особливо інтенсивний розвиток й впровадження надана технологія отримала в 1970-80 роках в різних країнах (Jahiro, & Joshida, 1974; Mitchell, Willem, & Dimilllo, 1984; Kutzner, 1996; Maertens, & Maekelberg, 2001; Малинин, 2009; Croce, Flora, & Modoni, 2014), детальний опис історії розвитку зроблений в монографії І. І. Бройда (2004).

Сутність технології полягає у використанні енергії високо напірного цементного струменя або цементно-бентонітового розчину. Струмінь виходить із сопла монітору, що розташований в його нижній частині; їх кількість може складати 2...6 шт., а діаметр – 1,6...6 мм. Необхідно відмітити, що за кордоном технологія отримала назву «jet-grouting» – струменеві закріплення (цементация), поділяючись на три різновиди (Гинзбург, 1979).

Застосування цієї технології на даний час дозволяє створення не тільки ґрунтоцементних елементів, але й їх підсилення каркасами армування, які розміщуються в тілі елементу ще до часу його тужавіння та твердіння, що дозволяє значно підвищити загальну несучу здатність.

В першому різновиді технологія базується на попередньому розмиві ґрунту (ПРГ) і подальшому поданні цементного розчину під тиском 40...60 МПа (400...600 атм) і витратою його в кількості 60...150 л/хв. В другому різновиді також виконується ПРГ, цементний розчин подається під тиском 40...60 МПа (400...600 атм) і витратою його в кількості 150...250 л/хв. Окрім цього, по окремому каналу подається стиснуте повітря під тиском 8...12 МПа (80...120 атм) і витратою його в кількості 6...18 м³/год. В третьому різновиді ПРГ не виконується, а по окремому каналу, скрізь сопло подається вода під тиском 30...50 МПа (300...500 атм), а цементний розчин і стиснене повітря також окремими каналами подаються відповідно з тиском 4...6 МПа (40...60 атм) і 0,8...1,2 МПа (8...12 атм) та з витратою води – 70...100 л/хв., цементного розчину – 150...250 л/хв і стисненого повітря – 6...18 м³/год.

Перевага таких різновидів цієї технології полягає в тому, що при їх використанні в піщаних ґрунтах можна отримати колони діаметром 0,6...1,0 м (І-й варіант), 1,0...2,0 м (ІІ-й варіант) і 1,5...2,5 м (ІІІ-й варіант). В глинистих ґрунтах

наданий параметр буде мати менші значення: 0,5...1,0 м (І-й варіант), 1,0...1,5 м (ІІ-й варіант) і 1,0...2,0 м (ІІІ-й варіант).

При застосування струмінних технологій важливе значення має така фізико-механічна характеристика як міцність матеріалу ґрунтоцементних елементів. Міцність укріпленого ґрунту на стиск в МПа наведена в джерелах (Камбефор, 1971; Jahiro, & Joshida, 1974; Гинзбург, 1979) (табл. 1).

Таблиця 1

Міцність укріпленого ґрунту на стиск, МПа

Тип ґрунту	Літературне джерело		
	Камбефор, 1971	Jahiro, & Joshida, 1974	Гинзбург, 1979
Торф	< 3,0	0,3	< 1,5
Глина	< 8,0	1,8...3,0	1,5...4,0
Суглинок	3,0...10	3,0...4,5	2,0...9,0
Супісок	5,0...14,0	3,0...4,5	2,0...9,0
Пісок	< 15,0	6,0...9,0	5,0...15,0
Гравій	< 20,0	10,0...30,0	5,0...15,0

Як видно з наданої таблиці, міцність ґрунтоцементу навіть для конкретного типу ґрунту змінюється в широких межах, що можна пояснити не тільки різними складом та хімічним станом ґрунтів, але й різним питомим змістом цементу.

Одним з найбільш важливих технологічних факторів при струмінній технології закріплення ґрунтів є раціональний вибір та використання розчинів для закріплення. Це зумовлено як специфікою способу, так і вимогами до закріплених ґрунтів при вирішенні різних будівельних задач. По-перше, розчини для закріплення повинні мати наступні якості, тобто володіти: 1) здібністю створення нових ґрунтоцементних структур із заданими фізико-механічними і фільтраційними властивостями; 2) здібностями не розшаровуватися при нагнітанні; 3) здібністю твердіти під водою; 4) необхідними строками тужавлення; 5) забезпеченням реалізації раціональних термінів приготування та нагнітання; 6) задовільною змішувальною здатністю із ґрунтом, що закріплюється; 7) необхідною водовіддачею після завершення технологічного процесу; 8) достатньою міцністю на одновісний

стиск (Krysan, V. I., Krysan, V. V., Petrenko, Tiutkin, & Andreev, 2019).

Результати

В теперішній час розроблений ряд способів укріплення слабких ґрунтів земляного полотна та основи залізничного насипу, в тому числі струмінне закріплення із застосуванням високого тиску води та цементного розчину (500...700 атм). Разом з тим, як можна визначитися з наведеного вище аналізу такий величезний тиск викликає суттєві ускладнення як для конструкцій трубопроводів, так і для робочих органів – моніторів із соплами. Деякі переваги по збільшенню діаметрів ґрунтоцементних конструкцій при таких значеннях тиску не можуть компенсувати витрати матеріалів і праці при їх виконанні.

У зв'язку з цим, авторами були розроблені та обґрунтований спосіб і технологія закріплення слабких ґрунтів, які полягають у тому, що процес укріплення здійснюється при достатньо низькому тиску в 0,15...0,25 МПа (15...25 атм). При цьому руйнування ґрунту виконується спеціальним пристроєм – струмінно-змішувальним долотом (Романенко, & Крисан, 2007; Зоценко, та інші, 2011). При його роботі процес диспергування і перемішування ґрунту полягає в одночасній дії долота та струменю суміші цементу і води, котра подається через отвір в моніторі. Причому отвори виконані в трубчастому корпусі монітора в його кінці без спеціальних форсунок і мають діаметри, що перевищують існуючі в 5...8 разів.

Для влаштування ґрунтоцементних елементів застосовуються портландцемент та шлакопортландцемент, сульфатостійкий цемент марки не нижче 400 (Петренко, В. И., & Петренко В. Д., 2014). Для забезпечення рухомості суміші й корегування часу її тужавлення вводяться пластифікатори, суперпластифікатори та інгібітори в кількості, необхідній для забезпечення проектних характеристик. Водцементне відношення підбирається в залежності від інженерно-геологічних умов, пористості та вологості ґрунту, його гранулометричного складу, а також на основі аналізу результатів виконання робіт (Petrenko, Tiutkin, & Sviatko, 2016).

Для визначення впливу фізико-механічних властивостей ґрунтів на характеристики ґрунтоцементних конструкцій були проведені дос-

лідницькі роботи, в процесі яких виконувався відбір зразків, що в подальшому випробувалися в стабілометрі (тривісний стиск). При цьому визначалися міцнісні та деформаційні характеристики, включно вертикальне напруження руйнування, питоме зчеплення, кут внутрішнього тертя та модуль пружності.

Ґрунтоцементні елементи виконувалися із 300 кг цементу на 1000 кг води, тобто при водоцементному відношенні 1,0:0,3, а також при В/Ц 1,0:0,6 з додатком в обох випадках пластифікаторів в кількості 2,5 кг на 1000 кг цементу.

Досліди проводилися в стабілометрі із розміром зразку 32 мм в діаметрі і 75 мм по висоті. Як було встановлено, при збільшенні кількості цементного компонента в зразках, їх міцність збільшувалася для трьох видів зразків: 1-й – 203, 35 кПа, 2-й – 390,1 кПа, 3-й – 547,0 кПа. При цьому показники питомого зчеплення C та кута внутрішнього тертя φ складали для всіх трьох зразків відповідно 10 кПа та 27 градусів, а модуль пружності досягав відповідно: 1-й – 67,8 кПа, 2-й – 130,0 кПа, 3-й – 182,6 кПа.

Руйнуюче напруження q_p та модуль пружності E були розраховані за відомими формулами:

$$q_p = \sigma_1 - \sigma_3, \quad (1)$$

$$q_e = \frac{q_p}{3}, \quad (2)$$

$$E = \frac{q_p}{3\varepsilon_e}, \quad (3)$$

де σ_1 , σ_3 – відповідно вертикальне та горизонтальне напруження в стабілометрі, МПа; q_e – напруження, що відповідає умовній межі пружності; ε_e – відносна деформація, що відповідає умовній межі пружності.

По результатах експериментальних досліджень для неконсолідовано-недренованого стиску в стабілометрі були побудовані паспорти міцності в координатах «тангенційні напруження – девіатор напружень $\sigma_1 - \sigma_3$ » та графік залежності відносних деформацій від напружень, при цьому отримані значення величин зчеплення та кута внутрішнього тертя для зразків зі змістом цементу 7, 23 та 37,5 % (рис. 1-3, надано мовою комплексу при стабілометрі).

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

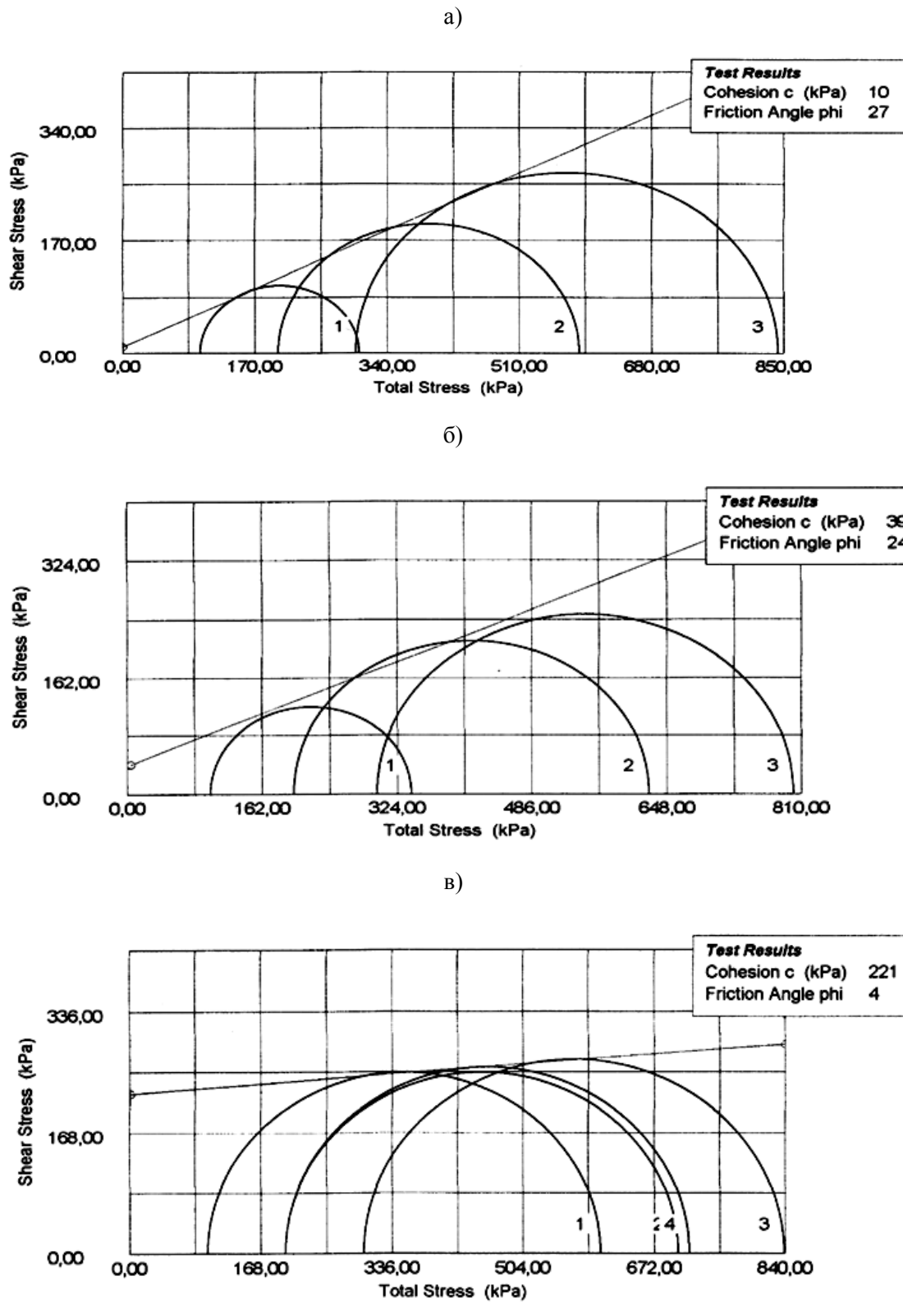
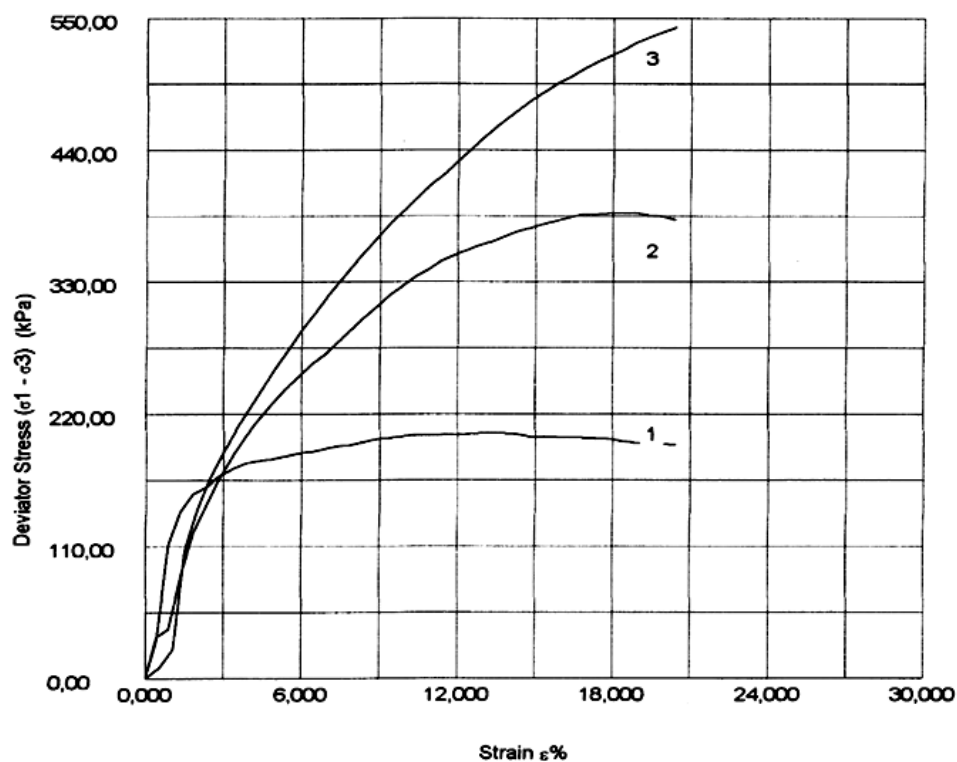


Рис. 1. Паспорти міцності ґрунтоцементних зразків при вмісті цементу: а) 7 %; б) 23 %; в) 37,5 %

а)



б)

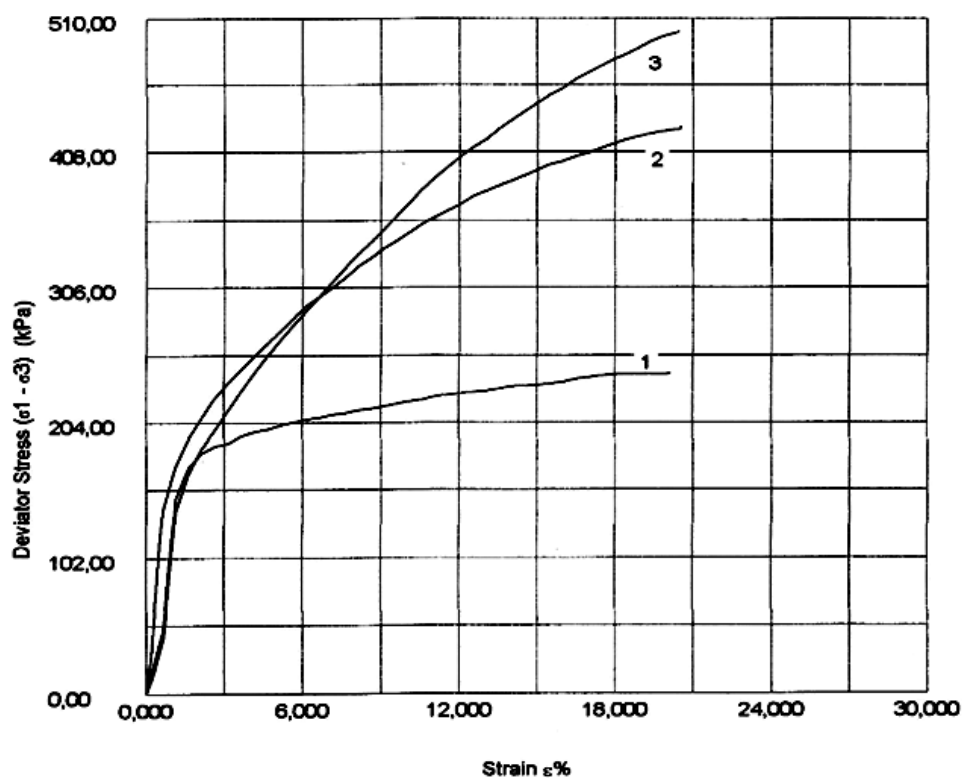


Рис. 2. Графіки відносних деформацій від напружень при змісті цементу: а) 7 %; б) 23 %

© В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін, В. І. Крисан, В. В. Крисан, 2019

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

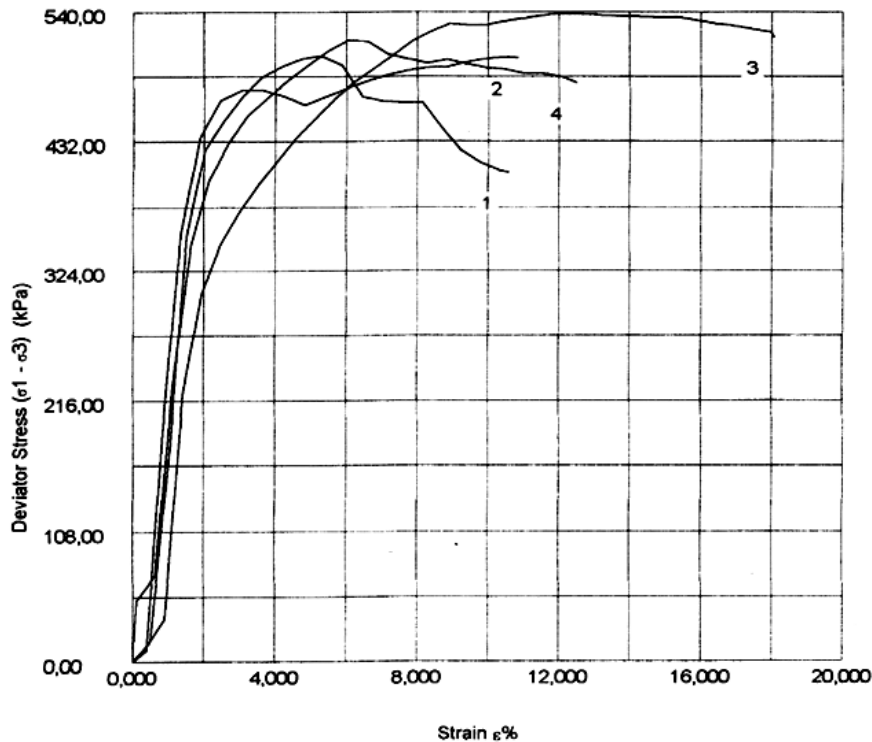


Рис. 3. Графіки відносних деформацій від напружень при вмісті цементу 37,5 %

На основі виконаних експериментальних досліджень були розраховані параметри міцності та деформативності ґрунтоцементних зразків (табл. 2).

Як виходить з аналізу наведених даних розрахунків, міцнісні та деформативні параметри значно збільшилися. Наприклад, напруження

руйнування досягає декілька сотень кілопаскалей, модуль пружності – приблизно 7...22 МПа, зчеплення – 10,0...221,0 МПа. Такі показники суттєво перевищують міцнісні характеристики ґрунтів, що укріплюються армуванням ґрунтоцементними елементами із різним вмістом цементу.

Таблиця 2

Значення міцносних та деформаційних параметрів ґрунтоцементних зразків

Номер зразка	Зміст цементу, %	Значення параметрів							
		σ_1 , кПа	σ_3 , кПа	q_p , кПа	q_e , кПа	ε_e , дол. од.	E , кПа	C , кПа	φ , град
1	7,0	302,95	99,6	203,35	67,78	0,00586	11566,55	10,0	27
2	23,0	589,3	199,2	390,1	130,0	0,01905	6827,67		
3	37,5	854,9	307,1	547,8	182,6	0,02637	6924,54		
1	7,0	340,3	99,6	240,7	80,2	0,00770	10419,87	39,0	24
2	23,0	626,65	196,7	429,9	143,3	0,00710	20184,93		
3	37,5	799,3	298,8	500,5	166,83	0,01540	10833,12		
1	7,0	608,3	99,9	508,4	169,5	0,00984	17221,04	221,0	4
2	23,0	708,2	199,9	508,4	169,5	0,00779	21752,89		
3	37,5	840,0	299,8	540,2	180,1	0,01292	13942,32		

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна роботи полягає в отриманні закономірностей міцносних (напруження руйнування при тривісному стиску, питоме зчеплення, кут внутрішнього тертя) та деформативних (модуль пружності) від змісту цементу в ґрунтоцементних елементах, призначених для армування земляного залізничного полотна та основи.

Практична значимість полягає в тому, що обладнання для реалізації способу укріплення армуванням ґрунтоцементними елементами, маючи невелику вагу та габарити, дозволяє ефективно обурювати та ін'єктувати земляне полотно та основу під різними кутами. Розташування обладнання на верхній будові колії та в проміжках між шпалами дозволяє бурити свердловини для подальшого суттєвого збільшення міцності та підвищення деформативності ґрунту земляного полотна та основи.

Висновки

Важливим висновком по результатах проведених досліджень є ствердження, що розроблений спосіб укріплення та обладнання, яке дозволяє його реалізувати, значно відновлює міцнісні та деформативні характеристики залізничного земляного полотна та його основи. Виконання даної технології можливо здійснити за допомогою залізничних платформ або автомотріс, що можуть бути оснащені установками для нагнітання, здатними бурити вертикальні і похилі свердловини і проводити змішування для армування земляного полотна та основи ґрунтоцементними елементами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Croce, P., Flora, A., & Modoni, G. (2014). *Jet Grouting: Technology, Design and Control*. CRC Press.
Jahiro, T., & Joshida, H. (1974). On the characteristics of high speed water jet in the liquid and its utilization

on induction grouting method. *II International symposium on jet cutting technology*.

Krysan, V. I., Krysan, V. V., Petrenko, V., Tiutkin, O., & Andreev, V. (2019). Improving the safety of soil foundations when they are restored using soil-cement elements. *2nd International Scientific and Practical Conference "Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport"*.

Kutzner, C. (1996). *Grouting of rock and soil*. A. A. Balkema.

Maertens, J., & Maekelberg, W. (2001). Special applications of the jet-grouting technique for underpinning works. *Proceedings of the international conference on soil mechanics and geotechnical engineering*, 3, 1795-1798.

Mitchell, J. K., Willem, C. B., & Dimillio, A. F. (1984). Soil Reinforcement for stabilization of Earth Slopes and Embankments. *Public Roads*, 3(48), 88-95.

Petrenko, V. D., Tiutkin, O. L., & Sviatko, I. O. (2016). Estimation of subgrade strengthening influence using soilcement elements. *Science and Transport Progress*, 4 (64), 161-168.

Бройд, И. И. (2004). *Струйная геотехнология*. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов.

Камбефор, А. (1971). *Инъекция грунтов. Принципы и методы*. Москва: Энергия.

Гинзбург, Л. К. (1979). *Противооползневые удерживающие конструкции*. Москва: Стройиздат.

Зоценко, М. Л., Винников, Ю. Л., Ларцева, І. І., Шокарев, В. С., & Крисан, В. І. (2011). Характеристики штучних твердих ґрунтів, які поліпшені бурозмішувальним методом. *Світ геотехніки*, 3, 14-18.

Малинин, А. Г. (2009). *Струйная цементация грунтов*. Москва: Стройиздат.

Петренко, В. И., & Петренко В. Д. (2014). Обоснование параметров химического закрепления грунтов при строительстве Киевского метрополитена. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 4, 60-66.

Романенко, В. І., & Крисан, В. І. (2007). Змішувально-бурове долото. *Деклараційний патент на винахід*, № 62868 від 15.03.2007.

В. Д. ПЕТРЕНКО¹, А. Л. ТЮТЬКИН^{2*}, В. И. КРЫСАН³, В. В. КРЫСАН⁴

¹ Кафедра «Мосты и тоннели», Днепровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (050) 708 50 69, эл. почта petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

^{2*} «Мосты и тоннели», Днепровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, эл. почта alexeytiutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

³ ТОВ НВО РЕМБУД, проул. Калинина, 23, оф. 7, Днепр, Украина, 49000, тел. +38 (056) 236 03 67, эл. почта krysan.v.i@ukr.net

⁴ ТОВ ПАРИТЕТ, ул. Новокрымская, 5, кв. 308, Днепр, Украина, 49000, тел. +38 (056) 232 05 17, эл. почта krysan.v.i@ukr.net

© В. Д. Петренко, О. Л. Тюткин, В. И. Крисан, В. В. Крисан, 2019

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И ЕГО ОСНОВАНИЯ АРМИРОВАНИЕМ ГРУНТОЦЕМЕНТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Цель. Восстановление прочностных и деформативных характеристик земляного полотна и его основания, а также разработка способа, который можно использовать как при строительстве новых, так и при ремонте старых путей. **Методика.** Армирование грунтоцементными элементами выполняется на основе технологии закрепления слабых грунтов, при которой процесс укрепления осуществляется при достаточно низком давлении в 0,15...0,25 МПа, в отличие от струйной технологии (до 60 МПа). При этом разрушение грунта выполняется специальным устройством (струйно-смесительным долотом). Для обоснования эффективности технологии были проведены опыты на образцах грунтоцементных элементов в стабилометре (трехосное сжатие при образце 32 мм в диаметре и 75 мм по высоте). При этом определялись прочностные и деформационные характеристики, включая вертикальное напряжение разрушения, удельное сцепление, угол внутреннего трения и модуль упругости. **Результаты.** По результатам экспериментальных исследований для неконсолидированно-недренированного сжатия в стабилометре были построены паспорта прочности в координатах «тангенциальные напряжения – девиатор напряжений» и график зависимости относительных деформаций от напряжений. Получены результаты прочностных и деформативных параметров грунтоцементных элементов для образцов с содержанием цемента 7, 23 и 37,5%. Так, напряжение разрушения достигает нескольких сотен килопаскалей, модуль упругости – около 7...22 мегапаскалей, сцепление – 10...221 мегапаскалей. **Научная новизна.** Она заключается в получении закономерностей прочностных (напряжение разрушения при трехосном сжатии, удельное сцепление, угол внутреннего трения) и деформативных (модуль упругости) параметров от содержания цемента в грунтоцементных элементах, предназначенных для армирования земляного железнодорожного полотна и основания. **Практическая значимость.** Оборудование для реализации способа укрепления армированием грунтоцементными элементами, имея небольшой вес и габариты, позволяет эффективно обустраивать и инъектировать земляное полотно и основание под разными углами.

Ключевые слова: земляное полотно; основание; грунтоцементные элементы; прочностные и деформативные характеристики; струйно-смесительная технология

V. D. PETRENKO¹, O. L. TIUTKIN^{2*}, V. I. KRYSAN³, V. V. KRYSAN⁴

^{1*} Department «Bridges and tunnels» of Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazaryana Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 708 50 69, e-mail petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

^{2*} Department «Bridges and Tunnels» of Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 290 45 18, e-mail alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

³ REMBUD LLC, 23, office 7, Kalinina Way, Dnipro, Ukraine, 49000, tel. +38 (056) 236 03 67, e-mail krysan.v.i@ukr.net

⁴ PARITET LLC, 5, app. 308, Novokrimska Str., Dnipro, Ukraine, 49000, tel. +38 (056) 232 05 17, e-mail krysan.v.i@ukr.net

RESTORING THE STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF THE SUBGRADE AND ITS FOUNDATION BY REINFORCING WITH SOIL-CEMENT ELEMENTS

Purpose. The restoration of the strength and deformation characteristics of the subgrade and its foundation, as well as the development of a method that can be used both in the construction of new and in the repair of old railways. **Methodology.** Reinforcement with soil-cement elements is performed on the basis of the technology of fixing of the weak soils, in which the strengthening process is carried out at a fairly low pressure of 0.15...0.25 MPa, in contrast to jet-grouting technology (up to 60 MPa). In this case, the destruction of the soil is carried out by a special device (jet-mixing bit). To justify the effectiveness of the technology, experiments were carried out on samples of soil-cement elements in a stabilometer (triaxial compression with a sample of 32 mm in diameter and 75 mm in height). In this case, strength and deformation characteristics were determined, including vertical fracture stress, adhesion, angle of internal friction, and elasticity modulus. **Findings.** According to the results of experimental stud-

ies for unconsolidated and undrained compression in a stabilometer, strength certificates were plotted in the coordinates of "tangential stresses – stress deviator" and a graph of the dependence of relative deformations on stresses. The results of strength and deformation parameters of soil-cement elements for samples with a cement content of 7, 23 and 37.5 % are obtained. According to the results, the fracture stress reaches several hundred kilopascals, the elastic modulus is about 7...22 MPa, the adhesion is 10...221 MPa. **Originality.** It consists in obtaining regularities of strength (fracture stress under triaxial compression, unit adhesion, angle of internal friction) and deformation (elasticity modulus) parameters from the cement content in cement-cement elements intended for reinforcing a subgrade railway bed and foundation. **Practical value.** Equipment for implementing the method of reinforcing with reinforced soil-cement elements, having a small weight and dimensions, allows you to efficiently drill and inject the subgrade and foundation at different angles.

Keywords: subgrade; base; soil cement elements; strength and deformation characteristics; jet mixing technology

REFERENCES

- Croce, P., Flora, A., & Modoni, G. (2014). *Jet Grouting: Technology, Design and Control*. CRC Press. (in English)
- Jahiro, T., & Joshida, H. (1974). On the characteristics of high speed water jet in the liquid and its utilization on induction grouting method. *II International symposium on jet cutting technology*. (in English)
- Krysan, V. I., Krysan, V. V., Petrenko, V., Tiutkin, O., & Andreev, V. (2019). Improving the safety of soil foundations when they are restored using soil-cement elements. *2nd International Scientific and Practical Conference "Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport"*. (in English)
- Kutzner, C. (1996). *Grouting of rock and soil*. A. A. Balkema. (in English)
- Maertens, J., & Maekelberg, W. (2001). Special applications of the jet-grouting technique for underpinning works. *Proceedings of the international conference on soil mechanics and geotechnical engineering*, 3, 1795-1798. (in English)
- Mitchell, J. K., Willem, C. B., & Dimilllo, A. F. (1984). Soil Reinforcement for stabilization of Earth Slopes and Embankments. *Public Roads*, 3(48), 88-95. (in English)
- Petrenko, V. D., Tiutkin, O. L., & Sviatko, I. O. (2016). Estimation of subgrade strengthening influence using soil-cement elements. *Science and Transport Progress*, 4 (64), 161-168. (in English)
- Brojd, I. I. (2004). *Strujnaja geotehnologija*. Moskva: Izdatel'stvo Asociacii stroitel'nyh vuzov. (in Russian)
- Kambefor, A. (1971). *Inekcija gruntov. Principy i metody*. Moskva: Jenergiya. (in Russian)
- Ginzburg, L. K. (1979). *Protivoopolznevye uderzhivajushhie konstrukcii*. Moskva: Strojizdat. (in Russian)
- Zotsenko, M. L., Vynnykov, Yu. L., Lartseva, I. I., Shokarev, B. C., & Krysan, V. I. (2011). Kharakterystyky shtuchnykh tverdykh gruntiv, yaki polipsheni burozmishuvalnym metodom. *Svit heotekhniki*, 3, 14-18. (in Ukrainian)
- Malinin, A. G. (2009). *Strujnaja cementacija gruntov*. Moskva: Strojizdat. (in Russian)
- Petrenko, V. I., & Petrenko V. D. (2014). Obosnovanie parametrov himicheskogo zakreplenija gruntov pri stroitel'stve Kievskogo metropolitena. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 4, 60-66. (in Russian)
- Romanenko, V. I., & Krysan, V. I. (2007). Zmishuvalno-burove doloto. *Deklaratsiinyi patent na vynakhid*, № 62868 vid 15.03.2007. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 10.09.2019

Прийнята до друку 01.10.2019

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

UDC 624.24.09

V. V. MAROCHKA^{1*}, S. H. BOBOSHKO²

^{1*} Department «Bridges and tunnels» of Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 83 10, e-mail markay905@gmail.com, ORCID 0000-0001-8856-5708

² Department «Bridges and tunnels» of Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 83 10, e-mail stepanboboshko@gmail.com, ORCID 0000-0002-7612-0696

ANALYSIS OF THE PROBLEMS OF SECTIONS WITH THE TRANSITIONAL RIGIDITY INDICATOR IN WORLD BRIDGING

Purpose. To analyze the problem of areas with a transitional stiffness on the approaches to the bridges based on the experience of European and American bridge-building. To find out the root causes and methods for detecting track defects in transitional stiffness zones. To propose a pilot model for the development of transitional stiffness areas based on the experience of developed countries in Europe. **Methodology.** Collection of data on the causes and nature of the occurrence of bumps on approaches to bridges based on the experience of specialists in the design, construction and operation of railway and highway bridges. Analysis of methods of arrangement of transition areas on approaches to bridges in European countries. **Results.** An analysis of the literary sources of developed countries of the world on the problem of the origin and methods of detection of bumps in areas with transitional stiffness on the approaches of bridges was performed. The results were collected on ways to identify problems in areas with transient stiffness and how to solve them. A model for mathematical and experimental studies was proposed. **Originality.** Scientific interest is that, despite the extensive experience of developed countries of the world, the Ukrainian norms still do not have a clear mechanism for identifying and characterizing problems of track geometry in sections with transitional stiffness. Thus, studying the experience of more advanced countries in the field helps to consider the problem more clearly and standardize its definition. **Practical value.** If proposed model of reinforcement of transition stiffness areas will be confirmed it allows to reduce the cost of maintaining of the track and to solve the problems of the transitional areas at the stage of bridge construction, that is, before its immediate occurrence.

Keywords: bridge; transitional stiffness; approaches; high-speed lines; bump

Introduction

Railway lines are investments with very long life. Today many tracks are over 100 years old. Of course, components have been exchanged during the years, but parts of the track might remain the same – especially the substructure. Typical lifetimes of for example rails are 30...60 years and turnouts 20...30 years (Sundquist, 2000). However, to ensure this long life a large amount of maintenance is necessary.

Railway industry meet a lot of problem in general, but the problems with the roadbed are one of the most difficult to solve because of their long-term solution and the great losses not so much in solving problems as in stopping or organizing of redirection of the movement.

Purpose

To analyze the problem areas with a transitional stiffness on the approaches to the bridges on the

experience in European and American bridge-building and to pay attention to the importance of this issue in Ukraine.

Methodology

Transition zones are commonly defined as a region of the track in which there is an abrupt change of track stiffness (mainly in the vertical direction). Such a change of stiffness may cause an increment of interaction forces between the train and the track and consequently an acceleration of the degradation process, when a train is moving on it (Alejandro de Miguel Tejada, 2015).

The bump at the end of the bridge is not a new problem. Both the highways and railways face this problem. Although both of these industries share many of the same contributing factors that lead to the problem, the solutions that are used to solve it are quite different (Nicks, 2009).

Railway track will settle due to permanent deformation in different layers of the track. The problem arises when different sections of the track settle unevenly. In such a situation this phenomena is called differential settlement and it could seriously affect the value of train-track interaction forces.

Settlements of the track come mainly from three different sources:

- settlements of the embankments and the subgrade soils due to a consolidation process, including the secondary compression phenomena;
- settlements due to traffic loading;
- settlements due to the structural interaction.

Settlements of ballasted track occurs mainly in two phases (Dahlberg, 2001):

- in a short-term, after tamping, the settlement is typically fast until the gaps between the ballast particles have been reduced and the ballast is consolidated;
- in a long-term, there is a slower phase with an almost linear relationship between settlement and time.

This phase is caused by several basic mechanisms of ballast and subgrade behaviour. These mechanisms can be divided in two main groups, depending on the mechanical behaviour of the layers. The first one, due to a densification of both the ballast and the subgrade soil and the second one due to an inelastic behaviour of the two mentioned layers: ballast and subgrade soil.

The bump at the end of the bridge is classified as a track geometry degradation problem. It occurs in the track transition zone located at the interface between the approach embankment and the bridge structure

The Federal Railroad Administration in 1993 (Federal Railroad Administration, 1993) estimated that there were about 101,000 railway bridges in the US (not including rapid-transit operations). This number has likely increased since that time. After reviewing the literature, however, it is unclear how many of these railway bridges are affected by the bump problem.

To close this gap, a survey of railroad professionals was conducted during the (Nicks, 2009) to determine the extent of the problem. Based on a similar highway survey conducted by Briaud James & Hoffman (1997), about 150,000 out of

600,000 US highway bridges (as of 1995), about 25 %, experienced problems. This percentage is expected to be higher for railways due to the much higher loading environment.

Based on the Association of American Railroads (AAR) 2008 Strategic Research Initiatives Plan, the cost of railway bridge transition repairs is estimated as \$26 million per year (\$16 million for steel bridges and \$10 million for concrete bridges). This figure does not take into account the significant cost resulting from slow orders that railroads must impose in problem locations. A slow order is a speed restriction where trains must travel at slower-than-line speeds to operate safely. By comparison, the cost of repair for highway bridges has been estimated at \$100 million per year (Seo, 2003). The expense is much higher for highway bridges than railway bridges. This is likely due to the total number of bridges in service.

As part of the work Nicks (2009), a survey has been conducted among 9 world railway organizations in the USA, Canada and Australia.

Based on the survey responses, the bump problem affects, on average, 51 % of railroad bridges. This is double the number of highway bridges that are affected. The typical bridge consists of an open bridge deck (with height less than or equal to 3.05 m) resting on a deep foundation (e.g. piles) with no skew. As a majority, the respondents did not know what type of soil is typically used as compacted fill or as foundation soil.

A tolerable bump has yet to be strictly defined in the railroad industry. Most companies rely on visual inspections rather than measurements in deciding when to fix the bump problem. The annual cost of maintenance for the affected bridges of each company, including both internal and contracted, is estimated at \$23 million total. This represents an average cost for each railroad company of \$2.55 million per year. Although the respondents do not see the bump as a major problem, it is a nuisance that leads to track degradation and increased maintenance costs. Among those surveyed, the typical bump size ranges from 0,6 to 10 cm with an average difference in elevation of 3,3 cm along the rail profile. The horizontal length over which the bump occurs also varies, ranging from 1,2 to 15 m with an average of approximately 5 m.

The common causes of the bump problem were evaluated by the survey respondents. Each respondent ranked a given contributing factor on a scale of 1 to 4, with 1 representing the “most common” and 4 representing “never a factor”. The results are summarized in Table 1.

Table 1

Factors contributing to the formation of the bump

Ranking	Topic
1	Settlement of fill
1	Others: difference in track modulus at transition, poor surfacing, not tamping approach properly, poor maintenance practices by bridge and track forces
3	Poor drainage
3	Dynamic impact of cars
5	Poor compaction of ballast on fill
5	Differential settlement between bridge and fill
7	Poor joints
7	Bridge type
7	Poor fill material
10	Loss of fill by erosion
10	Abutment type
10	Settlement of natural soil under the fill
13	Too rigid a bridge foundation
14	Poor construction practices
14	Temperature cycle
16	Poor construction specifications
17	Settlement of natural soil under the bridge abutment
18	Lateral movement of the bridge abutment

Based on these results, the most common factors leading to the bump are settlement of the fill, differential track modulus, poor surfacing, improper tamping and poor maintenance practices. The least common were lateral movement of the bridge abutment, settlement of the natural soil under the bridge abutment and poor construction specifications.

The cases where the problem appears to be worse are when: the bridge is an open deck bridge, the bridge is made of concrete and has concrete ties, concrete approach ties are used and wet conditions are present. Conversely, the cases where the problem appears to be minimized are when: the bridge is a ballasted deck bridge, the bridge/approach location is well maintained and there is good drainage.

The second problem was the mechanism of determining the exact location and nature of the bump. There are many current detection methods used by companies to find the problem (Table 2).

Table 2

Current bump detection methods

Ranking	Topic
1	Visual inspection
2	Track geometry evaluation car
3	Complaints from user
4	Ridability (subjective)
5	Ridability (quantitative)
6	Ride quality accelerometers
7	Non-destructive tests (NDT)
Others	Measure track stiffness or use survey equipment

The most common is through visual inspection. Many bumps/dips are fairly shallow, however, so it may not be visually noticed until the problem is more severe. The track geometry evaluation car is another widely used method to measure and depict the rail profile. Since the car simulates the loading of an actual railcar on the track, the results are more accurate.

Complaints from the user and subjective ridability are similar to visual inspections. These types of methods provide companies the information that a bump exists and if it is relatively dangerous. The size and slope of the bump/dip, however, are not quantified.

To help quantify the effects of the bump, ride quality accelerometers are typically placed on a locomotive to measure the response of the car on the track. Locations with degradation, such as at

the bridge transition zone, will be detected with these instruments. Non-destructive tests are rarely used to detect the problem.

Research in transition areas has attracted a great deal of interest in recent years. This is evidenced by the fact that some of the most important European railway construction projects have been designed with a view to these critical areas.

In view of the above information, it is very important to minimize the impact that a change in resistance causes on a dynamic track-rolling interaction.

Traditionally the more complex type of transition in European countries, occurs in bridges due to construction system, drainage system and selection of appropriate backfill materials.

Compaction should be done with thin layers of soil and abutments will be designed to resist compaction forces. Drainage system is a critical issue in which a special attention has to be paid. A good drainage system prevents material erosion and hydrostatic pressures that leads to a decrease in loading capacity of the structure. Moreover, the presence of water inside the transition zone may induce undesirable variations of volume if it is frozen at extremely low temperatures.

Overall, the most usual constructive solutions in transition zones for railway tracks can be found in Gallego, Sánchez-Cambronero, & Rivas (2012):

- technical block: backfill behind the abutment either with granular material treated with cement or materials of a high compression level;
- transition slab: A concrete slab directly connected to the abutment of the bridge;

- use of geosynthetics to achieve an abutment reinforced backfill;
- introduction of horizontal layers on a track formation of different materials;
- treatment of the track bed and sub-ballast with cement (Pshinko, Petrenko, Tiutkin, Andrieiev, Hubar, Ihnatenko & Markul, 2019).

Spanish specialists Paixao & Fortunato (2009) suggest interesting options to adopt in transition zones in order to mitigate the undesirable effects associated with these critical points of the railway track. Amongst other, solutions analyzed by the authors are:

- use of internal rails fixed to the sleepers;
- use of longer and heavier sleepers placed closer together, in transition zones;
- use of more flexible and tighter track elements.

The aim of using internal rails in transition zones is basically to increase the global stiffness of the transition.

Regarding to the use of longer sleepers with a shorter distance, this allows a better distribution of the loads transmitted by the train, mitigating the effect of hanging sleepers.

Adoption of more flexible elements, allows to absorb dynamic excitations, reduces the propagation of deterioration phenomenon along the transition area and consequently reduces the maintenance costs. Nowadays this type of elements are common in track construction and they can be found under the rails, under the sleepers or on the base of sub-ballast layer.

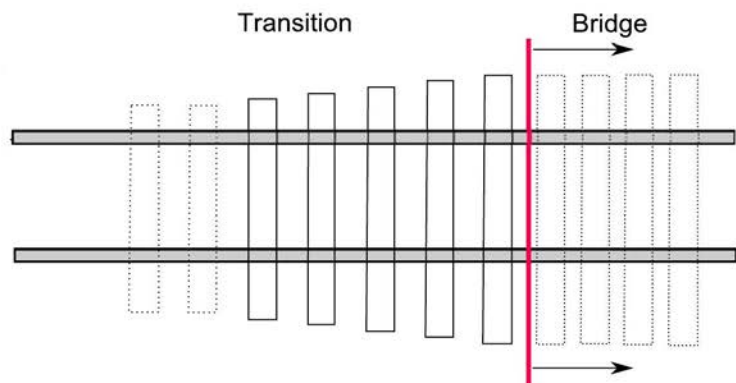


Fig. 1. Examples of solutions offered by Spanish engineers

The growing number of HSL, either already built or planned, implies a constant evolution of the transition zones morphology. This evolution follows a general trend in the most of European countries in which HSL exist. Some of the main construction features of the aforementioned trend are:

- Minimum length for the transition area of 20 m.
- Use of granular materials treated with cement in the backwalls of the abutments.
- Provision of drainage layers as a part of the backfill materials in the abutments.
- Treatment of different formation layers of the track with cement.

Regarding to complementary solutions for transition zones it is interesting to point out the state-of-the-art made by Ribeiro (2012), in which an interesting and a brief summary of the main complementary solutions that are used today in transition zones, is presented.

Since the development of high-speed lines is a promising area for railway development, let us consider the most commonly used solutions for transitional rigidity in Europe.

Configuration adopted by the Spanish Administrator ADIF is illustrated in Figure 2. In this case, the treated soil wedge presents an inclination 1:1. The top of this wedge is aligned with the bottom part of the sub-ballast layer and it has a length of 3 m. Between the treated soil wedge and the concrete structure, a vertical drainage system is placed.

The wedge of soil that does not have any treated material, its slope is 3:2 and it extends 20 m from the abutment location. The top of this layer is aligned with the bottom part of the formation layer.

The height of the technical blocks and embankments should be defined according to the characteristics of the foundation soils.

In the case of inadequate foundation soils, these should be removed and the base of the wedge should be properly treated.

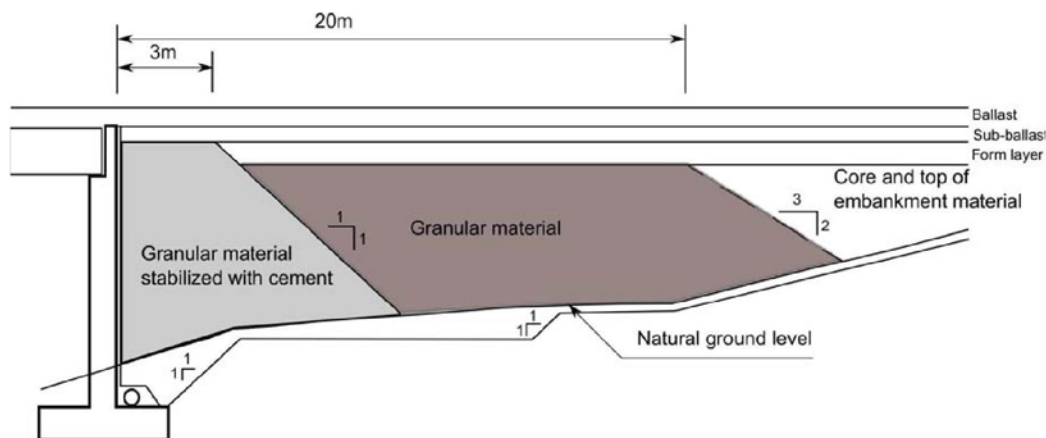


Fig. 2. Configuration designed by the Spanish administration ADIF

Figure 3 shows the solution adopted by the German Administrator. In this case, the solution is very similar to those provided by ADIF. The top of the treated soil wedge is placed approximately at 1 m from the down of the ballast layer and it has a length of at least 1.5 m.

The treated soil should have between 2.5 % and 3 % of cement content.

In this solution, the height of technical blocks is not directly specified but the foundation where they are placed on, should have deformability

characteristics equal or greater than 45 MPa in the second phase of the plate load test.

Solution adopted by the French Administrator is depicted in Figure 4. This configuration corresponds to the case in which there is an open abutment solution and a height of the technical block higher than 10 m. Similar solutions are adopted in those cases in which there is a close abutment configuration or a culvert.

In this case, the treated soil wedge exhibits a height of 3 m, whereas the height of the technical block in the transition zone.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

The width of this wedge will be of approximately 1 m, on the top, and it has an inclination of

1:1. Furthermore, the cement content in it is 3 %.

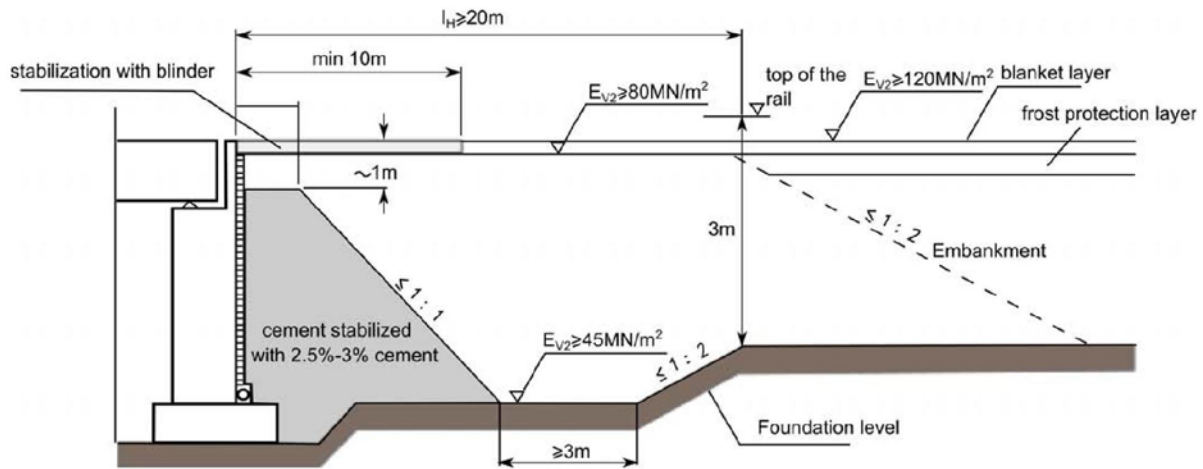


Fig. 3. Configuration designed by the German administration DB

The height of the wedge that does not have any treated soil and it is similar than the height of the technical block.

The length of this wedge, on the top part, is 5 m and it has an inclination 3:2 as it can be seen in Figure 4. As in the previous cases, the height of the

technical block is not directly obtained, and it depends on the conditions of the foundation soil. If the above mentioned height is higher than 10 m, a foundation layer of select and well compacted material should be adopted.

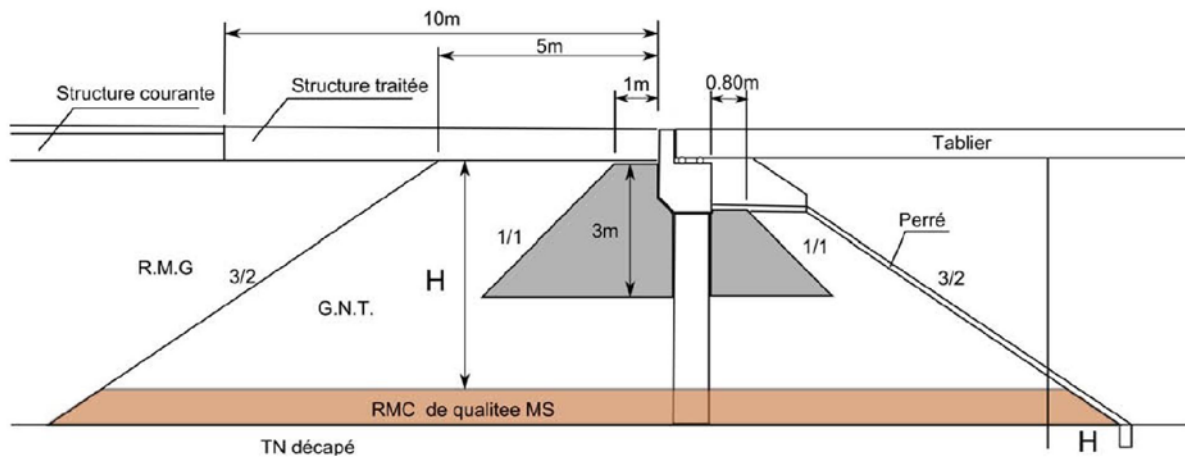


Fig. 4. Configuration designed by the French administration SNCF

Finally, Figure 5 shows the typical solution adopted in the Italian HSL. As in the French case, the height of the treated soil wedge of the technical block is 3 m for heights of the abutment higher than 4 m.

If the height of the abutment is less than 4m, the height of the treated soil wedge will be similar than the height of the abutment.

Geometry of the wedge is similar than that presented by SNCF. The height of non-treated material wedge is similar than the height of the treated material wedge and it has a slope of 2:1, as in the German solution.

The width of the technical block is similar than the height of the abutment but always exceeding 8 m, as depicted in Figure 5.

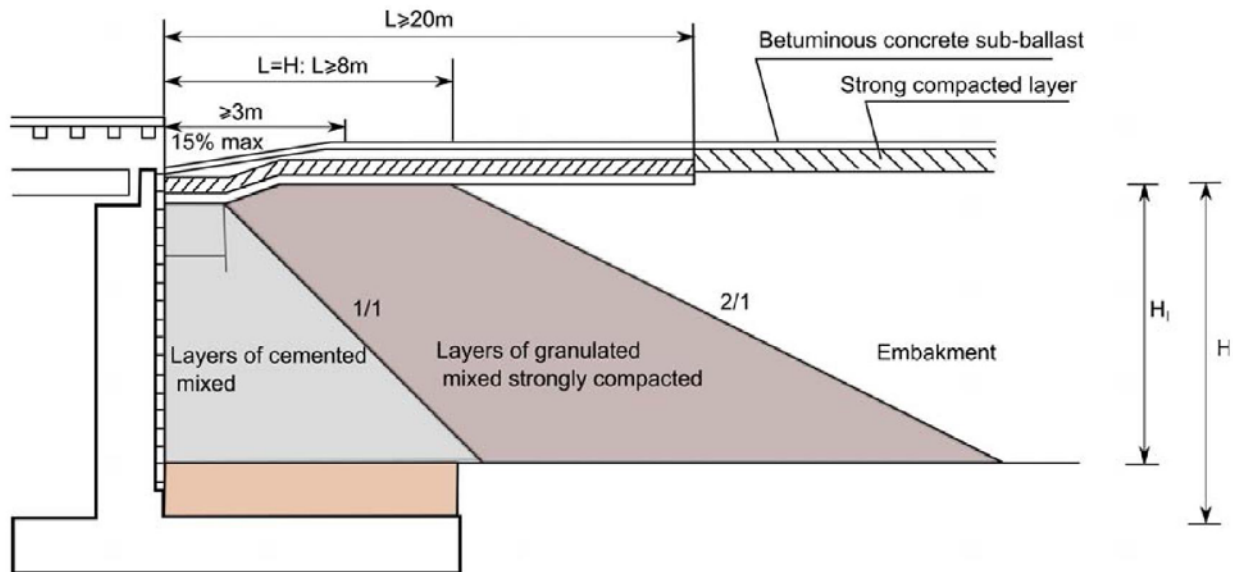


Fig. 5. Configuration designed by the Italian administration FS

Results

As a result of the analysis of international experience on the problems of areas with transient stiffness, it is possible to form an algorithm for identifying such areas on the Ukrainian railways and to develop ways of solving them (Solomka & Ovchinnikov, 2014).

An overview of the options for arrangement of the transition of abutment-embankment on the European railways allows to develop the optimal

model of reinforcement of the transitional areas on the high-speed railways of Ukraine (Marochka & Boboshko, 2018), correlating the proposed solutions with taking into account the features of soils, rolling stock and climatic conditions of the country (Petrenko, Tiutkin, Ihnatenko & Kovalchuk, 2018).

As a result of the analysis, an experimental model was developed for further testing in mathematical and experimental models (Figure 6).

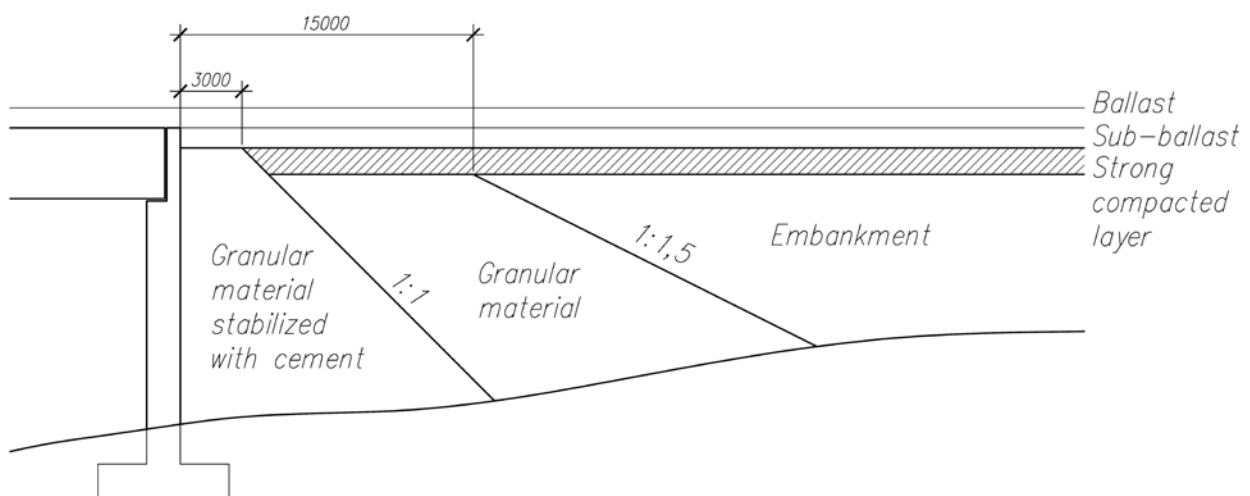


Fig. 6. An experimental model for testing

Originality and practical value

Scientific interest is that, despite the extensive experience of developed countries of the world, the Ukrainian norms still do not have a clear mechanism for identifying and characterizing problems of track geometry in sections with transient stiffness. Thus, studying the experience of more advanced countries in the field helps to consider the problem more clearly and standardize its definition.

If proposed model of reinforcement of transition stiffness areas will be confirmed it allows to reduce the cost of maintaining of the track and to solve the problems of the transitional areas at the stage of bridge construction, that is, before its immediate occurrence.

Conclusions

Based on the research, we can conclude that the problem of transition stiffness is equally relevant for both Ukraine and countries with more developed railway transport structures, and the problem is not new. Despite its high awareness and information base, Ukraine does not have a clear algorithm for solving it.

REFERENCES

- Briaud, J.-L., James, R. W., & Hoffman, S. B. (1997). *Settlement of bridge approaches (The bump at the end of the bridge)*. NCHRP, Synthesis of Highway Practice 234, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Dahlberg, T. (2001). *Some railroad settlement models – a critical review*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 215 (F), 289-300.
- Federal Railroad Administration (FRA) (1993). *Estimated railroad bridge population from the FRA bridge safety survey of 1992-93, bridge carrying railroad tracks*.
- Gallego, I., Sánchez-Cambronero, S., & Rivas, A. (2012). *Criteria for Improving the Embankment-Structure Transition Design in Railway Lines*. *cdn.intechopen.com*, 100(1).
- Marochka, V. V., & Boboshko, S. H. (2018). Development of technology of arranging areas with transitional stiffness index on approaches to railway bridges. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 13, 99-106.
- Nicks, J. E. (2009). *The bump at the end of the railway bridge*. Doctoral dissertation, Texas A&M University.
- Paixao, A., & Fortunato, E. (2009). *Novas solucoes de superestrutura de via para a alta velocidade*. ITC informacao cientifica-Laboratyrrio Nacional de Engenharia Civil.
- Petrenko, V. D., Tiutkin, O. L., Ihnatenko, D. Yu., & Kovalchuk, V. V. (2018). Comparative calculation of the stability of the landslide slope in the software complexes «OTKOS» and «LIRA-CAD 2017». *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 14, 101-109.
- Pshinko, O., Petrenko, V., Tiutkin, O., Andrieiev, V., Hubar, A., Ihnatenko, D., & Markul, R. (2019). *Comparative analysis of calculation results of supporting structure of soil-cement piles*. TRANSPORT MEANS 2019. Sustainability: Research and Solutions. Proceedings of 23rd International Scientific Conference, Part II, 820-828.
- Ribeiro, A. (2012). *Transições aterro-estrutura em linhas ferroviárias de alta velocidade : análise experimental e numérica*. Tese de doutoramento. Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto.
- Seo, J. B. (2003). *The bump at the end of the bridge: An investigation*. Doctoral dissertation, Texas A&M University. Texas A&M University.
- Solomka, V. I., & Ovchinnikov, P. A. (2014). World experience of design of bridges and their operating conditions on railways with a high speed of trains. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 6, 147-153.
- Sundquist, H., (2000). *Byggande, drift och underhåll av järnvägsbanor*. Stockholm : Kungl. Tekniska högskolan, Institutionen för byggkonstruktion, Trita-BKN. Rapport, 1103-4289.
- Tejada A. de Miguel (2015). *Analysis of the problems associated with dynamic interaction between train, track and structure at transition zones*. Doctoral dissertation, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM).

В. В. МАРОЧКА^{1*}, С. Г. БОБОШКО²

^{1*} Кафедра «Мости та тунелі», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, ел. пошта markay905@gmail.com, ORCID 0000-0001-8856-5708

²Кафедра «Мости та тунелі», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, ел. пошта stepanboboshko@gmail.com, ORCID 0000-0002-7612-0696

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ДІЛЯНОК З ПЕРЕХІДНИМ ПОКАЗНИКОМ ЖОРСТКОСТІ У СВІТОВОМУ МОСТОБУДІВНИЦТВІ

Мета. Провести аналіз проблеми ділянок з перехідним показником жорсткості на підходах до мостів на основі досвіду Європейської та Американської сфери мостобудування. З'ясувати основні причини виникнення та методи виявлення дефектів колії в зонах перехідної жорсткості. Запропонувати піддослідну модель улаштування підсилених ділянок з перехідною жорсткістю на основі досвіду розвинених країн Європи. **Методика.** Збір даних щодо причин та характеру виникнення передмостових ям на підходах до мостів на основі досвіду спеціалістів з проектування, будування та експлуатації залізничних та автодорожніх мостів. Аналіз методів улаштування перехідних ділянок на підходах до мостів європейськими країнами. **Результати.** Виконаний аналіз літературних джерел розвинених країн світу щодо проблеми виникнення та методів виявлення передмостових ям на ділянках з перехідним показником жорсткості на підходах до мостів. Зібрані результати щодо шляхів виявлення проблем на ділянках з перехідним показником жорсткості та методів їх вирішення. Запропонована модель для математичних та експериментальних досліджень. **Наукова новизна.** Наукова зацікавленість полягає в тому, що не дивлячись на об'ємний досвід розвинених країн світу, в українських нормах досі немає чітко прописаного механізму виявлення та охарактеризування проблем геометрії колії на ділянках з перехідним показником жорсткості. Отже, вивчення досвіду більш розвинених в даній галузі країн допомагає розглянути проблему більш чітко та стандартизувати її визначення. **Практична значимість.** Запропонована модель підсилення ділянок з перехідним показником жорсткості дозволяє за умови підтвердження її доцільності зменшити витрати на утримання колії та вирішувати проблеми перехідних ділянок на етапі будівництва мосту, тобто до її безпосереднього виникнення.

Ключові слова: міст; перехідна жорсткість; підходи; швидкісний рух; передмостова яма

В. В. МАРОЧКА^{1*}, С. Г. БОБОШКО²

^{1*} Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, эл. почта markay905@gmail.com, ORCID 0000-0001-8856-5708

²Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 83 10, эл. почта stepanboboshko@gmail.com, ORCID 0000-0002-7612-0696

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ УЧАСТКОВ С ПЕРЕХОДНЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ЖЕСТКОСТИ В МИРОВОМ МОСТОСТРОЕНИИ

Цель. Провести анализ проблемы участков с переходным показателем жесткости на подходах к мостам на основе опыта Европейской и Американской сферы мостостроения. Выяснить основные причины возникновения и методы выявления дефектов пути в зонах переходной жесткости. Предложить подопытную модель устройства усиленных участков с переходной жесткостью на основе опыта развитых стран Европы.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Методика. Сбор данных о причинах и характере возникновения ям на подходах к мостам на основе опыта специалистов по проектированию, строительству и эксплуатации железнодорожных и автодорожных мостов. Анализ методов устройства переходных участков на подходах к мостам европейскими странами. **Результаты.** Выполненный анализ литературных источников развитых стран мира по проблеме возникновения и методам выявления ям на участках с переходным показателем жесткости на подходах к мостам. Собранные результаты относительно путей выявления проблем на участках с переходным показателем жесткости и методов их решения. Предложена модель для математических и экспериментальных исследований. **Научная новизна.** Научная заинтересованность заключается в том, что несмотря на объемный опыт развитых стран мира, в украинских нормах до сих пор нет четко прописанного механизма выявления и характеристики проблем геометрии пути на участках с переходным показателем жесткости. Таким образом, изучение опыта более развитых в данной отрасли стран помогает рассмотреть проблему более четко и стандартизировать ее определение. **Практическая значимость.** Предложенная модель усиления участков с переходным показателем жесткости позволяет при условии подтверждения ее целесообразности уменьшить расходы на содержание пути и решать проблемы переходных участков на этапе строительства моста, то есть до их непосредственного возникновения.

Ключевые слова: мост; переходная жесткость; подходы к мостам; скоростное движение; предмостовая яма

REFERENCES

- Briaud, J.-L., James, R. W., & Hoffman, S. B. (1997). *Settlement of bridge approaches (The bump at the end of the bridge)*. NCHRP, Synthesis of Highway Practice 234, Transportation Research Board, Washington, D.C. (in English)
- Dahlberg, T. (2001). *Some railroad settlement models – a critical review*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 215 (F), 289-300. (in English)
- Federal Railroad Administration (FRA) (1993). *Estimated railroad bridge population from the FRA bridge safety survey of 1992-93, bridge carrying railroad tracks*. (in English)
- Gallego, I., Sánchez-Cambronero, S., & Rivas, A. (2012). *Criteria for Improving the Embankment-Structure Transition Design in Railway Lines*. *cdn.intechopen.com*, 100(1). (in English)
- Marochka, V. V., & Boboshko, S. H. (2018). Development of technology of arranging areas with transitional stiffness index on approaches to railway bridges. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 13, 99-106. (in English)
- Nicks, J. E. (2009). *The bump at the end of the railway bridge*. Doctoral dissertation, Texas A&M University. (in English)
- Paixao, A., & Fortunato, E. (2009). *Novas solucoes de superstrutura de via para a alta velocidade*. ITC informacao cientifica-Laboratyrrio Nacional de Engenharia Civil. (in English)
- Petrenko, V. D., Tiutkin, O. L., Ihnatenko, D. Yu., & Kovalchuk, V. V. (2018). Comparative calculation of the stability of the landslide slope in the software complexes «OTKOS» and «LIRA-CAD 2017». *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 14, 101-109. (in English)
- Pshinko, O., Petrenko, V., Tiutkin, O., Andrieiev, V., Hubar, A., Ihnatenko, D., & Markul, R. (2019). *Comparative analysis of calculation results of supporting structure of soil-cement piles*. TRANSPORT MEANS 2019. Sustainability: Research and Solutions. Proceedings of 23rd International Scientific Conference, Part II, 820-828. (in English)
- Ribeiro, A. (2012). *Transições aterro-estrutura em linhas ferroviárias de alta velocidade : análise experimental e numérica*. Tese de doutoramento. Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. (in English)
- Seo, J. B. (2003). *The bump at the end of the bridge: An investigation*. Doctoral dissertation, Texas A&M University. Texas A&M University. (in English)

Solomka, V. I., & Ovchinnikov, P. A. (2014). World experience of design of bridges and their operating conditions on railways with a high speed of trains. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 6, 147-153. (in English) (in English)

Sundquist, H., (2000). *Byggande, drift och underhåll av järnvägsbanor*. Stockholm : Kungl. Tekniska högskolan, Institutionen för byggkonstruktion, Trita-BKN. Rapport, 1103-4289. (in English)

Tejada A. de Miguel (2015). *Analysis of the problems associated with dynamic interaction between train, track and structure at transition zones*. Doctoral dissertation, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM). (in English)

Надійшла до редколегії 16.10.2019

Прийнята до друку 05.11.2019

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 625.11:[625.7/8:528]

О. М. ПШІНЬКО¹, А. В. РАДКЕВИЧ², О. В. ГРОМОВА³,
А. В. КРАСНЮК⁴, А. С. ЩЕРБАК^{5*}, Н. П. БОЧАРОВА⁶

¹ Кафедра «Архітектурне проектування, землеустрій та будівельні матеріали», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, ел. пошта Phinko@mail.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

² Кафедра «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 02, ел. пошта anatolij.radkevich@gmail.com, ORCID 0000-0001-6325-8517

³ Кафедра «Архітектурне проектування, землеустрій та будівельні матеріали», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, ел. пошта elenagromova@gmail.com, ORCID 0000-0002-5149-4165

⁴ Кафедра «Графіка», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 59, ел. пошта krasnyuk@mail.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1400-9992

^{5*} Кафедра «Графіка», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (067) 586 45 74, ел. пошта pro-f@ukr.net, ORCID 0000-0003-1340-0284

⁶ Кафедра «Графіка», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (095) 024 63 48, ел. пошта bocharovanp@gmail.com, ORCID 0000-0002-6869-8826

СТРАТЕГІЯ ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ ТА БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ І ЗАЛІЗНИЦЬ

Мета. Розглянути стратегію землеустрою в розрізі визначення меж земляних робіт при проектуванні та будівництві автомобільних доріг та залізниць, на ділянках, що потребують створення водовідвідних конструкцій. Дослідити методику проектування в проекціях з числовими позначками. Довести простоту та зручність вищевказаного методу. **Методика.** З використанням методу проекцій з числовими позначками розглядаються питання проектування і будівництва земляного полотна та водовідвідних споруд. **Результати.** При проектуванні автомобільних шляхів та залізниць на ділянках де можливе перезволоження дорожнього полотна поверхневими водами (на ділянках виїмок, на ділянках з поздовжнім похилом більш ніж 3 %, у місцях віражів та вертикальних кривих у поздовжньому профілі, в місцях зустрічних ухилів) необхідно передбачити систему поверхневого водовідведення. Наведено приклад створення водовідвідних кюветів. **Наукова новизна.** Встановлені простота та зручність використання проекцій з числовими позначками при проектуванні доріг. Детально розглянуто спосіб побудови водовідвідних кюветів з відводом їх від брівки земляного полотна, що в літературі не достатньо розглянуто. **Практична значимість.** При проектуванні та будівництві доріг основним чинником, що впливає на якість будівельних робіт є точність та прорахованість геодезичних вишукувань і проектних робіт. Тому важливим є вивчення питання водовідведення поверхневих вод від земляного полотна, адже технічні рішення прийняті в проекті повинні забезпечувати як безпеку руху і високі транспортно-експлуатаційні показники дороги, так і довговічність інженерних споруд при мінімальному рівні матеріальних і фінансових витрат.

Ключові слова: землеустрій; інженерно-геодезичні роботи; числові відмітки; водовідвід; залізниця

Вступ

При проектуванні та будівництві доріг головним чинником, що впливає на якість будівельних робіт є точність і прорахованість геодезичних вишукувань, що дають нам повну та достовірну інформацію про конкретну ділянку місцевості, та визначення на їх основі оптимальної

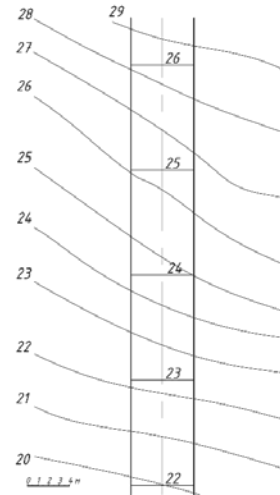
траєкторії прокладання траси (ДБН А.2.1-1-2014, 2014; Kuhlmann, Schwieger, Wieser, & Niemeier, 2014). Не менш важливим є і якість виконання проектних робіт під час землеустрою (Земельний кодекс України, 2001; Про землеустрій, 2003). Адже технічні рішення прийняті в проекті повинні забезпечувати в першу чергу безпеку руху, високі транспортно-

Проектування автомобільних доріг та залізниць виконують використовуючи метод проєкцій з числовими позначками. Цей метод, що полягає в проєктуванні об'єкта на одну площину з визначенням висотних позначок у вигляді числових відміток, дає можливість відображати незакономірну форму земної поверхні значної площі з невеликим (порівняно з площею) перепадом по висоті (Кривцов, & Дєєв, 2013; Михайленко, Євстіфєєв, Ковальов, & Кащенко, 2013).

Розглянути питання землеустрою в розрізі визначення меж земляних робіт при проектуванні автомобільних доріг та залізниць, на ділянках, що потребують створення водовідвідних конструкцій. Дослідити методику проектування в проекціях з числовими позначками. Продемонструвати простоту та зручність вищевказаного методу.

Визначення меж земляних робіт є важливою складовою в дорожньому проектуванні. Межі земляних робіт, крім графічних матеріалів, необхідні для визначення обсягів робіт при будівництві. Межею земляних робіт є лінія перетину укосів виїмок та насипів з топографічною пове-

- ухил апарелі – 1 %, заданий графічно;
- ухил насипу – 1:2;
- ухил виїмки – 1:1,5;
- глибина водовідвідних кюветів – 0,5 м;
- ширина дна кюветів – 1,0 м (рис. 1).



Послідовність виконання робіт залежить від способу визначення лінії нульових робіт. Дослідженнями встановлено, що спочатку необхідно знайти лінію нульових робіт використовуючи спосіб допоміжних січних площин загального положення, що слід провести через брівки дороги (рис. 2). Горизонталі допоміжних площин перетинають однойменні горизонталі топографічної поверхні. В наведеному прикладі, це горизонталі з позначками 23 та 24, лінії їх перетину – 1-2 і 3-4, а досліджені точки лінії нульових робіт – N та M (Кривцов, & Деев, 2013b; Михайленко, Євстіфеев, Ковальов, & Кашенко, 2013).

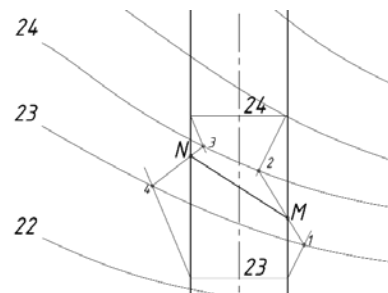


Рис. 2. Визначення лінії нульових робіт

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Другий спосіб полягає в тому, що лінія нульових робіт визначається як лінія перетину земляного полотна з укосами виїмки та насипу. Отже, в цьому випадку спочатку слід задати масштаби ухилів площин насипу та виїмки (рис. 3). Щоб побудувати горизонталі насипу потрібно вписати конуси висотою 1 м, радіусом: $R=1:i_n=1:1/2=2$ м (рис. 3).

Далі будуються горизонталі укосів та масштаб ухилу насипу. Точки перетину межі насипу з брівками дорожнього полотна визначають положення лінії нульових робіт N-M. Точки перетину однойменних горизонталей насипу та топографічної поверхні визначають лінію підошви насипу.

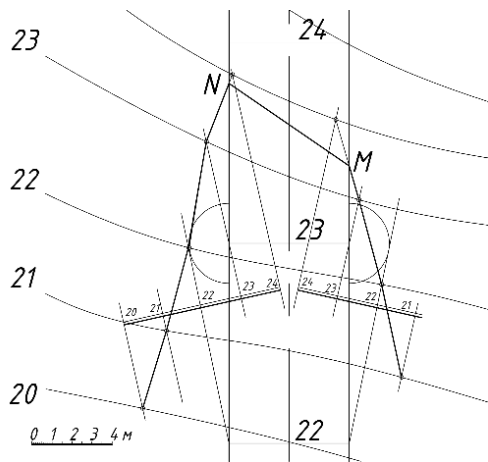


Рис. 3. Визначення меж земляних робіт укосів насипу

При проектуванні виїмок необхідно передбачати систему поверхневого водовідводу. Розмір і форма водовідвідних споруд залежить від класу дороги, кількості опадів, типу ґрунтів та інших характеристик і розраховується згідно з ДБН В.1.1-25-2009 (2010) та ДБН В 2.5-75:2013 (2013).

Результати

Для більшої наочності можна побудувати поперечний переріз земляного полотна по 26 горизонталі апарелі (рис. 4). По дну кюветів слід провести лінії вздовж апарелі. Ухил кюветів дорівнює ухилу дороги, але висотні позначки кюветів на 0,5 м менші за позначки апарелі. Потрібно проградуювати кювети. Для побудови масштабів ухилу виїмки, вбудовують конус, висотою 1 м, радіусом: $R=1:i_v=1:1/1,5=1,5$ м (рис. 4).

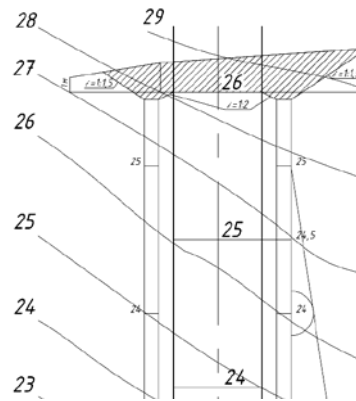


Рис. 4. Побудова та градування кюветів

Далі будують інші горизонталі та масштаби ухилів виїмки. Визначають межі земляних робіт через точки перетину горизонталей виїмки та топографічної поверхні (рис. 5).

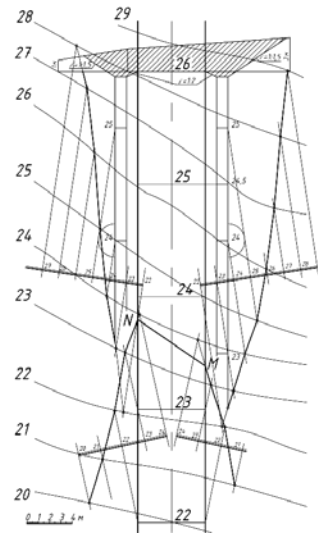


Рис. 5. Визначення меж земляних робіт виїмки

Потрібно визначити лінії перетину дна кюветів з поверхнею землі (рис. 6).

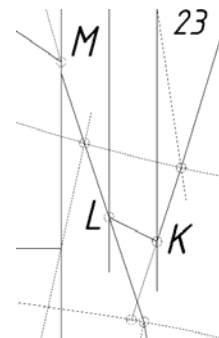


Рис. 6. Побудова лінії перетину дна кювету з поверхнею землі

Зі сторони дороги лінія нульових робіт бере початок в місці перетину дна кювету з лінією підшви насипу (т. L). Зі сторони виїмки лінію нульових робіт обмежує точка перетину дна кювету з межею виїмки (т. K). Кінцевий результат можемо бачити на рис. 7.

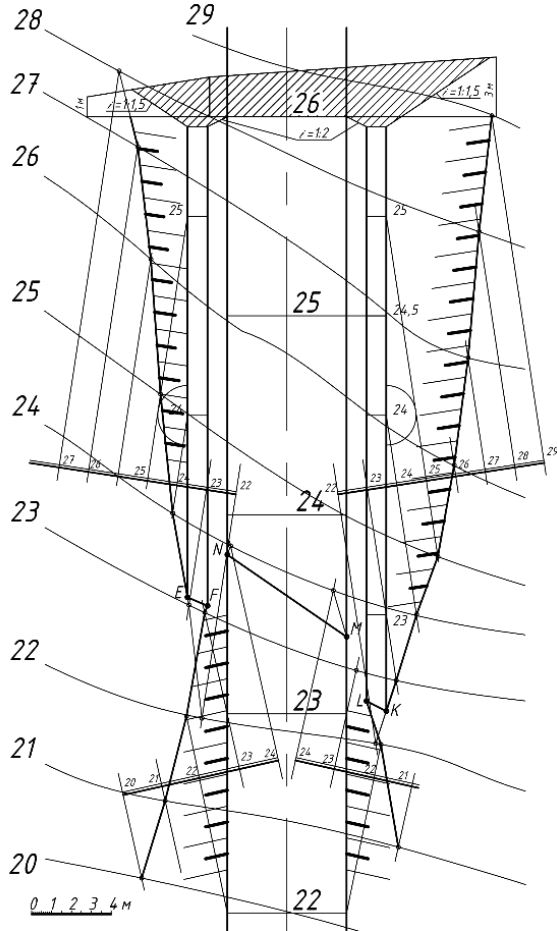


Рис. 7. Загальний вигляд меж земляних робіт

Якщо існує ризик розмиву підшви насипу поверхневими водами з водовідвідних кюветів, їх відводять вбік від земляного полотна. Для цього спочатку на плані будують плавну криву по осі кювета (рис. 8), визначають точки перетину осі з горизонталями поверхні землі, визначають висотні позначки дна кювету в місці перетину з горизонталями поверхні (G 22,73 та Z 22,25). Далі для визначення позначок виходу дна кюветів будують профіль топографічної поверхні та осі кювета. На профілі визначають точку K₀, що і дає положення лінії нульових робіт для дна кювета. Розраховують висотну позначку точки K – 22,47 м. Лінія виходу дна кювета пройде за напрямком LK від точки 5 до точки 6 (рис. 8).

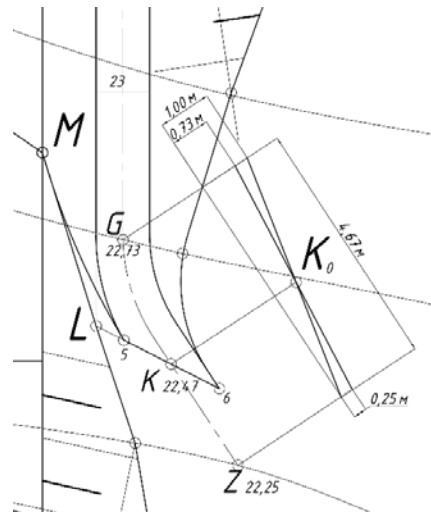


Рис. 8. Побудова водовідводу кювету від підшви насипу

Аналогічні побудови виконують і для іншого кювета (рис. 9).

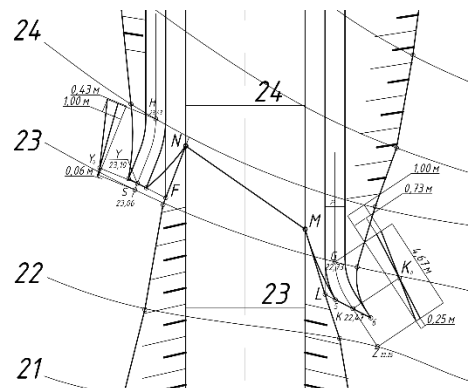


Рис. 9. Межі земляних робіт в місцях виходу кюветів у разі їх відведення від підшви насипу

Наукова новизна та практична значимість

Встановлені простота та зручність використання проєкцій з числовими позначками при проєктуванні автомобільних доріг та залізниць. Детально розглянуто спосіб побудови водовідвідних кюветів з відводом їх від брівки земляного полотна, що в літературі не достатньо розглянуто.

Висновки

1. Встановлено, що водовідвідні споруди, які є невід'ємною складовою автомобільних доріг та залізниць необхідно будувати на ділянках

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

доріг в межах виїмок, зустрічних ухилів, виразів, тощо.

2. Доведено, що найбільш зручним для проектування як доріг, так і водовідвідних споруд є спосіб проєкцій з числовими позначками, простота та зручність якого очевидна.

3. Дослідженнями встановлено, що доцільно включити тему проектування водовідводів в проєкціях з числовими позначками в курс інженерної графіки для студентів будівельних спеціальностей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Kuhlmann, H., Schwieger, V., Wieser, A., & Niemeier, W. (2014). Engineering Geodesy – Definition and Core Competencies. *Journal of Applied Geodesy*, 8(4), 327-334.
- ДБН А.2.1-1-2014 (2014). *Інженерні вишукування для будівництва*. Київ: Мінрегіонбуд України.
- ДБН В.1.1-25-2009 (2010). *Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення*. Київ: Мінрегіонбуд України.
- ДБН В.2.3-19:2008 (2008). *Залізничні колії 1520 мм*.

Загальні вимоги до проектування. Київ: Мінрегіонбуд України.

ДБН В.2.3-4:2015 (2019). *Автомобільні дороги. Частина I. Проектування*. Київ: Мінрегіонбуд України.

ДБН В.2.5-75:2013 (2013). *Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування*. Київ: Мінрегіонбуд України.

Земельний кодекс України. Закон України № 2768 від 25.10.2001 р. (2001).

Кривцов, В., & Деєв, С. (2013а). Застосування теоретичних положень та конкретних прикладів при викладанні спецрозділу «Проекції з числовими позначками». *Нова педагогічна думка*, № 1.1., 173.

Кривцов, В., & Деєв, С. (2013б). Уміння визначати точки нульових робіт – складова успішної підготовки фахівця водогосподарського профілю. *Нова педагогічна думка*, № 1.1., 178.

Михайленко, В. Є., Євстіфєєв, М. Ф., Ковальов, С. М., & Кащенко, О. В. (2013). *Нарисна геометрія. Підручник*. Київ: Слово.

Про землеустрій. Закон України № 858 від 22.05.2003 р. (2003).

А. Н. ПШИНЬКО¹, А. В. РАДКЕВИЧ², А. В. ГРОМОВА³,
А. В. КРАСНЮК⁴, А. С. ЩЕРБАК^{5*}, Н. П. БОЧАРОВА⁶

¹ Кафедра «Архитектурное проектирование, землеустройство и строительные материалы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, эл. почта Phinko@mail.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598-2970

² Кафедра «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 5102, эл. почта anatolij.radkevich@gmail.com ORCID 0000-0001-6325-8517

³ Кафедра «Архитектурное проектирование, землеустройство и строительные материалы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 46, эл. почта elenagomova@gmail.com, ORCID 0000-0002-5149-4165

⁴ Кафедра «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373-15-59 эл. почта krasnyuk@mail.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1400-9992

^{5*} Кафедра «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. 38 (067) 586 45 74, эл. почта prof@ukr.net, ORCID 0000-0003-1340-0284

⁶ Кафедра «Графика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (095) 024 63 48, эл. почта bocharovanp@gmail.com, ORCID 0000-0002-6869-8826

СТРАТЕГИЯ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Цель. Рассмотреть стратегию землеустройства в разрезе определения границ земляных работ при проектировании автомобильных и железных дорог, на участках, требующих создания водоотводных конструкций. Исследовать методику проектирования в проєкціях з числовими отметками. Показать простоту и удобство вышеуказанного метода. **Методика.** С использованием метода проєкцій з числовими отметками рассматриваются вопросы проектирования земляного полотна и водоотводных сооружений. **Результаты.** При про-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ектировании автомобильных и железных дорог на участках где возможно переувлажнение дорожного полотна поверхностными водами (на участках выемок, на участках с продольным уклоном более 3 %, в местах виражей и вертикальных кривых в продольном профиле, в местах встречных уклонов) необходимо предусматривать систему поверхностного водоотвода. Приведен пример создания водоотводных кюветов. **Научная новизна.** Установлены простота и удобство использования проекций с числовыми отметками при проектировании дорог. Детально рассмотрен способ построения водоотводных кюветов с отводом их от бровки земляного полотна, что в литературе недостаточно рассмотрено. **Практическая значимость.** При проектировании и строительстве дорог первыми факторами, влияющими на конечный результат, является качество геодезических изысканий и проектных работ. Поэтому важным является изучение вопроса водоотведения поверхностных вод от земляного полотна, ведь технические решения, принятые в проекте должны обеспечивать как безопасность движения и высокие транспортно-эксплуатационные показатели дороги, так и долговечность инженерных сооружений при минимальном уровне материальных и финансовых затрат.

Ключевые слова: землеустройство; инженерно-геодезические работы; числовые отметки, водоотвод; железная дорога

O. M. PSHINKO¹, A. V. RADKEVICH², O. V. GROMOVA³,
A. V. KRASNYUK⁴, A. S. SHCHERBAK^{5*}, N. P. BOCHAROVA⁶

¹ Department «Architectural design, land management and building materials», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan str. Lazaryan, 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 46, e-mail Pshinko@mail.diit.edu.ua, ORCID 0000-0002-1598 -2970

² Department «Construction and geodesy», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, str. Lazaryan, 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 02, e-mail anatoij.radkevich@gmail.com, ORCID 0000-0001-6325-8517

³ Department « Architectural design, land management and building materials», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, str. Lazaryan, 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 46, e-mail elenagromova@gmail.com, ORCID 0000-0002-5149-4165

⁴ Department «Graphics», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, str. Lazaryan, 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel.+38 (056)373-15-38, e-mail krasnyuk@mail.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2354-7765

^{5*} Department «Graphics», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, str. Lazaryan, 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel.+ 38 (067) 586 45 74, e-mail pro-f@ukr.net, ORCID 0000-0003-1340-0284

⁶ Department «Graphics», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, str. Lazaryan, 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. + 38 (095) 024 63 48, e-mail bocharovanp@gmail.com, ORCID 0000-0002-6869-8826

STRATEGY OF LAND MANAGEMENT AND GEODESIC SURVEYS DURING DESIGN AND CONSTRUCTION OF HIGHWAYS AND RAILWAYS

Purpose. To consider the strategy of land management in the context of determining the boundaries of earthworks during the projecting of highways and railways, in areas requiring the construction of water drain constructions. Explore design techniques in numerical projections. Prove the simplicity and convenience of the above method. **Methodology.** Using the method of projections with numerical marks, the issues of designing the earth's canvas and drainage facilities are considered. **Findings.** In the design of roads and railways in areas where it is possible to cross the road surface with superficial waters (in sections of the wells, in areas with a longitudinal slope of more than 3 %, in the places of turns and concave vertical curves in the longitudinal profile, in places of opposite slopes) it is necessary to predict – a system of surface drainage. An example of the creation of drainage cuvettes is given. **Originality.** The simplicity and ease of use of projections with numerical marks in designing roads is established. The method of construction of drainage cuvettes with removal of them from the eaves of the earth canvas is considered in detail, which is not sufficiently considered in the literature. **Practical value.** When designing and building roads, the first factors influencing the final result are the quality of geodetic surveys and design work. Therefore, it is important to study the issue of drainage of surface water from the earth's canvas, because the technical solutions adopted in the project should ensure both the safety of traffic and high transport and road performance indicators, as well as the durability of engineering structures with a minimum level of material and financial costs.

Keywords: land management; engineering and geodetic works; numerical markings; drainage; railway

REFERENCES

- Kuhlmann, H., Schwieger, V., Wieser, A., & Niemeier, W. (2014). Engineering Geodesy – Definition and Core Competencies. *Journal of Applied Geodesy*, 8(4), 327-334. (in English)
- DBN A.2.1-1-2014 (2014). *Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- DBN V.1.1-25-2009 (2010). *Inzhenernyj zakhyst terytorij ta sporud vid pidtoplennja ta zatoplennja*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- DBN V.2.3-19:2008 (2008). *Zaliznychni kolii 1520 mm. Zahalni vymohy do proektuvannia*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- DBN V.2.3-4:2015 (2019). *Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- DBN V.2.5-75:2013 (2013). *Kanalizatsiia. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennia proektuvannia*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (in Ukrainian)
- Zemelnyi kodeks Ukrainy. Zakon Ukrainy № 2768 vid 25.10.2001 r. (2001). (in Ukrainian)
- Krivtsov, V., & Dieiev, S. (2013a). Zastosuvannia teoretychnykh polozhen ta konkretnykh prykladiv pry vykladanni spetsrozdilu «Proektsii z chyslovymy poznachkami». *Nova pedahohichna dumka*, 1.1., 173. (in Ukrainian)
- Krivtsov, V., & Dieiev, S. (2013b). Uminnia vyznachaty tochky nulovykh robit – skladova uspishnoi pidhotovky fakhivtsia vodohospodarskoho profilu. *Nova pedahohichna dumka*, 1.1., 178. (in Ukrainian)
- Mykhailenko, V. Ye., Yevstifeiev, M. F., Kovalov, S. M., & Kashchenko, O. V. (2013). *Narysna heometriia. Pidruchnyk*. Kyiv: Slovo. (in Ukrainian)
- Pro zemleustrii. Zakon Ukrainy № 858 vid 22.05.2003 r. (2003). (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 07.10.2019

Прийнята до друку 29.10.2019

◆ ◆ ◆ ◆ ◆
МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Збірник наукових праць
Дніпровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Випуск 16
(українською, англійською та російською мовами)

Відповідальні за випуск – О. Л. Тютюкін, Н. К. Петросян
Комп'ютерне верстання – В. Л. Рикіна
Статті в збірнику публікуються в авторській редакції

Формат 60×84 ¹/₈. Ум. др. арк. 6,67. Тираж 50 пр. Зам. № 10-дбж.

Видавництво ПП «Крос-Принт», 49047, м. Дніпро, пров. Верстатобудівельний, 3/4
Свідоцтво ДК №2804 від 26.03.2007 р.
Віддруковано: ФОП Удовиченко О. М., 49080, м. Дніпро, вул. Донецьке шосе, 15/531
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру ДК №3660 від 28.12.2009 р.

◆ ◆ ◆ ◆ ◆
BRIDGES AND TUNNELS: THEORY, RESEARCH, PRACTICE

Collection of scientific works
of Dnipro National University
of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan
Issue 16
(in Ukrainian, English and Russian languages)

Responsible for issue – Oleksii Tiutkin, Nataliia Petrosian
Desktop publishing – Vera Rykina
Articles in the collection are printed in the author's wording

Format 60×84 ¹/₈. Conventional printed sheet 6,67. Circulation 50. Order no. 10-dbg.

Publishing house «Kros-Prynt», 49047, Dnipro, Verstatobudivelnjnyj Lane, 3/4
Certificate ДК no. 2804 of 26.03.2007.
Printed: SP Udovychenko O. M., 49080, Dnipro, Donecjkje shose Str., 15/531
Certificate of making a publishing business subject
to the State Register of Civil Code ДК no. 3660 of 28.12.2009.

◆ ◆ ◆ ◆ ◆
МОСТЫ И ТОННЕЛИ: ТЕОРИЯ, ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРАКТИКА

Сборник научных трудов
Днепровского национального университета
железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна
Выпуск 16
(на украинском, английском и русском языках)

Ответственные за выпуск – А. Л. Тютюкин, Н. К. Петросян
Компьютерная верстка – В. Л. Рыкина
Статьи в сборнике публикуются в авторской редакции

Формат 60×84 ¹/₈. Усл. печ. лист 6,67. Тираж 50 экз. Заказ № 10-дбж.

Издательство ПП «Крос-Принт», 49047, г. Днепр, пер. Станкостроительный, 3/4
Свидетельство ДК №2804 от 26.03.2007 г.
Отпечатано: ФЛП Удовиченко А. Н., 49080, г. Днепр, ул. Донецкое шоссе, 15/531
Свидетельство о внесении субъекта издательского дела
в Государственный реестр ДК №3660 от 28.12.2009 г.

