

КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ І АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ АРМОВАНОГО ГРУНТУ НАВКОЛО ЗБІРНОЇ МЕТАЛЕВОЇ ГОФРОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПІД ЗАЛІЗНИЧНИМИ КОЛІЯМИ

Юдін В.О.¹, Безбабічева О.І.¹, Титок В.П.²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²ТОВ «ЛІРА ПРОЕКТ»

Анотація. Одним із швидких і порівняно недорогих способів відновлення залізобетонних мостових конструкцій є заміна їх на конструкції тунельного або аркового типу із збірних металевих гофрованих листів (ЗМГК). Методи розрахунків мостів із гофрованих металевих конструкцій у поєднанні з армогрунтовими обіймами практично відсутні. Метою статті є створення стандартної розрахункової моделі конструкції в програмному комплексі ЛІРА-САПР для подальшого вивчення поведінки мостових конструкцій із ЗМГК із застосуванням армування ґрунту та без.

Ключові слова: збірна металева гофрована конструкція, армований ґрунт, чисельний аналіз, метод скінченних елементів, довговічність інфраструктури.

Вступ

Одним із найважливіших аспектів розвитку держави у воєнний та повоєнний час є раціональне використання коштів. Застосування сучасних матеріалів, здатних зменшити терміни відновлення інфраструктурних об'єктів і скоротити їх вартість, сприяє реалізації цього завдання.

Збірні металеві гофровані конструкції (ЗМГК) забезпечують заміну залізобетонних конструкцій у всьому світі, водночас заощаджуючи час і кошти на будівництво мостів та шляхопроводів. У сучасній Україні будівництво штучних споруд із застосуванням ЗМГК розпочалося не так давно, у середині 90-х рр.

Методи розрахунків та технології будівництва цих споруд постійно вдосконалюються. Компанії-виробники таких конструкцій розташовані в різних частинах світу й пропонують свої методи та рішення для будівництва тієї чи іншої штучної споруди. Тенденція останніх років полягає в технологіях, коли під час зведення насипів навколо гофрованих конструкцій розгортаються ділянки армогрунтових обійм.

Зараз здебільшого застосовується метод пошарового відсипання насипу з ущільненням, який не до кінця бере до уваги майбутні експлуатаційні властивості об'єкта. Недостатність ущільнення шарів, відсутність розділових прошарків різних фракцій обійми, перевищення відсипання насипу з одного боку понад 0,5 м щодо іншого боку відсипки (що часто призводить до перекосів конструкції), а також відсутність можливості конт-

ролю моменту затягування болтів у процесі експлуатації внаслідок їх неправильної установки є основними проблемами під час будівництва ЗМГК.

Не останнім питанням залишається вплив людського чинника. Менша кількість елементів, порівняно із залізобетонними спорудами, значно збільшує вплив кожного з них, що згодом може негативно позначитися на довговічності майбутньої будови.

Аналіз публікацій

Розвиток сучасних технологій у будівництві транспортної інфраструктури спрямований на підвищення довговічності, економічної ефективності та швидкості зведення споруд. У світовій практиці збірні металеві гофровані конструкції (ЗМГК) широко застосовуються для заміни традиційних залізобетонних мостів і шляхопроводів, що дає змогу значно скоротити витрати на будівництво та обслуговування інфраструктурних об'єктів.

Відаль вперше надав основи концепції армованого ґрунту [1] й запропонував технологію *Reinforced Earth*. Подальші дослідження [2–6] підтвердили ефективність армування основ дорожніх конструкцій, укосів транспортних споруд з метою підвищення стійкості та довговічності геосинтетичними матеріалами.

Методи розрахунку армованих ґрунтових конструкцій активно розвиваються, що подано в роботах [5, 6], де досліджено напружено-деформований стан основ із використанням методу скінченних елементів. Ефектив-

ність застосування ЗМГК проаналізовано в працях [7, 8], де висвітлено переваги армогрунтових обойм у процесі будівництва насипів навколо гофрованих металевих труб великого діаметра.

Програмні засоби для чисельного аналізу та інженерні рішення самих конструкцій постійно вдосконалюються [6, 9–13].

Програмний комплекс ЛІРА-САПР дає змогу проводити нелінійне моделювання роботи ґрунтових засипок у взаємодії з гофрованими металевими конструкціями, що є важливим для оцінювання їх поведінки під навантаженням [11–13]. Але поки що подібні розрахункові моделі створюються фахівцями із застосуванням багатьох припущень і в умовах невизначеності деяких даних, ексклюзивних для кожної споруди.

Отже, аналіз літературних джерел демонструє, що застосування армованого ґрунту є перспективним напрямом у підвищенні надійності та довговічності шляхопроводів із ЗМГК.

Мета й постановка завдання

Метою є створення розрахункової моделі для технологічно-конструктивного рішення влаштування збірних залізобетонних гофрованих конструкцій з армогрунтовими обоймами, що може реалізовуватись за допомогою методу скінченних елементів вітчизняним програмним комплексом ЛІРА-САПР.

Завданням є пророблення деталізації методики розрахунку ЗМГК разом з армогрунтовими обоймами, виявлення уточнень та отримання результатів на прикладі конкретної конструкції.

Методологія

Для розрахунку візьмемо реальний шляхопровід тунельного типу під залізничними коліями, побудований 2009 р. Основою шляхопроводу є металева гофрована конструкція завтовшки 7 мм зниженого перерізу (гофри $152,4 \times 50,8$ мм, момент інерції $2,6617 \text{ см}^4/\text{см}$, радіус інерції $1,748$ см, з площею поперечного зрізу листа $0,8712 \text{ см}^2/\text{см}$).

Основою для ґрунтового засипання навколо труби є піски дрібнозернисті, місцями пілуваті, з такими фізико-механічними влас-

тливостями: щільність – $\rho = 2,65 \text{ т/м}^3$; кут внутрішнього тертя ϕ від 32 до 35° ; коефіцієнт міцності $f = 0,5$ за Протодіяконовим; модуль деформації $E = 28\text{--}30 \text{ МПа}$. Усередині шляхопроводу застосовано рухоме тимчасове навантаження за схемою АК-15, а також власну вагу дорожнього одягу. Для розрахунку навантаження від залізничного полотна та від рухомого складу прийmemo навантаження С14. Конструктивне рішення поперечного перерізу шляхопроводу прийнято за роботою [8].

Для шляхопроводу створено дві комп'ютерні моделі. Першу – зроблено для стандартної обсіпки ЗМГК без армування, а для другої моделі застосовано схему армування високоміцним геотекстилем (міцність на розрив не менша ніж 80 кН , подовження під час розриву не перевищує 12%) та пластиковою об'ємною георешіткою (висота 20 см , ребро $20 \times 20 \text{ см}$, міцність на розрив – не менша ніж 50 кН). Розрахунок виконано на програмному забезпеченні ЛІРА-САПР 2024 за допомогою методу скінченних елементів у фізично нелінійній постановці.

Розрахункова схема передбачає зважати на спільну роботу конструкції труби та ґрунту засипки.

Для дослідження впливу підсилення ґрунту засипки було розраховано дві моделі:

- модель шляхопроводу зі звичайною засипкою піском (технологія, поширена в Україні);
- модель із застосуванням підсилення піщаної засипки армогрунтовими обоймами.

Розрахункова схема містить 4708 вузлів і 5827 елементів.

Для скінченно-елементної моделі використовуються характеристики ЗМГК, наведені в табл.1.

На рис.1 і 2 подані показники для розрахунків із різними варіантами ущільнення; на рис. 3 зображена модель шляхопроводу для відповідних варіантів розрахунку за умови звичайної засипки піском.

Розрахункова схема першої моделі побудована таким чином, щоб максимально точно відтворити ЗМГК, зони ущільнення ґрунту засипки вручну та механічно ущільненої засипки.

Таблиця 1 – Геометричні та статичні характеристики листів ЗМГК

Колір	№	Ім'я	Коментар	Момент інерції, $\text{см}^4/\text{см}$	Площа поперечного перерізу, $\text{см}^2/\text{см}$	Радіус інерції, см
	1	Брус $100 \times 0,7$	ЗМГК	2,6617	0,8712	1,748

Чисельний опис для КЕ 281-284

E	70	МПа	C	0.002	МПа
V	0.3		Rt	0.0001	МПа
H	100	см	Fi	35	°
Ro	0.02441	МН/м ³	Ke	5	
σ_p	0	МПа			

☐ Врахування попереднього напруження

Коментар: ручне ущільнення

Колір:

☐ ☐

Рис. 1. Показники для зони ручного ущільнення (модель 1)

Чисельний опис для КЕ 281-284

E	39	МПа	C	0.002	МПа
V	0.3		Rt	0.0001	МПа
H	100	см	Fi	35	°
Ro	0.02539	МН/м ³	Ke	5	
σ_p	0	МПа			

☐ Врахування попереднього напруження

Коментар: механічне ущільнення

Колір:

☐ ☐

Рис. 2. Показники для зони з механічним ущільненням (модель 1)

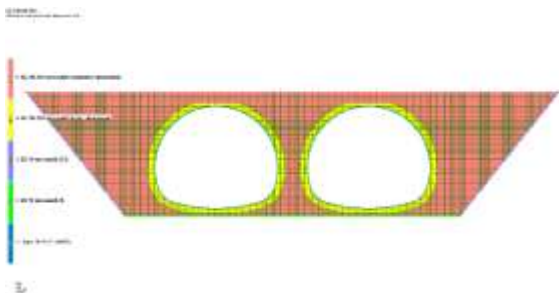


Рис. 3. Модель шляхопроводу зі звичайною засипкою піском

Розбивку на скінченні елементи виконано з огляду на геометрію ЗМГК та зони ущільнення ґрунту засипки вручну.

ЗМГК моделюються стрижневими скінченними елементами, ґрунти засипки моделюються фізично нелінійними пластинчастими скінченними елементами плоскої задачі для моделювання односторонньої роботи ґрунту на стиск з огляду на зсув за схемою

плоскої деформації. Робота ґрунту наявної засипки у вертикальному та горизонтальному напрямках моделюється спеціальними одновузловими елементами.

Другу скінченно-елементну модель шляхопроводу (зважаючи на підсилення піщаної засипки) зображено на рис. 4.

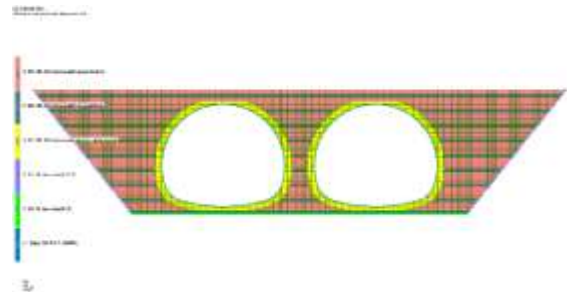


Рис. 4. Модель шляхопроводу з підсиленням піщаної засипки армоґрунтовими обоймами

Розрахункову схему другої моделі побудовано таким чином, щоб максимально точно відтворити ЗМГК, зони ущільнення ґрунту засипки вручну та армованих ґрунтових обойм.

Розбивку на скінченні елементи виконано з огляду на: геометрію ЗМГК; зону ущільнення ґрунту засипки вручну; зони підсилення ґрунту засипки георешітками та армованих обойм (зон підсилення ґрунту засипки геотекстилем).

ЗМГК моделюються стрижневими скінченними елементами. Ґрунти засипки (армовані обойми) моделюються фізично нелінійними пластинчастими скінченними елементами плоскої задачі для моделювання односторонньої роботи ґрунту на стиск з огляду на зсув за схемою плоскої деформації. Робота ґрунту наявної засипки у вертикальному та горизонтальному напрямках моделюється спеціальними одновузловими елементами. Підсилення ґрунту засипки об'ємними георешітками та високоміцним геотекстилем моделюється збільшенням модуля пружності відповідних шарів.

Для розрахунків використано такі навантаження:

- власна вага конструкцій;
- вага конструкцій залізниці зверху конструкції шляхопроводу та вага автомобільних доріг у тунелях;
- вага залізничного та автомобільного транспорту.

Для першої скінченно-елементної моделі використано властивості жорсткості ЗМГК, наведені в табл. 1 та на рис. 5–7.

Чисельний опис для KE 281-284

E	70	МПа	C	0.002	МПа
V	0.3		Rt	0.0001	МПа
H	100	см	Fi	35	°
Ro	0.02441	МН/м ³	Ke	5	
σ_p	0	МПа			

☐ Врахування попереднього напруження

Коментар: ручне ущільнення

Колір:

☒ ☐

Рис. 5. Показники для зони ручного ущільнення (модель 2)

Чисельний опис для KE 281-284

E	356	МПа	C	0.002	МПа
V	0.2		Rt	0.0001	МПа
H	100	см	Fi	35	°
Ro	0.02539	МН/м ³	Ke	5	
σ_p	0	МПа			

☐ Врахування попереднього напруження

Коментар: георешітка

Колір:

☒ ☐

Рис. 6. Показники для зони підсилення об'ємними георешітками (модель 2)

Чисельний опис для KE 281-284

E	133.5	МПа	C	0.002	МПа
V	0.3		Rt	0.0001	МПа
H	100	см	Fi	35	°
Ro	0.02539	МН/м ³	Ke	5	
σ_p	0	МПа			

☐ Врахування попереднього напруження

Коментар: армообойма

Колір:

☒ ☐

Рис. 7. Показники для зони підсилення високоміцним геотекстилем (модель 2)

Результати розрахунку та порівняльний аналіз

На рис. 8 і 9 зображені горизонтальні та вертикальні переміщення в напружено деформованому стані 1 моделі, зважаючи на навантаження. Бачимо, що максимальні горизонтальні переміщення вздовж осі X становлять 11,4 мм, а вертикальні переміщення – 27,3 мм.

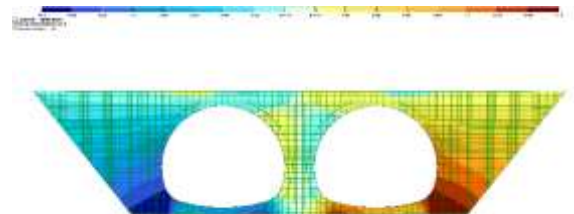


Рис. 8. Розрахункові горизонтальні переміщення (модель 1)

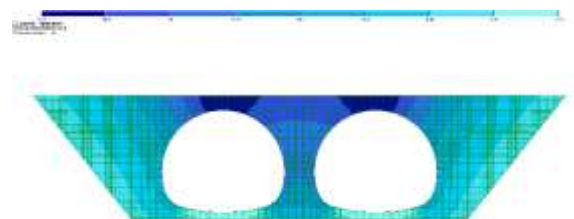
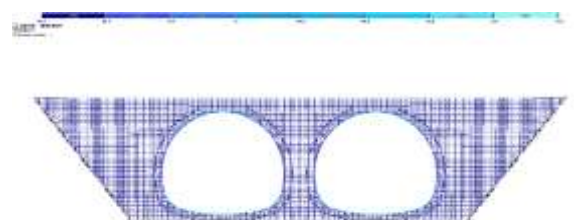
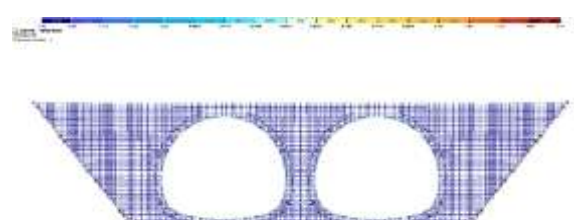


Рис. 9. Вертикальні переміщення (модель 1)

На рис. 10–11 подані мозаїки поздовжніх і поперечних зусиль ЗМК (максимальні зусилля становлять 86,3 т і 2,27 т відповідно). На рис. 12 зображено мозаїку згинальних моментів, які максимально дорівнюють 0,136 тм.

Рис. 10. Мозаїка поздовжніх зусиль N в ЗМК (модель 1)Рис. 11. Мозаїка поперечних зусиль Q_z (модель 1)

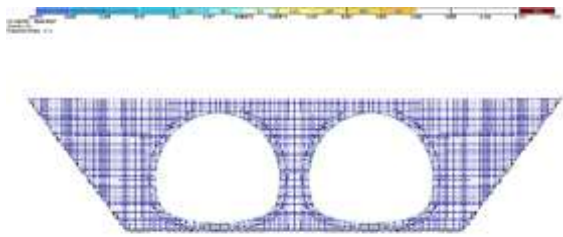


Рис. 12. Мозаїка згинальних моментів M_y (модель 1)

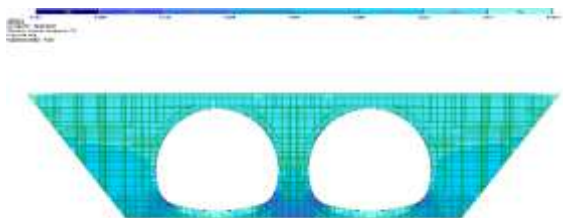


Рис. 13. Мозаїка основних напружень $N3$ (модель 1)

Результати для моделі 2

На рис. 14 та 15 зображені горизонтальні та вертикальні переміщення в напружено деформованому стані 2-ї моделі з огляду на навантаження. Можна помітити, що максимальні горизонтальні переміщення вздовж осі X становлять 9,78 мм, а вертикальне переміщення – 24,4 мм.

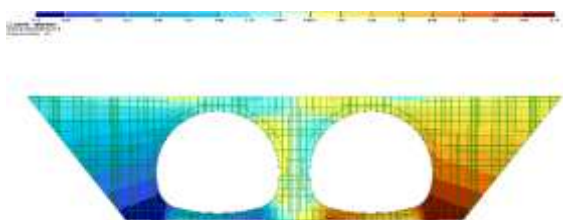


Рис. 14. Горизонтальні переміщення (модель 2)

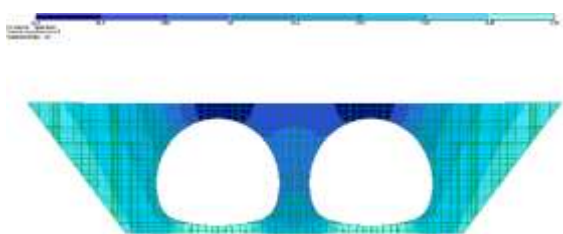


Рис. 15. Вертикальні переміщення (модель 2)

На рис. 16 та 17 зображені мозаїки поздовжніх та поперечних зусиль ЗМГК, максимальні значення цих зусиль становлять 86,3 т і 2,37 т відповідно. Визначення згинальних моментів (рис. 18) виявило максимальне значення 0,136 тм для моделі 2.

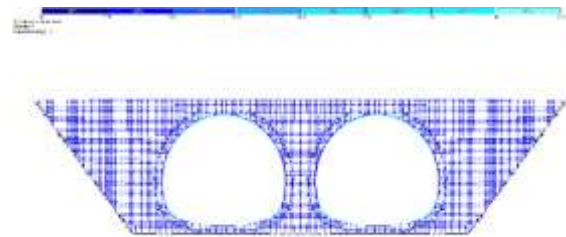


Рис. 16. Мозаїка поздовжніх зусиль N в ЗМГК (модель 2)

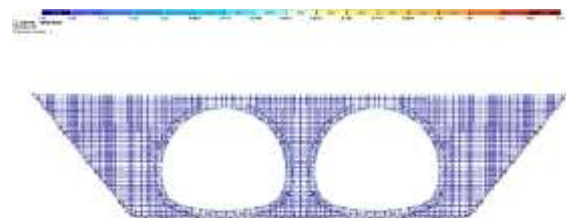


Рис. 17. Мозаїка поперечних зусиль Qz в ЗМГК (модель 2)

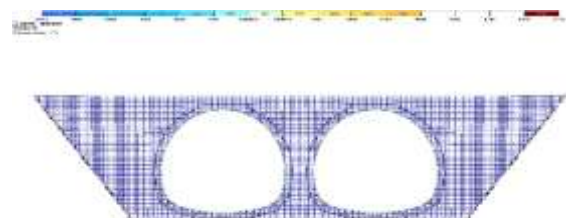


Рис. 18. Мозаїка згинальних моментів M_y (модель 2)

На рис. 19 зображено мозаїку основних напружень ґрунтової засипки для моделі 2, що максимально становлять $-0,723$ МПа.

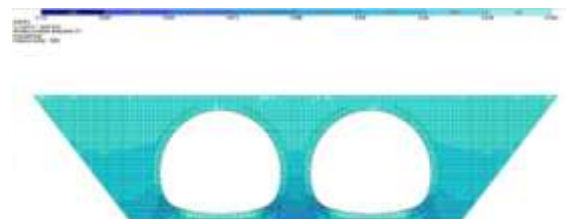


Рис. 19. Мозаїка основних напружень $N3$ ґрунтової засипки (модель 2)

У розв'язанні поданих задач за основу взято навчальний приклад для ПК ЛІРА-САПР, який написали розробники програмного комплексу з джерела [11, приклад 10]. Використані розробки з прикладу розрахунку шпунта, підсиленого анкерами разом із ґрунтовим масивом котловану (застосування нелінійних елементів ґрунту, моделювання попереднього натягу анкерів, моделювання процесу екскавації котловану).

Аналіз досягнутих результатів підтверджує, що в разі додавання армування ґрунту

максимальне горизонтальне та вертикальне переміщення знижується, так само зменшуються поздовжні та поперечні зусилля в ЗМГК (у середньому на 10 %). Водночас спостерігаємо збільшення основних напружень в армогрунтовій обоймі так само приблизно на 10 %. Ґрунт, завдяки його підсиленню, бере на себе більше зусиль, якщо порівняти зі звичайним ґрунтом, і розвантажує ЗМГК, зменшуючи її деформації. Тобто розрахунки продемонстрували, що посилений ґрунт бере на себе більше навантаження, ніж звичайний, за вказаних конкретних технологічно-конструктивних умов.

Висновки

На основі проведених розрахунків показано, що застосування армованого ґрунту додає міцності в ЗМГК, перерозподіляючи до 10 % навантаження на сам ґрунт, який зі свого боку стає більш жорстким і здатним витримувати додаткові зусилля.

Практичне застосування результатів розрахунків досить багатогранне. Завдяки застосуванню армування в обсіпанні ЗМГК отримуємо більш контрольовану засипку, що зменшує можливість впливу людського фактора на шарове ущільнення, оскільки кожен шар зашивається у високоміцну тканину й перевіряється окремо. У процесі контролю відсіпки відповідно до шарів армованої обойми на рівні, не вищому від одного шару, по всій ширині монтованого шляхопроводу ми унеможливуємо ризик імовірного перекосу в армуванні з одного боку, що також збільшує цілісність конструкції. Зниження напруги у вузлах ЗМГК так само продовжує термін її експлуатації та сприяє зменшенню витрат на будівництво й реконструкцію подібних об'єктів.

Отже, впровадження таких технологій може сприяти подальшому прогресу в будівництві та ремонті залізничних і автомобільних шляхів, що приведе до більш стійких, довгострокових та менш витратних рішень.

Література

1. Vidal H. The Principal of Reinforced Earth. *Highway Research Record*. 1969, № 282. P. 1–16.
2. Усиченко О.Ю., Барабанова Т.Г. Аналіз існуючих методів розрахунків армування основ дорожніх конструкцій. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2010, Вип. 78. С. 30–43.
3. ГБН В.2.3-37641918-544:2014 Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги. Київ, 147 с.

4. Друкований М.Ф., Матвеев С.В., Корчевський Б.Б. Армовані основи будівель та споруд: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. 235 с.
5. Смолянук Н.В., Більченко А.В. Чисельний аналіз односклепінчастої станції мілкого закладення Харківського метрополітену. *Мости та тунелі. Теорія, дослідження, практика*. 2024. № 25. С. 109–116.

DOI: <https://doi.org/10.15802/btrp2024/303474>

6. Черний Г.І., Ковальський Р.К., Шаповал А.В. Особливості визначення напружено-деформованого стану армованих ґрунтових основ з використанням методу кінцевих елементів. *Будівельні конструкції*. 2001. Вип. 55. С. 159–172.
7. Юдін В.О. Актуальність застосування металевих гофрованих конструкцій при будівництві та ремонті транспортних споруд на дорогах України. *І Міжнародна науково-практична конференція імені П.М. Коваля «Актуальні питання мостового господарства та шляхи його покращення»* (Запоріжжя, 15–17 вересня 2021 р). С. 93–95.
8. Юдін В.О. Застосування армованих ґрунтових обойм при будівництві насипів навколо гофрованих металевих труб великого діаметру. *Всеукраїнська наукова конференція «Мости: сучасний стан та перспективи розвитку», присвячена 120-річчю від дня народження професора Володимира Олексійовича Російського* (Харків, 7–8 грудня 2023 р.). Харків: ХНАДУ. С. 91–93.
9. Лях М.А., Дем'янюк О.С., Бешун О.А. Основи керування автомобілем та безпека дорожнього руху: навч. посіб.: Київ: ВІКНУ, 2011. 368 с.
10. ТУ У 24.2-44020398-003:2023. Технічні умови Труби збірні металеві гофровані та конструкції типу Multiplate, ТОВ «Віткар», 2023. URL: https://vitcar.com.ua/ua/promo_docs
11. Програмний комплекс ЛІРА-САПР. Приклади розрахунку і проектування. 2022. Електронне видання. URL: https://www.liraland.ua/download/private/lira/2023/lira_sapr_examples_ua.pdf
12. Барабаш М.С., Кір'язев П.М., Лапенко О.І., Ромашкіна М.А. Основи комп'ютерного моделювання. Київ, 2019. 500 с.
13. Винников Ю.Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі: монографія: Полтава: ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка, 2016. 280 с.

References

1. Vidal, H. (1969). The Principal of Reinforced Earth. *Highway Research Record*, (282), 1–16.
2. Usychenko, O.Yu., & Barabanova, T.G. (2010). Analysis of existing methods for calculating the reinforcement of road structure foundations. *Automobile Roads and Road Construction*, (78), 30–43.

3. GBN V.2.3-37641918-544:2014. (2014). *Automobile roads. Application of geosynthetic materials in road structures. Basic requirements*. Kyiv, 147 p.
4. Drukovanyi, M. F., Matveev, S.V., & Korchevskyi, B.B. (2006). *Reinforced foundations of buildings and structures: Monograph*. Vinnytsia: "UNIVERSUM – Vinnytsia", 235 p.
5. Smolianiuk, N.V., & Bilchenko, A.V. (2024). Numerical analysis of a single-vault shallow station of the Kharkiv Metro. *Bridges and Tunnels. Theory, Research, Practice*, (25), 109–116. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2024/303474>
6. Chernyi, H.I., Kovalskyi, R.K., & Shapoval, A.V. (2001). Features of determining the stress-strain state of reinforced soil foundations using the finite element method. *Building Structures*, (55), 159–172.
7. Yudin, V.O. (2021). The relevance of using metal corrugated structures in the construction and repair of transport structures on the roads of Ukraine. *Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference named after P. M. Koval "Current Issues of Bridge Management and Ways to Improve It" (Zaporizhzhia, September 15–17, 2021)*.
8. Yudin, V.O. (2023). Application of reinforced soil shells in the construction of embankments around large-diameter corrugated metal pipes. *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific Conference "Bridges: Current State and Prospects for Development," dedicated to the 120th anniversary of Professor Volodymyr Oleksiiovych Rosiyskyi (Kharkiv, December 7–8, 2023)*. Kharkiv: KhNADU, 91–93.
9. Liakh, M.A., Demianiuk, O.S., & Beshun, O.A. (2011). *Basics of vehicle control and road safety: Textbook*. Kyiv: VIKNU, 368 p.
10. TU U 24.2-44020398-003:2023. (2023). *Technical conditions. Prefabricated metal corrugated pipes and Multiplate-type structures*. LLC "Vitkar". URL: https://vitcar.com.ua/ua/promo_docs
11. LIRA-SAPR Software Package. (2022). *Examples of calculation and design*. Electronic edition. URL: https://www.liraland.ua/download/private/lira/2023/lira_sapr_examples_ua.pdf
12. Barabash, M.S., Kiriaziev, P.M., Lapenko, O.I., & Romashkina, M.A. (2019). *Fundamentals of computer modeling*. Kyiv, 500 p.
13. Vynnykov, Yu.L. (2016). *Mathematical modeling of the interaction of foundations with compacted bases during their construction and subsequent operation: Monograph*. Poltava: PoltNTU named after Yuriy Kondratyuk, 280 p.

Юдін Віктор Олегович¹, аспірант каф. мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського, yudin victor@gmail.com,

Безбабічева Ольга Іллівна¹, к.т.н., доц. каф. мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського, most_kharkov@ukr.net,

Титок Віктор Петрович², директор ТОВ «ЛІРА ПРОЕКТ», 03151, м. Київ, вул. Смілянська, 7.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

² ТОВ «ЛІРА ПРОЕКТ», 03151, м. Київ, вул. Смілянська, 7.

Computer Model and Analysis of Reinforced Soil Application Around Corrugated Metal Structures Under Railways

Abstract. The article investigates the application of reinforced soil around prefabricated corrugated metal structures (CMS) used in railway underpasses. This research addresses the **problem** of structural stability and longevity in infrastructure projects where CMS replaces traditional reinforced concrete bridges. While CMS-based solutions offer significant advantages in terms of cost-effectiveness and rapid deployment, the absence of a standardized computational methodology for reinforced soil application is to develop a computational model using the LIRA-SAPR software, enabling the analysis and comparison of CMS with and without reinforced soil. The study incorporates the finite element method to evaluate the structural behavior under railway loads, considering two primary models: one with conventional sand backfill and another with reinforced soil using high-strength geotextiles and plastic geogrids. The numerical **methodology** employed in this study accounts for the nonlinear interaction between CMS and the surrounding soil, simulating real-world load conditions. The **results** of the study highlight the benefits of using reinforced soil, demonstrating a reduction in both vertical and horizontal deformations by approximately 10%. The redistribution of forces minimizes stress concentration within the CMS, thereby enhancing its durability. Additionally, the reinforced soil approach mitigates risks associated with uneven settlement and structural misalignment, common in conventional backfill applications. These findings suggest that reinforced soil contributes to more efficient load distribution and prolongs the operational lifespan of CMS structures. The **originality** of this research lies in its systematic computational analysis of CMS with reinforced soil applications, which has not been extensively studied in prior works. While CMS structures have been widely implemented in transportation engineering, their integration with advanced soil reinforcement technologies lacks a comprehensive numerical assessment. The study bridges this gap by providing a validated computational approach for engineers and designers to optimize CMS performance. The **practical value** of this research extends to infrastructure construction and rehabilitation projects, particularly in war-affected and post-war regions requiring cost-effective and durable

solutions for bridge replacements. The findings support engineering decisions in selecting optimal backfilling techniques to enhance the stability and service life of CMS structures. Implementing reinforced soil strategies can lead to improved construction efficiency, reduced maintenance costs, and increased resilience of transport infrastructure under high-load conditions.

Keywords: *corrugated metal structures, reinforced soil, finite element analysis, infrastructure durability, railway engineering.*

Yudin Victor¹, postgraduate student, Department of Bridges, Structures and Construction Mechanics named after V.O. Rosiiskiy, ORCID ID: 0009-0008-3522-3059, yudinvictor@gmail.com,

Bezbabicheva Olha¹, Cand.Tech.Sc., Associate Professor, Department of Bridges, Structures and Construction Mechanics named after V.O. Rosiiskiy ORCID: 0000-0002-9006-2373, most_kharkov@ukr.net,

Tytok Viktor, Director of LIRA PROJECT LLC.

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

² LIRA PROJECT LLC, 03151, m. Kyiv, str. Smilyanska, 7.