

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 11

2017

20985

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

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

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

За загальною редакцією проф. О. М. ПШІНЬКА

Засновано у 2011 році

Випуск 11

НТБ ДІТУ



000866593

ВНЛ

Дніпропетровськ
2017

УДК 624.21 + 624.19(066)
ББК 39.112
Д 54

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

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна від 27.02.2017 р., протокол № 7

*Внесено до Переліку наукових фахових видань України
наказом Міністерства освіти і науки України від 21.12.2015 р. № 1328 (технічні науки)*

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

Редакційна колегія:

головний редактор – доктор технічних наук *В. Д. Петренко*
заступник головного редактора – доктор технічних наук *Д. О. Банников*
відповідальний секретар – кандидат технічних наук *В. І. Соломка*

Члени редакційної колегії:

доктори технічних наук *М. І. Казакевич, О. Л. Тютькін,*
М. І. Нетеса, Й. Й. Лучко, А. В. Радкевич,
А. І. Лантух-Лященко, В. В. Кулябко, А. А. Плугін,
З. Я. Бліхарський, Л. М. Тимофіїва, Р. О. Гейзен, Войцех Франус

Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 11. – Дніпропетровськ, 2017. – 101 с.
ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)

У статтях висвітлені наукові дослідження, виконані авторами у Дніпропетровському 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.

УДК 624.21 + 624.19(066)
ББК 39.112

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)

© Дніпропетр. нац. ун-т залізн.
трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2017

866593 - 866594 = (2)

ЗМІСТ

В. О. ГАЛУШКО, І. В. КОЛОДЯЖНА, К. А. САВКА, А. С. УВАРОВА ВИБІР ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ СЕРЕД НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМ БУДІВЕЛЬ.....	4
В. Є. КІСТІОН ІННОВАЦІЙНІ НАПРЯМКИ ПРОЦЕСУ РЕСТРУКТУРИЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ ІНФРАСТРУКТУРНОГО ТИПУ	13
В. П. КУПРІЙ, О. Л. ТЮТЬКІН, П. Є. ЗАХАРЧЕНКО ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДИСКРЕТИЗАЦІЇ ПРИ ЧИСЕЛЬНОМУ АНАЛІЗІ ТУНЕЛІВ НЕКОЛОВОГО ОКРЕСЛЕННЯ	20
Й. Й. ЛУЧКО, Ю. Є. КОВАЛЬЧУК, І. Б. КРАВЕЦЬ МЕТОДИ ОЦІНКИ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	30
В. Д. ПЕТРЕНКО, О. Л. ТЮТЬКІН, Є. Ю. КУЛАЖЕНКО, В. І. ПЕТРЕНКО МОНІТОРИНГ ДЕФОРМАЦІЙ ОПРАВИ СИРЕЦЬКО-ПЕЧЕРСЬКОЇ ЛІНІЇ КИЇВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ ТА ЗАХОДИ ЩОДО ЇХ ЗМЕНШЕННЯ.....	42
В. И. ПЕТРЕНКО, Е. М. ШАТАЙКИН, В. Д. ПЕТРЕНКО, А. Л. ТЮТЬКИН ПРОХОДКА НАКЛОННЫХ СТВОЛОВ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ИНГУЛЕЦКОМ ГОКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ	52
Н. К. ПЕТРОСЯН, А. Л. ТЮТЬКИН ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕЗАКРЕПЛЕННОЙ ВЫРАБОТКИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ С ЕДИНИЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ.....	59
М. М. ПОПОВИЧ, П. А. ОВЧИННИКОВ, В. І. ВЕРХОЛАЗ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ ПРИ СПОРУДЖЕННІ МЕТОДОМ ПОЗДОВЖНЬОГО НАСУВУ	67
А. В. РАДКЕВИЧ, І. А. АРУТЮНЯН, Н. О. ДАНКЕВИЧ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ ПРИ ОБҐРУНТУВАННІ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ БУДІВНИЦТВА ОБ'ЄКТІВ.....	74
О. Л. ТЮТЬКІН, О. І. ДУБІНЧИК, В. Р. КІЛЬДЄЄВ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ УКОСІВ ЗЕМЛЯНИХ СПОРУД.....	81
A. YU. RESHETNOV, V. I. SOLOMKA, P. A. OVCHYNNYKOV PARAMETERS OF TYPICAL CONTINUOUS STEEL TRUSS SPANS UNDER A HIGH-SPEED MOVEMENT	88

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 72.025.4-049.65

В. О. ГАЛУШКО^{1*}, І. В. КОЛОДЯЖНА², К. А. САВКА³, А. С. УВАРОВА⁴

^{1*} Кафедра «Технології будівельного виробництва», Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029, тел. +38 (096) 414 82 95, ел. пошта dtn.gva@gmail.com, ORCID 0000-0001-5744-0486

² Кафедра «Технології будівельного виробництва», Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029, тел. +38 (063) 119 41 18, ел. пошта kolodajhna.inna@gmail.com, ORCID 0000-0003-1406-9386

³ Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029, тел. +38 (093) 655 78 74, ел. пошта bronwinar@gmail.com, ORCID 0000-0003-4405-4089

⁴ Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029, тел. +38 (098) 672 17 14, ел. пошта nastya.pidoyma@gmail.com, ORCID 0000-0002-1416-7181

ВИБІР ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ СЕРЕД НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМ БУДІВЕЛЬ

Мета. Визначення найбільш енергоефективної конструктивної системи технології утеплення будівель серед найбільш поширених з використанням їх технічних, технологічних та економічних характеристик. **Методика.** Синтез, аналіз, математичні методи. **Результати.** Для вибору ефективної технології утеплення будівель був проведений аналіз інформаційних даних систем утеплення будівель. Були вибрані серед найбільш поширених систем три типи. Для цих систем були виконані техніко-економічні розрахунки. **Наукова новизна.** В удосконаленні методики розрахунку вибору кращого варіанту утеплення за кількома показниками взаємно невиключні один одного. **Практична значимість.** Визначено, що для більш оптимального вибору варіанту утеплення необхідно брати декілька техніко-економічних показників одночасно.

Ключові слова: енергоефективна конструктивна система; утеплення фасаду; методики розрахунку

Вступ

У зв'язку з подорожчанням енергоресурсів, а саме електроенергії, газу та твердого палива гостро постає питання про зниження тепловтрат в експлуатованих будівлях.

У багатоквартирних житлових будинків з автономним опаленням немає швидкого і простого методу заощадження коштів в опалювальний сезон. Тому, основною проблемою багатоквартирних житлових будинків в осінньо-весняний період є вибір енергоефективних, конструктивних систем утеплення фасадів, що дозволяють зберегти тепло і знизити вартість.

Мета

Вибір енергоефективних, конструктивних систем утеплення фасадів, що дозволяють регулювати та зберігати тепло в багатоквартирних житлових будинках [1].

Методика

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що даною проблемою займалися багато

вчених, такі як: Менеїлюк А. І., Карапузов Є. К., Соха В. Г., Бабій І. М., Борисов О. О., Калініна В. М., Соколова С. Д., Котельникова Т. А., Терновий В. І. та ін. [2-6].

Кожен з перелічених авторів займався конкретним напрямом, а саме: утеплення всередині квартири; утеплення фасаду; заміна вікон; відновлення систем вентиляцій; утеплення під'їздів; утеплення цокольної стіни будівлі з примиканням до вимощення і т.д.

На даний час існує багато видів утеплення фасадів – вентиляований та «мокрый». На рис. 1 і 2 представлена класифікація утеплення фасадів.

В якості прикладу розглянута будівля торговельного центру Гагарін Плаза. Для вибору ефективного варіанту представлені три види утеплення фасаду. А саме: мокрий спосіб оздоблення – декоративна штукатурка «Короїд» та облицювання керамогранітом; вентиляований спосіб – сендвіч-панелі.

Утеплення фасадів в новобудовах і будинках старої забудови, квартирах і котеджах – є оптимальне рішення проблеми намокання і промерзання зовнішніх стін, що запобігає появи

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

цвілі і грибків, що руйнують будову і викликають небезпечні захворювання у людини.

Однією з найважливіших задач фасадних робіт – поліпшення теплоізоляційних властивостей будівлі, яке забезпечується герметизацією міжпанельних швів, тобто утеплення об'єкта шляхом усунення щілин і зазорів в міжпанельних перекриттях, а також придання естетичного вигляду фасаду [7].

Одними з основних факторів – тепло і комфорт житлового будинку. Утеплення фасадів перешкоджає проникненню всередину холоду і протягів, а також захищає від спеки. Для таких робіт використовуються виключно будівельні матеріали, нешкідливі для людини.

Утеплення фасадів є можливістю не тільки врятувати стіни будинку від руйнівного впливу навколишнього середовища, при необхідності вдосконалення або зміна його зовнішнього вигляду.

Результати

В якості прикладу розглянемо утеплення фасаду торгового центру Гагарін Плаза. У комплекс входять 2 будівлі ЖК Гагарін Плаза, одна будівля 23 поверхова, друга 24 поверхова. На рис. 3 представлені план і фасад будівель. Поміж будівель 6-ти поверховий торговельний центр, висота будівлі 24 м, розмір по периметру 300 м.



Рис. 1. Класифікація сухих способів оздоблення фасадів

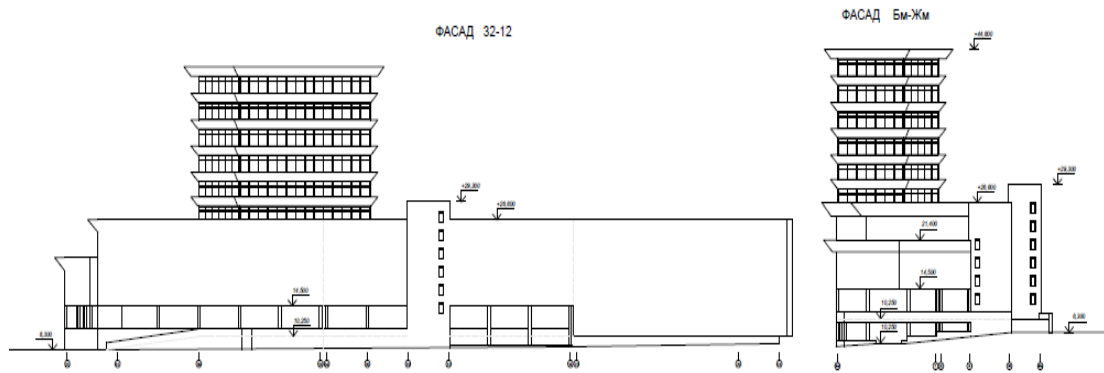


Рис. 2. Класифікація вентильованих фасадів

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА



а)



б)



в)

Рис. 3. План та фасад будівлі ЖК Гагарін Плаза:
а) план типового поверху; б) види фасадів; в) загальний вигляд будівель

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Розглянемо три види технологій енергоєфективних, конструктивних систем утеплення фасаду і визначимо який з цих видів являється найкращим [8].

Перший вид утеплення фасаду будівлі – керамограніт (рис. 4). Даний вид утеплення відноситься до сухого способу.

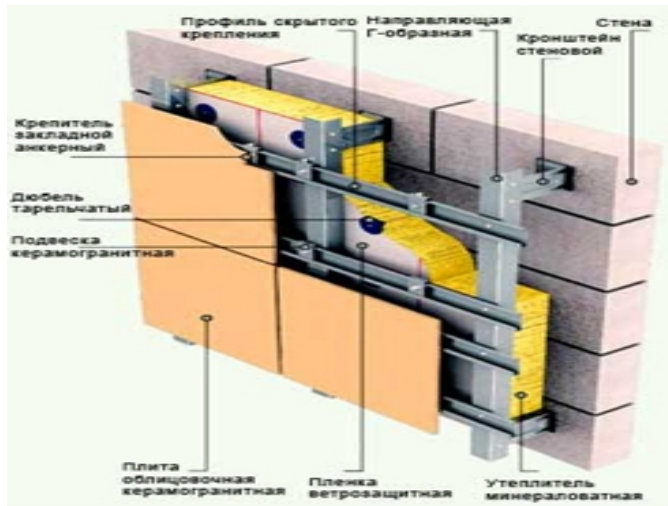


Рис. 4. Утеплення фасаду керамогранітом

Монтажні роботи проводяться як послідовними, так і паралельними технологічними потоками.

Монтажні роботи виконувалися в наступній послідовності:

- монтаж кронштейнів,
- монтаж плит теплоізоляції,
- монтаж направляючих профілів,
- монтаж фасонних елементів (відливів і укосів),
- монтаж облицювальних плиток.

Керамограніт – це облицювальний матеріал, який можна застосовувати як для внутрішньої обробки, так і зовнішньої. При виборі даного матеріалу звертають увагу на наступні характеристики: довжина, забарвлення, товщина, вага, текстура, теплопровідність і водопоглинання. Для керамограніту питома вага становить оріє-

нтовно 2400 кг/м^3 . У даного матеріалу дуже низький коефіцієнт теплопровідності – а це означає якщо він нагрівається, то тепло буде зберігатися довгий час.

Техніко-економічні показники керамограніту наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Техніко-економічні показники на утеплення фасаду керамогранітом

Показники	Од. виміру	Значення
Загальна вартість робіт	грн.	28024,51/1294,81
Загальна трудомісткість виконання робіт	люд-день	1268,34/129,83
Тривалість робіт	день	108
Виріток одного робітника в зміну	$\text{м}^2/\text{люд-день}$	0,71
Витрати праці на 1 м^2 утеплювальної стіни	$\text{люд-день}/\text{м}^2$	1,41

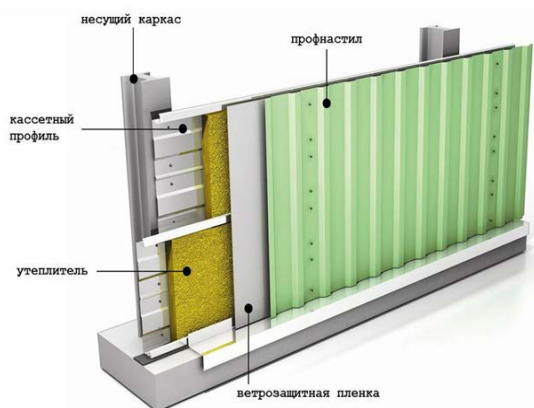
Таким чином можна зменшити витрати на обігрів приміщень будівлі.

До складу керамограніту входять: польовий шпат; мінеральні барвники; каолінова глина; кварцовий пісок. Всі ці компоненти ретельно подрібнюються, перемішуються до утворення однорідної маси, пресуються під високим тиском і обпикаються при $1300 \text{ }^\circ\text{C}$. Ще одним з важливих показників є водопоглинання. У керамограніту цей показник не перевищує $0,05 \%$.

Тому застосовувати його для облицювання фасаду – краще, ніж для внутрішнього використання.

Другий вид утеплення фасаду будівлі – сендвіч-панелі (рис. 5). При виборі даного матеріалу звертають увагу на наступні характеристики: розміри панелей: довжина, ширина і товщина, питома теплопровідність, система герметизації стиків і вага панелі [9]. Техніко-економічні показники сендвіч-панелів наведені в табл. 2.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА



Конструкція сендвіч-панелі:
 - 2 металеві обкладки, з профільованих оцинкованих сталевих листів (товщиною 0,5-0,6 мм) з полімерним покриттям різних кольорів. Для виробництва обкладок використовується тільки рулонна гаряче оцинкована сталь;
 - 1 шар високоєфективного утеплювача (мінеральна базальтова вата щільністю 110-140 кг/м³, або пінополістирол щільністю 18-25 кг/м³);
 - клейове з'єднання обкладок і утеплювача клеєм на поліуретановій основі.

Рис. 5. Утеплення фасаду сендвіч-панелями

Таблиця 2

Техніко-економічні показники на утеплення фасаду сендвіч-панелями

Показники	Од. виміру	Значення
Загальна вартість робіт	грн.	61821,18/2580,98
Загальна трудомісткість виконання робіт	люд-день	1810,87/93,13
Тривалість робіт	день	82
Виробіток одного робітника в зміну	м ² /люд-день	0,5
Витрати праці на 1 м ² утеплювальної стіни	люд-день/м ²	2,01

Коефіцієнт термічного розширення, міцність на згин і на здавлювання мають велике значення при будівництві великих будівель – складів, торгових центрів і т. п. У даного матеріалу дуже низьким коефіцієнтом теплопровідності при температурі 10 °С – 0,034 Вт/(м °С), а при 25 °С – 0,036 Вт/(м °С). Це означає, що якщо матеріал нагрівається, то тепло буде зберігатися довгий час.

Ще одним з важливих показників є водопоглинання. Цей показник для сендвіч-панелів у залежності від занурення до 10 %. Питома вага даної конструкції складає орієнтовно 110...145 кг/м³. Термін експлуатації даної конструкції складає 20 років. Третій вид утеплення фасаду будівлі – «короїд» (рис. 6) [10].



Рис. 6. Утеплення фасаду штукатуркою «короїд»

Назва «короїд» говорить про текстуру даного оздоблювального матеріалу. Досягається вона завдяки наступному складу: в'язуча – цемент з додаванням полімерів; полімерні смоли (акрил, силікон або латекс) та зерно-мармурова крихта становить 0,1...3,5 мм.

Технічні характеристики

Склад: полімерцементна суміш з мінеральними наповнювачами та модифікаторами.

Витрата води для приготування розчинної суміші: 5,0...5,6 л води на 25 кг.

Час використання розчинної суміші: до 60 хв.

Температура основи: від +5 до +35 °С.

Морозостійкість: не менше 75 циклів.

Адгезія до бетону після витримування в повітряно-сухих умовах: $\geq 0,5$ МПа.

Паропроникність: $\geq 0,05$ мг/мГПа.

Система теплоізоляції, заздалегідь підготовлена для «короїда» складається з армованої суміші, сітки для систем теплоізоляції і ґрунтовки СТ-16.

Техніко-економічні показники на утеплення фасаду штукатуркою «короїд» наведені в табл. 3.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Таблиця 3

Техніко-економічні показники на утеплення фасаду штукатуркою «короїд»

Показники	Од. виміру	Значення
Загальна вартість робіт	грн.	39957,62/1954,22
Загальна трудомісткість виконання робіт	люд-день	1060,61/68,88
Тривалість робіт	день	54
Виробіток одного робітника в зміну	м ² /люд-день	0,85
Витрати праці на 1 м ² утеплювальної стіни	люд-день/м ²	1,2

Існують наступні види штукатурки:

1. Полімерцементні штукатурки: Штукатурка декоративна «короїд» Ceresit СТ-35"; Штукатурка декоративна «короїд» Ceresit СТ-36".

2. Акрилові штукатурки: Штукатурка декоративна акрилова «короїд» Ceresit СТ-64".

3. Силікатні штукатурки: Штукатурка декоративна силікатна «короїд» Ceresit СТ-73".

4. Силіконові штукатурки: Штукатурка декоративна силіконова «короїд» Ceresit СТ-75" [11].

Недоліки:

- невелика довговічність – 5...7 років;
- схильність до розтріскування;
- неможливість кольорування, тобто після нанесення штукатурки поверхню необхідно фарбувати.

Властивості штукатурки «короїд» наступні:

- стійка до атмосферних впливів;
- стійка до ударних навантажень;
- морозостійка;
- паропроникна;

- водостійка.

Технологія нанесення штукатурки стін «короїдом» здійснюється в кілька етапів:

- підготовка поверхні;
- ґрунтування;
- підготовка штукатурки;
- нанесення декоративної штукатурки і затирання;
- фарбування оштукатурених поверхонь.

Наукова новизна та практичне значення

На підставі розрахунків техніко-економічних показників були отримані наступні порівняльні характеристики по вартості, трудомісткості, тривалості (рис. 7-9).

З огляду отриманих результатів розглянутих варіантів ми бачимо, що сама нижча вартість у 1-го варіанту, а саме у керамограніту, але відносно тривалості та трудомісткості кращим варіантом є штукатурка «Короїд» (табл. 4).

Таблиця 4

Техніко-економічні показники утеплення фасадів різних варіантів

Показники	Од. виміру	Варіанти		
		1	2	3
Загальна вартість робіт	грн.	29319,32	64402,16	41911,84
Заробітна плата робочих	грн.	28024,51	61821,18	39357,62
Заробітна плата механізаторів	грн.	1294,81	2580,98	1954,22
Загальна трудомісткість виконання робіт	люд-день	1268,34	1810,87	1060,61
Загальна трудомісткість механізаторів	люд-день	129,83	93,13	68,88
Виробіток одного робочого в зміну	м ² люд-день	0,71	0,5	0,85
Витрати праці на 1 м ² утеплювальної стіни	люд-день м ²	1,41	2,01	1,2
Тривалість робіт	день	108	82	54

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА



Рис. 7. Порівняльні показники вартості утеплення



Рис. 8. Порівняльні показники трудомісткості

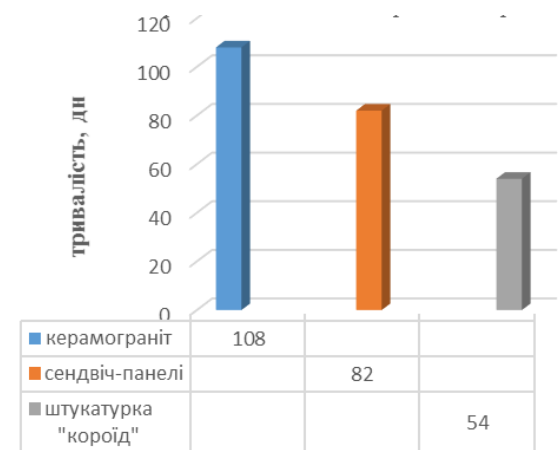


Рис. 9. Порівняльні показники тривалості робіт

Висновки

1. Були розглянуті три види утеплення фасадів, які користуються попитом в нашій країні на прикладі існуючої будівлі ЖК Гагарін Плаза.
2. Представлені технологічні послідовності даних варіантів утеплення фасадів та їх технічні характеристики.
3. Виконано розрахунок техніко-економічних показників та зроблено їх порівняння.
4. При виборі варіанту утеплення фасадних систем будівлі необхідно звертати увагу не тільки на окремі взяті показники в цілому, але і на загальну систему.
5. На підставі розрахунків та порівняння ТЕП було зроблено висновок, що третій варіант утеплення виявився найбільш придатним до використання по взаємно невиключні один одного показниками, а саме найменша тривалість робіт – 54 дн., та загальна трудомісткість – 1060,61 люд.-днів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дорофеев, В. С. Сучасні технології у будівництві [Текст] : підручник / В. С. Дорофеев, О. І. Менейлюк і ін. – Одеса : МЧП «Евен», 2009. – 536 с.
2. Менейлюк, А. И. Современные технологии в строительстве [Текст] : учебник / А. И. Менейлюк, В. С. Дорофеев и др. – Київ : Освіта України, 2010. – 550 с.
3. Соколов, Г. К. Технология и организация строительства [Текст] / Г. К. Соколов. – Москва : Издательский центр «Академия», 2008. – 528 с.
4. Менейлюк, А. И. С. Современные фасадные системы [Текст] / А. И. Менейлюк, В. С. Дорофеев и др. – Київ : «Освіта України», 2008. – 340 с.
5. Карапузов, С. К. Утеплення фасадів [Текст] : підручник для учнів проф.-техн. навч. закладів / С. К. Карапузов, В. Г. Соха. – Київ : Вища освіта, 2007. – 319 с.
6. Менейлюк, А. И. Методические указания для выполнения РГР на тему Устройство вентилируемых фасадов [Текст] / А. И. Менейлюк, И. В. Колодяжная и др. – ОГАСА, 2011. – 148 с.
7. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель [Текст]. – На заміну ДБН В.2.6-31:2006 ; надано чинності 2017-05-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. – 30 с.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

8. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель [Текст]. – Надано чинності 2014-01-01. – Київ : Мінергіонбуд України, 2014. – 50 с.
9. Стеновые сэндвич-панели Teplant [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://teplant.ru/production/wall-sandwich-panels/characteristics/>. – Загл. с экрана.
10. Режим доступа: <http://stroytelegko.ru/otdelka-fasadov/fakturnaya-shtukaturka-koroed>
11. Декоративная штукатурка Ceresit СТ-35 короед 2,5 мм (белая), 25 кг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bazar.kharkov.ua/id/ceresit-ct-35-shtukaturka-koroed>

.В. А. ГАЛУШКО^{1*}, И. В. КОЛОДЯЖНАЯ², К. А. САВКА³, А. С. УВАРОВА⁴

^{1*} Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, Одесса, Украина, 65029, тел. +38 (096) 414 82 95, эл. почта dtn.gva@gmail.com
ORCID 0000-0001-5744-0486

² Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, Одесса, Украина, 65029, тел. +38 (063) 119 41 18, эл. почта kolodajhna.inna@gmail.com
ORCID 0000-0003-1406-9386

³ Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, Одесса, Украина, 65029, тел. +38 (093) 655 78 74, эл. почта bronwinar@gmail.com, ORCID 0000-0003-4405-4089

⁴ Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, Одесса, Украина, 65029, тел. +38 (098) 672 17 14, эл. почта nastya.pidoyma@gmail.com, ORCID 0000-0002-1416-7181

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СРЕДИ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ ЗДАНИЙ

Цель. Определение наиболее энергоэффективной конструктивной системы технологии утепления зданий среди наиболее распространенных с использованием их технических, технологических и экономических характеристик. **Методика.** Синтез, анализ, математические методы. **Результаты.** Для выбора эффективной технологии утепления зданий был проведен анализ информационных данных систем утепления зданий. Были выбраны среди наиболее распространенных систем три типа. Для этих систем были выполнены технико-экономические расчеты. **Научная новизна.** В совершенствовании методики расчета выбора лучшего варианта утепления по нескольким показателям взаимно неисключающим друг друга. **Практическая значимость.** Определено, что для более оптимального выбора варианта утепления необходимо принимать несколько технико-экономических показателей одновременно.

Ключевые слова: энергоэффективная конструктивная система; утепление фасада; методики расчета

V. A. GALUSHKO^{1*}, I. V. KOLODYAZHNAYA², K. A. SAVKA³, A. S. UVAROVA⁴

^{1*} Department Construction technology, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4 Didrihson str., Odessa, Ukraine, 65029, tel. +38 (096) 414 82 95, e-mail dtn.gva@gmail.com, ORCID 0000-0001-5744-0486

² Department Construction technology, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4 Didrihson str., Odessa, Ukraine, 65029, тел. +38 (063) 119 41 18, e-mail kolodajhna.inna@gmail.com, ORCID 0000-0003-1406-9386

³ Student, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4 Didrihson str., Odessa, Ukraine, 65029, тел. +38 (093) 655 78 74, e-mail bronwinar@gmail.com, ORCID 0000-0003-4405-4089

⁴ Student, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4 Didrihson str., Odessa, Ukraine, 65029, тел. +38 (098) 672 17 14, e-mail nastya.pidoyma@gmail.com, ORCID 0000-0002-1416-7181

CHOICE OF EFFECTIVE TECHNOLOGY OF ENERGY EFFICIENT DESIGN SYSTEM OF BUILDINGS, AMONG THE MOST COMMON

Purpose. Researching the most energy-efficient warming construction system of buildings among the commonest of them, using their technical, technological and economical characteristics. **Methodology.** Synthesis, analysis, mathematical methods. **Findings.** For choosing effective technology, information analysis of systems warming of facades was made. Three types were chosen from the most prominent technics. Technical and economical calculations were made for these systems. **Originality.** Enhancement of the counting approach whereby the selection of the

most suitable variant is making by a few points, which doesn't exclude each other. **Practical value.** Discovered is, for the optimal choosing of the warming construction of the facade, there is an importance to use a few technical and economical records at the same time.

Keywords: energy-efficient design system; thermal insulation of the facade; calculation methods

REFERENCES

1. Dorofieiev V. S., Meneiliuk O. I. *Suchasni tekhnologii u budivnytstvi* [Modern technologies in construction]. Odesa, MChP «Even» Publ., 2009. 536 p.
2. Meneilyuk A. I., Dorofeev V. S. *Sovremennye tekhnologii v stroitelstve* [Modern technologies in construction]. Kyjiv, Osvita Ukrainy Publ., 2010. 550 p.
3. Sokolov G. K. *Tekhnologiya i organizatsiya stroitelstva* [Technology and organization of construction]. Moscow, izdatelskiy tsentr «Akademiya» Publ., 2008. 528 p.
4. Meneilyuk A. I., Dorofeev V. S. *Sovremennye fasadnye sistemy* [Modern facade systems]. Kyjiv, Osvita Ukrainy Publ., 2010. 340 p.
5. Karapuzov Ye. K., Sokha V. H. *Uteplennia fasadiv* [Warming of facades]. Kyjiv, Vyshcha osvita Publ., 2007. 319 p.
6. Meneilyuk A. I., Kolodyazhnaya I. V. *Metodicheskie ukazaniya dlya vypolneniya RGR na temu Ustroystvo ventiliruemikh fasadov* [Methodical instructions for the implementation of the WGR on the subject of Ventilated facades]. OGASA Publ., 2011. 148 p.
7. *DBN V.2.6-31:2016. Teplova izoliatsiia budivel* [Thermal insulation of buildings]. Kyjiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2016. 30 p.
8. *DSTU B V.2.6-189:2013. Metody vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia uteplennia budivel* [Methods of choosing insulation material for insulation of buildings]. Kyjiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2014. 50 p.
9. Stenovye sendvich-paneli Teplant [Electronic resource]. Available at: <http://teplant.ru/production/wall-sandwich-panels/characteristics/>
10. [Electronic resource]. Available at: <http://stroytelegko.ru/otdelka-fasadov/fakturnaya-shtukaturka-koroed>
11. Dekorativnaya shtukaturka Ceresit CT-35 koroed 2,5 mm (belaya), 25 kg. [Electronic resource]. Available at: <http://www.bazar.kharkov.ua/id/ceresit-ct-35-shtukaturka-koroed>.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. В. Радкевичем (Україна), д.т.н., проф. З. Я. Бліхарським (Україна).

Надійшла до редколегії 11.08.2017.

Прийнята до друку 25.09.2017.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 005.591.5:69.05

В. Є. КІСТІОН*

* Кафедра технології будівельного виробництва, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680, тел. +38 (044) 241 54 65, ел. пошта alenka_bon@i.ua, ORCID 0000-0001-5082-4145

ІННОВАЦІЙНІ НАПРЯМКИ ПРОЦЕСУ РЕСТРУКТУРИЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ ІНФРАСТРУКТУРНОГО ТИПУ

Мета. В статті обґрунтовується доцільність застосування процесу реструктуризації до спеціалізованого інфраструктурного кластеру будівельних підприємств. **Методика.** Враховуючи всі особливості специфіки функціонування інфраструктурних підприємств та фондovідтворюючу роль будівельної галузі, є доцільним реалізація інфраструктурної схеми процесу реструктуризації. Для вирішення проблеми розроблена схема, що включає в себе основні етапи процесу реструктуризації, які відповідають та корелюються з технологічними особливостями функціонування інфраструктурних підприємств будівельної галузі. Окреслені напрямки реструктуризації, що визначають технологічний оптимізаційний функціонал конкретного підприємства чи групи підприємства визначеного регіону. **Результати.** Реструктуризації передують аналіз оперативного та стратегічного управління виробництвом, способом вироблення та прийняття організаційних рішень. Важливим є також урахування перспективи оновлення та підвищення якості продукції, що передбачає модернізацію виробництва і зміну структури капітальних вкладень, перетворення системи управління. Нова структура управління повинна забезпечити оптимальну чисельність виробничих підрозділів, ієрархію, баланс процесів оновлення та збереження кількісного складу кадрів. Державна фінансова підтримка реструктуризації повинна бути надана лише тим підприємствам, які дійсно в спроможні забезпечити фінансування некомерційних або недержавних джерел. **Наукова новизна.** Виявлено те, що комерційні підприємства, що представляють потенційно прибуткові комерційні проекти, ні при яких обставинах не повинні розглядатися як об'єкти державної підтримки. **Практична значимість.** Розроблена інфраструктурна схема реструктуризації підприємства, що дозволяє врахувати ряд основних концептуальних засад вказаного процесу.

Ключові слова: інфраструктура; будівельний комплекс; реструктуризація; реформування; багатофакторний аналіз; фіскальна політика

Вступ

Сьогодні все більшого розвитку отримує нова для України область знань та практичного застосування – реструктуризація підприємств та компаній. Широко використовується в бізнес-практиці розвинених країн Заходу методологія реструктуризації [2, 4, 13-15] починає поширюватися і на український ринок [8, 9]. Реалізація програм реструктуризації може суттєво підвищити конкурентоздатність компаній та привести до подолання негативних ситуацій в економічному розвитку.

Найважливіша мета зусиль державних органів, підприємств і організації України – це створення конкурентоздатної економіки, що забезпечує гідне положення країни на міжнародному ринку.

Основними складовими, що забезпечують конкурентоздатність підприємств, є [11, 12]: якість продукції та послуг; стратегія маркетин-

гу та збуту; кваліфікація персоналу; технологічний рівень виробництва; фіскальне середовище, в якому працює підприємство; доступність джерел фінансування.

Слід відмітити, що рівень конкурентоздатності українських підприємств є доволі низьким [9]. Країна має високоосвічені кадри, природні ресурси і ринковий потенціал. Більш того, не дивлячись на широко розповсюджену думку, керівники підприємств мають реальні можливості для залучення необхідного капіталу. Вирішити дані проблеми і призвана реструктуризація.

Мета

У будівельному комплексі, наприклад, в мосто- або тунелебудівництві, процеси реструктуризації реалізуються через запровадження державного механізму, що чітко регламентує поле діяльності та ключові сегменти трансформації

© В. Є. Кістіон, 2017

[6, 7]. Зокрема, це інфраструктурні підприємства, що здійснюють свою діяльність на стадії експлуатації, якщо розглядати життєвий цикл будівельного проекту, а саме інвестиційно-бюджетний сегмент.

На сьогодні підприємства, що займаються будівництвом (зокрема, спорудженням мостів, тунелів та метрополітенів), мають подвійну підпорядкованість: державну та колективну. Тому питання реалізації процесів реструктуризації для підприємств комунальної форми власності є не тільки актуальним, але й необхідним, оскільки фонд проектів експлуатації є різноманітним та вимагає оновлення, інвестиційних вкладень та успішного креативного менеджменту (в частині реалізації функцій організації).

Методика

Слід з'ясувати, в чому принципова відмінність процесів реформування підприємств і галузей в попередні роки від реструктуризації в нинішніх умовах розвитку ринкової економіки. Аналіз слід проводити в декількох напрямках. По-перше, раніше всі процеси реформування могли бути ініційованими зверху, державною владою [1, 4, 7]. А сьогодні реструктуризація – один із суттєвих напрямків діяльності практично будь-якої компанії, націленої на вдосконалення бізнесу, а також ефективний ринковий інструмент підвищення її конкурентоздатності.

По-друге, реструктуризація вміщує в собі системний характер оптимізації функціонування будь-якого підприємства [7, 10, 13, 15]. Вона включає багатоаспектний і взаємопов'язаний комплекс заходів, процесів, методів, починаючи з комплексної діагностики компаній і до реорганізації як організаційної структури, так і бізнес-процесів на базі сучасних підходів до управління, в тому числі методології управління якістю, реінжинірингу бізнес-процесів, інформаційних технологій і систем і т.д.

Реструктуризація підприємства не є самоціллю чи модним явищем, вона повинна проводитись, коли є необхідність, визначена об'єктивними причинами. Головна особливість реструктуризації на відміну від поточних окремих змін у виробництві, структурі капіталу або власності, ринках збуту тощо полягає в тому, що вона не являється частиною повсякденного ділового циклу підприємства. Саме необхідність комплексного характеру перетворень, що

торкаються практично всіх сторін функціонування підприємства, обумовлює реструктуризацію [5, 9]. Можна спрощено виділити два напрямки реструктуризації: корпоративна і стратегічна реструктуризація. Направлена на підвищення ефективності функціонування і пов'язана із розвитком, включаючи збільшення вартості власного капіталу, підвищення конкурентоздатності, завоювання нових або розширення вже існуючих ринків, оптимізацію організаційної структури, диверсифікацію діяльності та інше; реструктуризація компаній в кризових умовах [2, 9]. Кризові ситуації включають декілька видів (етапів) – від зниження ефективності виробництва та збуту, погіршення фінансово-економічного становища, що не виражається на розрахунках з кредиторами, до ситуації, що характеризується несвочасним чи неповним задоволенням вимог кредиторів. Найгіршим проявом кризової ситуації є банкрутство.

Успіх та ефективність господарської діяльності підприємства суттєво залежать від доцільної організації проведення реструктуризації. При цьому необхідно виділити найбільш вагомий компонент: комплексну діагностику компанії. На її основі формується комплексна картина підприємства і розробляється бізнес-план, в якому описані цілі та задачі, що вирішуються в процесі реструктуризації. Комплексна діагностика компанії включає аналізи: фінансово-економічний, ситуаційний, організаційно-управлінський, виробничо-господарський та кадрового потенціалу. Цей важливий етап дозволяє виявити і модернізувати місію, цілі, стратегії компанії з реальними результатами діяльності на ринку і характеристиками зовнішнього середовища, виявити ключові проблеми і намітити шляхи їх вирішення; бізнес-план, адекватний стратегії, становищу підприємства і зовнішнім умовам, що містить не тільки результати діагностики компанії та аналіз місця компанії на ринку, але й опис тих процесів, які потрібно реалізовувати в ході реструктуризації, в тому числі в областях маркетингу, фінансів, управління, організаційних структур.

Бізнес-план дозволяє оцінити як ризики підприємства, так і життєздатність, ефективність проекту реструктуризації, а також є важливим інструментом отримання фінансової підтримки зовнішніх інвесторів; організаційну структуру

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

підприємства, формує у вигляді єдиного корпоративного центру бізнес-одиниць різного ступеня підпорядкованості і спеціалізації, які відповідальні за забезпечення визначених затратних (центри затрат), доходних (центри доходів), прибуткових (центри прибутку) та інвестиційних (центри інвестицій) показників.

Ієрархічна структура компанії повинна бути орієнтована на оптимальне здійснення управлінських і координаційних впливів і сполучень, забезпечення дублювання функцій і надлишкових надбудов, забезпечення системної взаємозв'язку та захищеності; фінансування проекту реструктуризації.

Реалізація такого складного, ризикованого проекту, як реструктуризація компанії, тим більше в умовах нестабільної економіки, потребує суттєвих інвестицій; систему управління процесом реструктуризації. Вона містить в собі створення та функціонування визначеної робочої групи, що підтримується підприємством зовнішніх консультантів. У відомстві даної групи і знаходяться питання організації та управління процесами реструктуризації.

Результати

З огляду до проведеного аналізу сутності інфраструктурних підприємств, а саме підприємств комунального сектору (управляючі компанії, ОСББ, теплокомуненерго, газконтори тощо), слід визначити, що в галузі будівництва важливим, якщо не основним, компонентом реформування є реструктуризація системи управління. В ній виділяються три основні сфери: управління виробництвом; управління персоналом; інтегроване управління.

Реструктуризації передуює аналіз оперативного та стратегічного управління виробництвом, способом вироблення та прийняття організаційних рішень. Важливим є також урахування перспективи оновлення та підвищення якості продукції, що передбачає модернізацію виробництва і зміну структури капітальних вкладень, перетворення системи управління. Нова структура управління повинна забезпечити оптимальну чисельність підрозділів, ієрархію підпорядкування, баланс процесів оновлення та збереження кількісного складу кадрів.

Специфіка функціонування в Україні інфраструктурних підприємств вимагає розробки особливого управлінського кластеру – законо-

давчого, який безпосередньо впливає на реалізацію процесів реструктуризації визначеного типу підприємств.

Фіскальна політика, що створює умови, за яких оптимальна з точки зору стратегії, управління та економіки виробництва схеми реструктуризації є неприйнятними з фіскальної точки зору, що примушує використовувати компромісні схеми. Це проявляється в додатковому фіскальному тиску на проміжних технологічних переробках. Українські податки, особливо ті, що розраховуються з обороту, надзвичайно нечутливі до етапів технологічного процесу і не відчують різниці між виробництвами базових галузей і виробництвами, орієнтованими на кінцевого споживача. Надзвичайно високі податки гальмують впровадження нормальних фінансових схем, оскільки всі переваги, які могло б отримати підприємство від реструктуризації, були б «з'їдені» додатковим фіскальним тягарем. Тарифна політика повинні розроблятися з врахуванням головної мети – сприяння укріпленню підприємств.

Існує неопрацьованість механізму банкрутства. Нові підходи до банкрутства та санації боржників знайшли своє відображення у введеному в дію з початку 2000 р. Закону України «Про відновлення платоспроможності боржника або оголошення його банкрутом», який кардинально змінив фінансовий механізм санації у ході санації справи про банкрутство. Головні нововведення щодо фінансового оздоровлення боржника пов'язані із запровадженням інституту арбітражного керування, можливістю реалізувати план санації та укласти мирову угоду в ході провадження справи про банкрутство. Але навіть впровадженні зміни не виключають вплив із зовні, що гальмує будь-які новаторські зміни. На них впливають соціально-політична ситуація, яка складається як на регіональному так і на державному рівнях. Відсутність єдиних правил гри для учасників процесу. Це означає, що підприємство, яке володіє великим впливом, отримує переваги в порівнянні з іншими. Тому середні підприємства з відносно не великими боргами швидко проходять стадію банкрутства, а якийсь «гігант індустрії» з мільярними боргами, котрий давно повинен би бути банкрутом та підлягати реструктуризації, отримує зменшення тиску [2].

Практично будь-яке українське підприємство має реальну можливість залучити капітал як на розвиток виробництва, так і на більш глобальні процеси реструктуризації. Проблема інвестицій не технічна, а психологічна. Більшість керівників українських підприємств орієнтуються тільки на два джерела фінансування – державні або банківські позики, хоча вони найменш реальні в існуючих умовах. Більшість підприємств не в змозі надати банкам ліквідне забезпечення по кредитах, а державне фінансування на вкрай чужому може бути доступним більшості.

В той же час існують всі необхідні умови для залучення приватних інвесторів і потенціал українського ринку. Однією з перешкод на шляху до залучення інвестицій є те, що українські підприємства не в змозі надати бізнес-плани, розроблені у відповідності з міжнародними стандартами. Крім того, керівник підприємства, як правило, володіє контрольним або значним пакетом акцій і не готовий до залучення інвестицій шляхом продажу акцій [13, 14]. В світовій практиці навіть в розвинених країнах неможливо знайти промислове підприємство, яке забезпечувало б фінансування шляхом позик. Всі крупні промислові корпорації, що є лідируючими на ринку, котирують свої акції на біржі вважаючи це за успіх. Не менш важливою проблемою, що гальмує інвестиційний процес, є фіскальна система, що змушує керівництво підприємства до приховування доходів, щоб вижити у сьогоднішніх умовах. Приховування доходів створює протиріччя головній вимозі інвестування – «прозорості», тобто повному та коректному розкриттю фінансової інформації.

Наукова новизна та практична значимість

Державна фінансова підтримка реструктуризації (пряме державне фінансування, гарантії по позикам і т.п.) повинна бути надана лише тим підприємствам, які дійсно в спроможності забезпечити фінансування некомерційних (недержавних) джерел (банківські позики, приватні інвестори, фондовий ринок). Комерційні підприємства, що представляють потенційно прибуткові комерційні проекти, ні при яких обставинах не повинні розглядатися як об'єкти державної підтримки.

До підприємств, що не мають можливості залучення грошових коштів із позабюджетних джерел, відносяться: оборонні підприємства, © В. С. Кістюн, 2017

які мають обмеження в розкритті інформації, а як наслідок, не можуть надати повноцінну інформацію для інвестора, за умови, що ці підприємства виконують важливу роль в процесі забезпечення обороноздатності країни; науково-дослідні організації, результати досліджень яких являють собою видатний науковий результат і не можуть бути запропоновані промисловим підприємствам; соціально значущі державні підприємства, які не можуть бути комерційно ефективними в існуючих умовах.

Враховуючи всі особливості специфіки функціонування інфраструктурних підприємств та фондівідтворюючу роль будівельної галузі доцільним є реалізація інфраструктурної схеми процесу реструктуризації (рис. 1).



Рис. 1. Інфраструктурна схема реструктуризації підприємства

Розроблена схема включає в себе основні етапи процесу реструктуризації, що відповідають та корелюються з технологічними особливостями функціонування інфраструктурних підприємств будівельної галузі. Окреслені напрямки реструктуризації визначають технологічний оптимізаційний функціонал конкретного підприємства чи групи підприємства визначеного регіону.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Висновки

В роботі обґрунтовано, що реструктуризація завжди має цільову спрямованість. При цьому можна виділити цілі двох рівнів. Перший рівень – державні цілі. Головна з них полягає у створенні конкурентоспроможних товаровиробників та підвищенні ефективності суспільного виробництва; паралельно з нею існують локальні цілі (зростання надходжень до держбюджету, зниження рівня безробіття, реалізація найважливіших державних програм, розвиток конкуренції та інше), значущість яких на різних етапах може змінюватися.

Доведена доцільність розгляду спеціалізованого класу будівельних підприємств – інфраструктурного специфічного об'єкту процесу реструктуризації, оскільки, реструктуризація конкретного підприємства є адаптація до ринкових умов господарювання і підвищення конкурентоспроможності. Для цього підприємство реалізує ряд локальних (проміжних) цілей – економічних, фінансових, структурних, управлінських, виробничих, техніко-технологічних, соціальних тощо, які визначають технологічний оптимізаційний функціонал конкретного підприємства чи групи підприємства визначеного регіону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тренев, В. Н. Реформирование и реструктуризация предприятий. Методика и опыт [Текст] / В. Н. Тренев, В. А. Ириков, С. В. Ильдеменов, С. В. Леонтьев, В. Г. Балашов. – Москва : ПРИОР, 2001. – 320 с.
2. Мазур, И. И. Реструктуризация предприятий и компаний [Текст] / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро и др. – Москва : Экономика, 2002. – 254 с.
3. Дуфала, В. Инструментарий для формирования стратегии предприятия [Текст] / В. Дуфала // Проблемы теории и практики управления. – 1998. – № 1. – С. 97-101.
4. Аистова, М. Д. Реструктуризация предприятий: вопросы управления. Стратегии, координация структурных параметров, снижение сопротивления преобразованиям [Текст] / М. Д. Аистова. – Москва : Альпина Паблишер, 2002. – 287 с.
5. Шеко, П. Управление созданием жизнеспособных нововведений [Текст] / П. Шеко // Проблемы теории и практики управления. – 1996. – № 1. – С. 103-109.
6. Пшінько, О. М. Управління логістичними системами функціонування будівельного виробництва на основі підтримки єдності моделюючих умов [Текст] / О. М. Пшінько, І. Д. Павлова, А. В. Радкевич, І. А. Арутюнян // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 2. – С. 61-66.
7. Королькова, Е. М. Реструктуризация предприятий. Учебное пособие [Текст] / Е. М. Королькова. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2007. – 80 с.
8. Бутник-Сиверский, А. Реорганизация реструктуризации и демонополизации предприятия в условиях переходной экономики [Текст] / А. Бутник-Сиверский, Т. Лозовая, А. Донченко // Бізнес. – 1999. – № 20 (331). – С. 63.
9. Заболотний, В. М. Реструктуризація і конкурентоспроможність українських підприємств: сутність і підходи [Текст] / В. М. Заболотний // Матеріали конференції «Конкурентоспроможність українських підприємств-2000», 10 грудня 1999 р. – С. 9-12.
10. Радкевич, А. В. Моделі оптимального розподілу капітальних вкладень на стадії календарного планування будівництва [Текст] / А. В. Радкевич, Т. В. Ткач // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 2. – С. 71-75.
11. Маркова, В. Д. Стратегический менеджмент: курс лекций [Текст] / В. Д. Маркова, С. А. Кузнецова. – Москва : ИНФРА-М; Новосибирск : Сибирское соглашение, 1999. – 288 с.
12. Стратегический менеджмент: учебник для вузов. 3-е изд. Стандарт третьего поколения. [Текст] – Санкт-Петербург : Питер, 2012. – 400 с.
13. Gilson, S. C. Creating Value Through Corporate Restructuring: Case Studies in Bankruptcies, Buyouts, and Breakups, 2nd Edition / Stuart C. Gilson, Edward I. Altman. – Wiley Finance, 2010. – 848 p.
14. Pomerleano, M. Corporate Restructuring : Lessons from Experience / M. Pomerleano, W. Shaw. – Washington, DC: World Bank Publications, 2005. – 482 p.
15. Vance, D. Corporate Restructuring: From Cause Analysis to Execution / D. Vance. – Springer, 2010. – 283 p.

В. Е. КИСТИОН*

* Кафедра технологии строительного производства, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Воздухофлотский проспект, 31, Киев, Украина, 03680, тел. +38 (044) 241 54 65, эл. почта alenka_bon@i.ua, ORCID 0000-0001-5082-4145

ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ИНФРАСТРУКТУРНОГО ТИПА

Цель. В статье обосновывается целесообразность применения процесса реструктуризации в специализированном инфраструктурном кластере строительных предприятий. **Методика.** Учитывая все особенности специфики функционирования инфраструктурных предприятий и фондосоздающую роль строительной отрасли, является целесообразной реализация инфраструктурной схемы процесса реструктуризации. Для решения проблемы разработана схема, включающая в себя основные этапы процесса реструктуризации, которые соответствуют и коррелируются с технологическими особенностями функционирования инфраструктурных предприятий строительной отрасли. Определены направления реструктуризации, определяющие технологический оптимизационный функционал конкретного предприятия или группы компаний определенного региона. **Результаты.** Реструктуризации предшествует анализ оперативного и стратегического управления производством, способом выработки и принятия организационных решений. Важен также учет перспективы обновления и повышения качества, который предшествует модернизации производства и изменению структуры капитальных вложений, преобразования системы управления. Новая структура управления должна обеспечить оптимальную численность производственных подразделений, иерархию, баланс процессов обновления и сохранения количественного состава кадров. Государственная финансовая поддержка реструктуризации должна быть предоставлена только тем предприятиям, которые действительно имеют возможность обеспечить финансирование некоммерческих или негосударственных источников. **Научная новизна.** Выявлено, что коммерческие предприятия, представляющие потенциально прибыльные коммерческие проекты, ни при каких обстоятельствах не должны рассматриваться как объекты государственной поддержки. **Практическая значимость.** Разработана инфраструктурная схема реструктуризации предприятия, позволяющая учесть ряд основных концептуальных основ указанного процесса.

Ключевые слова: инфраструктура; строительный комплекс; реструктуризация; реформирование; многофакторный анализ; фискальная политика

V. E. KISTION*

* Department of Building Technology of The Kyiv National University of Construction and Architecture, 31 Povitroflotsky Avenue, Kyiv, Ukraine, 03680, tel. +38 (044) 241 54 65, e-mail alenka_bon@i.ua, ORCID 0000-0001-5082-4145

INNOVATIVE DIRECTIONS OF THE RESTRUCTURING PROCESS OF CONSTRUCTION ENTERPRISES OF INFRASTRUCTURAL TYPE

Purpose. In the article substantiate the expediency of application of the restructuring process in a specialized infrastructure cluster of construction enterprises. **Methodology.** Taking into account all the specifics of the functioning of infrastructure enterprises and the fund-creating role of the construction industry, it is expedient to realization of the infrastructure scheme of the restructuring process. To solve the problem a scheme has been developed that includes the main stages of the restructuring process which correspond and correlate with the technological features of the functioning of infrastructure enterprises in the construction industry. The directions of restructuring determining the technological optimization functional of a particular enterprise or a group of certain region companies are determined. **Findings.** The analysis of the operational and strategic management of production, the way to develop and make organizational for decisions is preceded for the restructuring. It is also important to take into account the prospects for renewal and improvement of quality, which precedes for the modernization of production and changes in the structure of capital investments, the transformation of the management system. The new management structure should ensure the optimal number of production units, the hierarchy, the balance of the processes of renewal and maintaining the number of personnel. State financial support for restructuring should be make available only to those enterprises that really have the opportunity to provide financing for non-commercial or non-governmental sources. **Originality.** It was revealed that commercial enterprises, representing potentially profitable commercial projects, under no circumstances should be considered as objects of state support. **Practical value.** An infrastructure scheme of enterprise restructuring has been developed, which allows taking into account a number of basic conceptual basis of this process.

Keywords: infrastructure; building complex; restructuring; reforming; multifactor analysis; fiscal policy

© B. C. Kicтiон, 2017

REFERENCES

1. Trenev V. N., Irikov V. A., Ildemenov S. V., Leontev S. V., Balashov V. G. *Reformirovanie i restrukturizatsiya predpriyatiy. Metodika i opyt* [Reforming and restructuring of enterprises. Technique and experience]. Moscow, PRIOR Publ., 2001. 320 p.
2. Mazur I. I., Shapiro V. D. i dr. Mazur I. I., Shapiro V. D. *Restrukturizatsiya predpriyatiy i kompaniy* [Restructuring of enterprises and companies]. Moscow, Ekonomika Publ., 2002. 254 p.
3. Dufala V. Instrumentariy dlya formirovaniya strategii predpriyatiya [Tool for the formation of an enterprise strategy]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya – Problems of theory and practice of management*, 1998, no 1, pp. 97-101.
4. Aistova M. D. *Restrukturizatsiya predpriyatiy: voprosy upravleniya. Strategii, koordinatsiya strukturnykh parametrov, snizhenie soprotivleniya preobrazovaniyam* [Restructuring of enterprises: management issues. Strategies, coordination of structural parameters, reduction of resistance to transformation]. Moscow, Alpina Publisher Publ., 2002. 287 p.
5. Sheko P. Upravlenie sozdaniem zhiznesposobnykh novovvedeniy [Managing the creation of viable innovations]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya – Problems of theory and practice of management*, 1996, no 1, pp. 103-109.
6. Pshinko O. M., Pavlova I. D., Radkevych A. V., Arutiunian I. A. Upravlinnia lohistychnymy systemamy funktsionuvannya budivelnoho vyrobnytstva na osnovi pidtrymky yednosti modeliuiuchykh umov [Management of logistics systems functioning of construction production on the basis of maintaining the unity of modeling conditions]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 2, pp. 61-66.
7. Korolkova Ye. M. *Restrukturizatsiya predpriyatiy. Uchebnoe posobie* [Restructuring of enterprises. Tutorial]. Tambov : Izdatelstvo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta Publ., 2007. 80 p.
8. Butnik-Siverskiy A. Reorganizatsiya restrukturizatsii i demonopolizatsii predpriyatiya v usloviyakh perekhodnoy ekonomiki [Reorganization of the restructuring and demonopolization of the enterprise in the conditions of the transitional economy]. *Biznes – Business*, 1999, no 20 (331), p. 63.
9. Zabolotnyi V. M. Restrukturyzatsiia i konkurentospromozhnist ukrainskykh pidpriemstv: sutnist i pidkhody [Restructuring and Competitiveness of Ukrainian Enterprises: Essence and Approaches]. *Materialy konferentsii «Konkurentospro-mozhnist ukrainskykh pidpriemstv-2000»(10.12.1999)* [Materials of the conference «Competitiveness of Ukrainian enterprises-2000»(10.12.1999)], pp. 9-12.
10. Radkevych A. V. Modeli optymalnoho rozpodilu kapitalnykh vkladov na stadii kalendarnoho planuvannya budivnytstva [Models of optimal distribution of capital investments at the stage of calendar planning of construction]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 2, pp. 71-75.
11. Markova V. D., Kuznetsova S. A. *Strategicheskii menedzhment: kurs lektsiy* [Strategic management: a course of lectures]. Moscow, INFRA-M Publ., Novosibirsk, Sibirskoe soglashenie Publ., 1999. 288 p.
12. *Strategicheskii menedzhment: uchebnyk dlya vuzov. 3-e izd. Standart tretogo pokoleniya* [Strategic management: a textbook for universities. 3rd ed. The third generation standard]. Sankt-Peterburg, Piter Publ., 2012. 400 p.
13. Gilson S. C., Altman E. I. *Creating Value Through Corporate Restructuring: Case Studies in Bankruptcies, Buyouts, and Breakups*, 2nd Edition. Wiley Finance, 2010. 848 p.
14. Pomerleano M., Shaw W. *Corporate Restructuring. Lessons from Experience*. Washington, DC, World Bank Publications, 2005, 482 p.
15. Vance D. *Corporate Restructuring: From Cause Analysis to Execution*. Springer, 2010. 283 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. А. В. Радкевичем (Україна), д.т.н., доц. О. Л. Тюткіним (Україна).

Надійшла до редколегії 20.08.2017.

Прийнята до друку 25.09.2017.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.196:[625.111:519.6]

В. П. КУПРІЙ^{1*}, О. Л. ТЮТЬКІН², П. Є. ЗАХАРЧЕНКО³

^{1*} Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (099) 616 77 46, ел. пошта kurgiy@i.ua, ORCID 0000-0002-6517-2554

² Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський 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 Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (096) 354 34 96

ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДИСКРЕТИЗАЦІЇ ПРИ ЧИСЕЛЬНОМУ АНАЛІЗІ ТУНЕЛІВ НЕКОЛОВОГО ОКРЕСЛЕННЯ

Мета. В статті досліджено вплив на напружено-деформований стан дискретизації скінчено-елементної моделі в чисельному аналізі тунелів неколового окреслення. **Методика.** Для досягнення поставленої мети, авторами було розроблено три скінчено-елементні моделі калотної частини виробки при будівництві двокільного залізничного тунелю. В кожній з моделей в програмному комплексі «Ліра» конкретним чином було дискретизовано зону взаємодії з тимчасовим кріпленням. Після створення моделей, проводився їх чисельний аналіз із детальним дослідженням його результатів. **Результати.** Отримано значення деформацій і напружень скінчено-елементних моделей по горизонтальній і вертикальній осям, а також максимальні значення моментів і поздовжніх сил в тимчасовому кріпленні. Проведено порівняльний аналіз отриманих значень. Побудовані графіки закономірностей вказаних результатів від особливостей дискретизації двох моделей. Досліджено третю скінчено-елементну модель з радіальною розбивкою вузлів у зоні взаємодії тимчасового кріплення з оточуючим ґрунтовим масивом. **Наукова новизна.** Встановлено, що при чисельному аналізі НДС тунельної оправи неколового окреслення його результати суттєво залежать від форми, розмірів та конфігурації застосовуваних скінчених елементів, від розмірів розрахункової області ґрунтового масиву, а також від умов його закріплення (граничних умов). **Практична значимість.** Визначено особливості дискретизації та необхідні розміри розрахункової області ґрунтового масиву при моделюванні системи «оправа – ґрунтовий масив», що забезпечують достатню точність розрахунку параметрів напружено-деформованого стану оправи.

Ключові слова: метод скінчених елементів; тунель неколового окреслення; дискретизація; напружено-деформований стан

Вступ

При розрахунках тунелів широко використовуються чисельні методи, наприклад, метод скінчених елементів (МСЕ), реалізований в сучасних ПК (програмних комплексах) [1-4].

При виборі дискретної розрахункової схеми система «оправа – ґрунтовий масив» відтворюється в вигляді середовища, розбитого на скінченні елементи [5, 6, 13-15]. Процес дискретизації, тобто заміни дискретною скінчено-елементною моделлю (СЕ-моделлю) суцільного середовища, підкріпленого тунельною оправою, частіш усього проводиться за допомогою автоматичних процедур, які вбудовані в розрахункові комплекси [7-9]. Однак автоматичні програмні процеси дискретизації, наприклад,

автоматична триангуляція чи створення прямокутної СЕ-сітки має декілька варіантів, що характеризуються розміром скінченого елемента і, відповідно, їх кількістю, формою та умовами стикування тощо [6, 7, 10].

Із основ МСЕ відомо [11-12], що всі перераховані вище особливості дискретизації є суттєвими для отримання результатів чисельного аналізу, які можуть бути характеризовані як адекватні реальним умовам взаємодії в системі «оправа – ґрунтовий масив». Проте автоматичні процеси дискретизації вже сприймаються дослідниками, що застосовують програмні комплекси, як такі, що не потребують додаткового аналізу їх впливу, хоча знання впливу дискретизації конкретного комплексу є визначними для проведення аналізу на його основі.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Мета

Враховуючи аналіз ситуації в розрахунках тунелів, метою наданої роботи є з'ясування впливу на напружено-деформований стан (НДС) та подальше врахування дискретизації скінчено-елементної моделі в чисельному аналізі тунелів неколового окреслення.

Методика

Моделювання взаємодії з оточуючим ґрунтовим масивом тимчасового кріплення при будівництві двоколісного залізничного тунелю проводилося на основі ПК «Ліра» лише для калотної частини виробки. Ґрунтовий масив дискретизовано за допомогою прямокутних, універсальних чотирикутних та трикутних скінчених елементів (в СЕ-бібліотеці ПК «Ліра» – № 281, 284, 282). Тимчасове кріплення змодельоване як аркове безшарнірне з двотавру № 20 за допомогою стержневих СЕ № 10 довжиною 0,569 м (рис. 1).

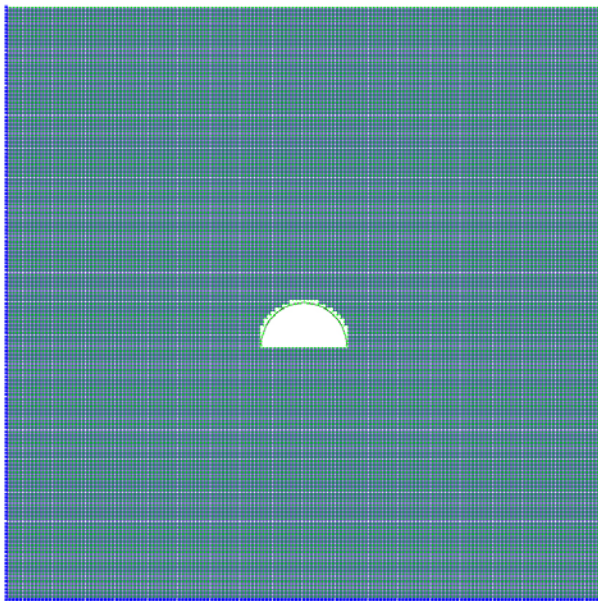


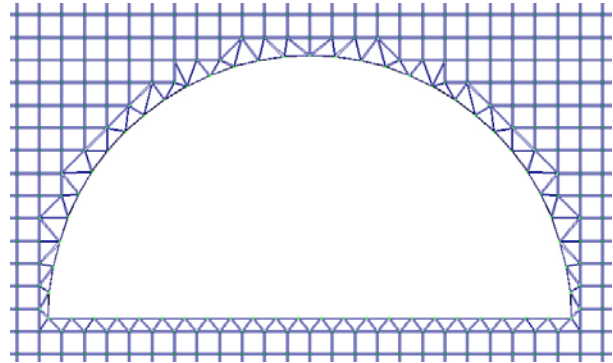
Рис. 1. Загальний вигляд моделі

Ґрунтовий масив змодельований за допомогою скінчених елементів № 281 розміром $0,5 \times 0,5$ м. Виробка мала наступні параметри: ширина – 11,6 м, висота – 5,8 м. Модель мала розміри: ширина – 81,2 м, висота – 81 м.

Оскільки склепіння виробки має неколове окреслення, то дискретизувати ґрунтовий масив за допомогою тільки прямокутних скінчених елементів неможливо. У ПК «Ліра» дискрети-

зація ґрунтового масиву з трикутних або чотирикутних скінчених елементів в зоні взаємодії з тимчасовим кріпленням проводиться за допомогою інструменту «Створення та триангуляція контуру» (рис. 2).

а)



б)

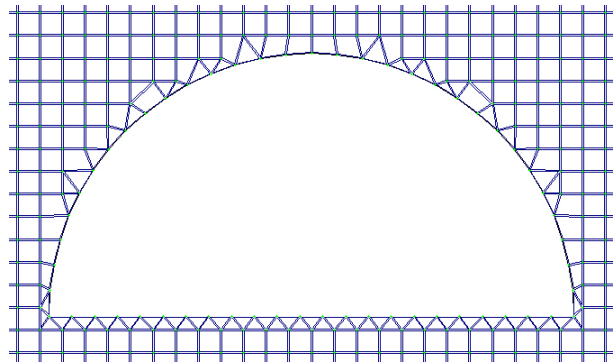


Рис. 2. Триангуляція чотирикутними скінченими елементами:

а) модель 1; б) модель 2

Розглядаємо дві моделі: модель 1 – зона взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом дискретизовано за допомогою СЕ № 282, модель 2 – за допомогою СЕ № 284.

Модель 2 (див. рис. 2, б) демонструє, що інструмент автоматичної триангуляції контуру в ПК «Ліра» не дає стовідсоткового моделювання чотирикутними скінченими елементами, тому необхідно вручну видаляти трикутні елементи та моделювати замість них чотирикутні.

Скінчені елементи для моделювання ґрунту мають такі характеристики: модуль деформації ґрунту по ланці первинного навантаження (E), коефіцієнт Пуассона (ν), товщина ґрунтового масиву (H), питома вага ґрунту (R_0), граничне напруження на стиск (σ_p), зчеплення (C), граничне напруження на розтяг (R_t), кут внутріш-

нього тертя (F_i), коефіцієнт переходу до модуля деформації ґрунту по ланці вторинного навантаження (K_e).

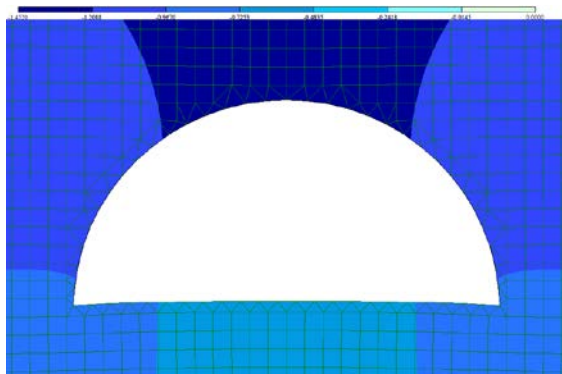
Для моделювання обрано аргіліт з коефіцієнтом міцності $f = 2,6$, який має такі характеристики: $E = 4,5 \cdot 10^7$ кН/м²; $\nu = 0,3$; $H = 1$ м; $R_0 = 25,4$ кН/м³; $\sigma_p = 260000$ кН/м²; $\tilde{N} = 5000$ кН/м²; $R_t = 5000$ кН/м²; $F_i = 30$; $K_e = 1$.

Після створення обох моделей, проводився їх чисельний аналіз із детальним дослідженням його результатів.

Результати

В результаті розрахунку двох моделей отримані результати НДС.

а)



б)

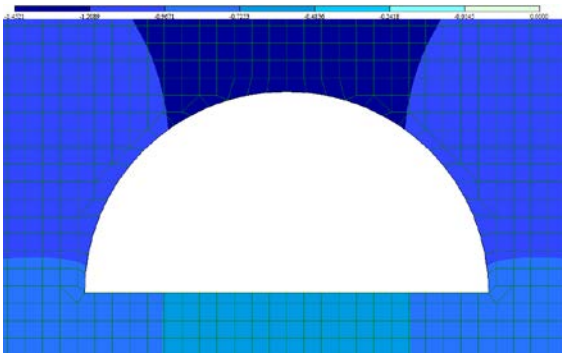


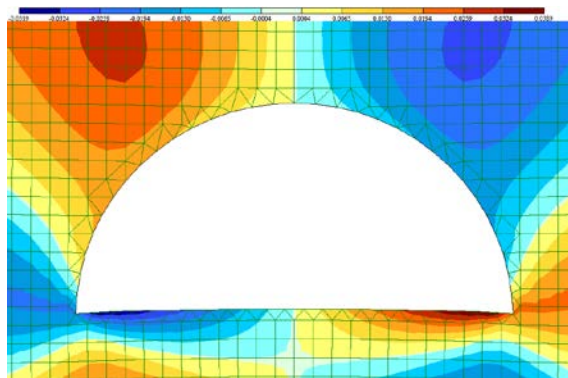
Рис. 3. Ізополя переміщень по вертикальній вісі:
а) модель 1; б) модель 2

Ізополя переміщень по вертикальній вісі (див. рис. 3) в зоні взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом для моделей 1 і 2 змінюються в діапазоні від $-1,45$ до 0 мм. Для моделей 1 і 2 максимальне переміщення по вертикальній вісі у склепінні має величину $-1,270$

мм (у вузлі № 17, замок), мінімальне – $-0,891$ мм (у вузлах № 1 та 33) для моделі 1 і $-0,892$ мм для моделі 2.

Максимальне переміщення по вертикальній вісі у підшві має величину $-0,824$ мм (у вузлах № 34 та 55), мінімальне – $-0,673$ мм (у вузлах № 44 та 45) для моделі 1 і $-0,844$ мм (у вузлах № 34 та 56), мінімальне – $-0,673$ мм (у вузлі № 45) для моделі 2.

а)



б)

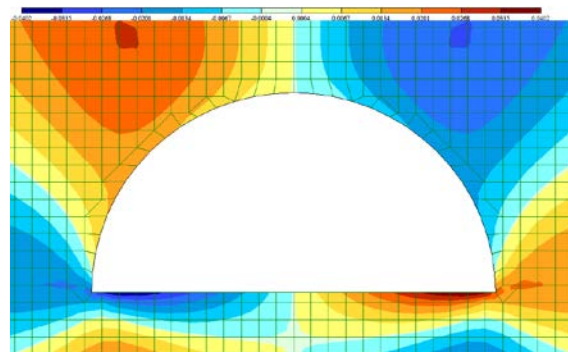


Рис. 4. Ізополя переміщень по горизонтальній вісі:
а) модель 1; б) модель 2

Ізополя переміщень по горизонтальній вісі (див. рис. 4) в зоні взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом для моделі 1 змінюються в діапазоні від $-0,0389$ до $0,0389$ мм, для моделі 2 – від $-0,0402$ до $0,0402$ мм.

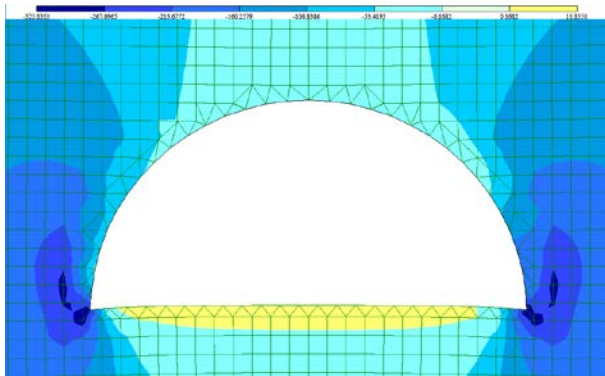
Максимальні переміщення по горизонтальній вісі у склепінні мають величину $0,021$ та $-0,021$ мм (у вузлах № 1 та 33), мінімальне – 0 мм (у вузлі № 17) для моделі 1; $0,023$ та $-0,023$ мм (у вузлах № 1 та 33), мінімальне – 0 мм (у вузлі № 17) – для моделі 2.

Напруження у ґрунтовому масиві по вертикальній вісі (рис. 5) в зоні взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом для моделі 1

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

змінюються у діапазоні від $-320,8$ до $16,8$ т/м², в моделі 2 – у діапазоні від $-281,7$ до $-0,38$ т/м².

а)



б)

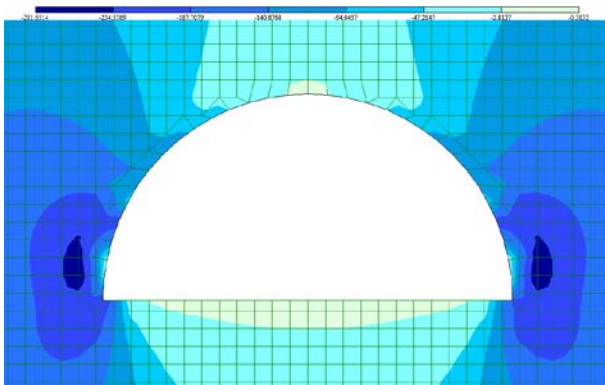


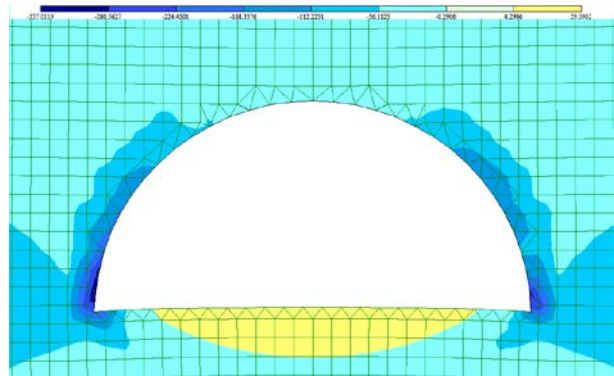
Рис. 5. Ізополя напружень по вертикальній вісі:
а) модель 1; б) модель 2

Слід відмітити, що в моделі 1 ізополя напружень у зоні взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом мають несиметричне окреслення у склепінні, у підшві та у місцях концентрації напружень, а в моделі 2 ізополя навколо тимчасового кріплення у склепінні мають симетричний обрис, у місцях концентрації напружень – не симетричний обрис. У підшві, крім крайніх елементів, в моделі 2 ізополя напружень мають симетричний обрис.

Напруження у ґрунтовому масиві по горизонтальній вісі (рис. 6) в зоні взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом для моделі 1 змінюються у діапазоні від $-337,0$ до $29,1$ т/м², для моделі 2 – у діапазоні від $-423,137$ до $43,0$ т/м². Ізополя напружень для моделі 1 у зоні взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом мають несиметричний обрис у склепінні, у підшві та у місцях концентрації напружень, а для моделі 2 ізополя напружень у зоні взаємодії тимчасового кріплення

з оточуючим ґрунтовим масивом у склепінні мають симетричний обрис.

а)



б)

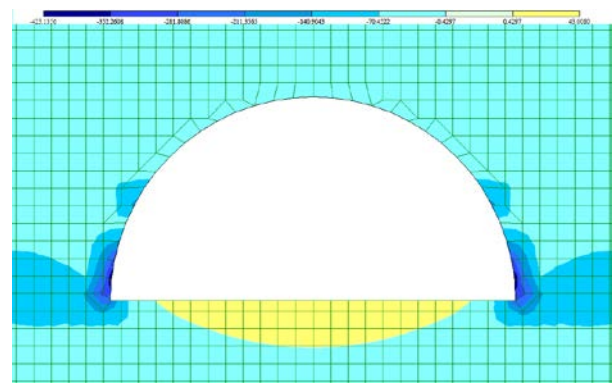


Рис. 6. Ізополя напружень по горизонтальній вісі:
а) модель 1; б) модель 2

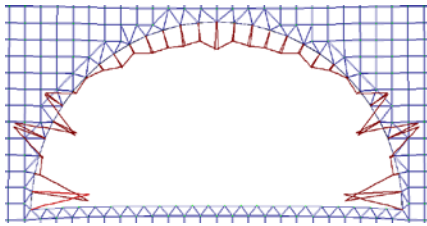
Максимальні напруження у склепінні для моделі 1: $N_x = -421,9$ т/м² (у елементах № 33 та 64) і $N_z = -313,1$ т/м² (у елементі № 62), мінімальні напруження – $N_x = -5,43$ т/м² (у елементі № 62) і $N_z = -0,51$ т/м² (у елементах № 48-49); максимальні напруження у склепінні для моделі 2: $N_x = -480,8$ т/м² (у елементах № 33 та 64); $N_z = -252,2$ т/м² (у елементах № 36 та 61), мінімальні напруження: $N_x = -2,8$ т/м² (у елементах № 42 та 55); $N_z = -1,41$ т/м² (у елементах № 48-49).

Максимальні напруження у підшві для моделі 1: $N_x = -317,74$ т/м² (у елементі № 65) і $N_z = -324,5$ т/м² (у елементі № 87), мінімальні напруження – $N_x = 18,5$ т/м² (у елементі № 74) і $N_z = 27,1$ т/м² (у елементі № 74); максимальні напруження у підшві для моделі 2:

$N_x = -296,7 \text{ т/м}^2$ (у елементах № 65 та 90);
 $N_z = -323,6 \text{ т/м}^2$ (у елементі № 66), мінімальні
 напруження: $N_x = 42,9 \text{ т/м}^2$ (у елементах № 77
 та 78); $N_z = -0,28 \text{ т/м}^2$ (у елементі № 69).

Максимальний згинальний момент в тимчасовому кріпленні (рис. 7) має величини 0,0092 кН·м (модель 1) і 0,0278 кН·м (модель 2).

а)



б)

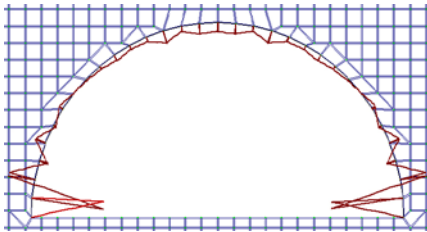
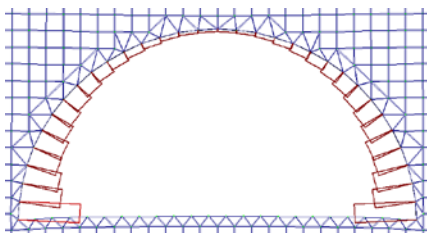


Рис. 7. Епюра моментів:
 а) модель 1; б) модель 2

Максимальна поздовжня сила (рис. 8) має однакову величину $-5,9 \text{ кН}$ (у елементах 1 та 32) для обох моделей.

а)



б)

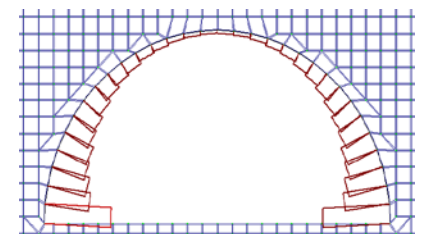


Рис. 8. Епюра поздовжніх сил:
 а) модель 1; б) модель 2

З діаграми (рис. 9) видно, що у вузлах 3-16 переміщення відрізняються на незначну вели-

© В. П. Купрій, О. Л. Тютькін, П. Є. Захарченко, 2017

чину, у вузлах, які знаходяться в місцях концентрації напружень (№ 1 і 2), переміщення відрізняються на величину більшу, ніж у всіх інших вузлах. Це пов'язано із особливостями роботи трикутних та універсальних чотирикутних скінчених елементів.

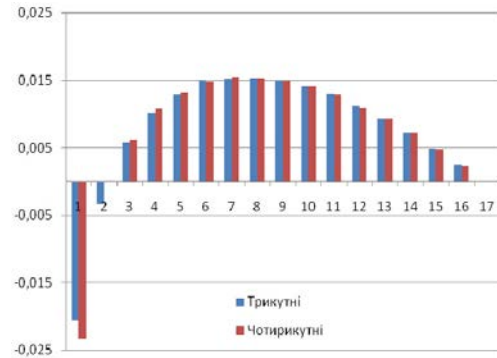
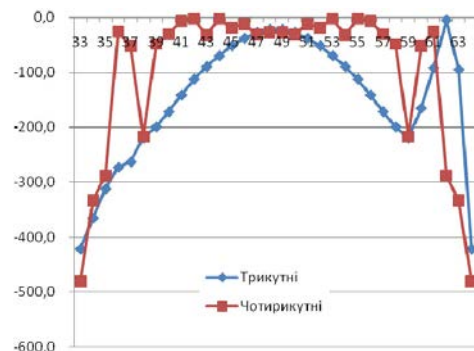


Рис. 9. Порівняльна діаграма переміщень по вісі X між моделями 1 та 2

На графіку горизонтальних і вертикальних напружень у ґрунті (рис. 10) чітко видно несиметричність у моделі 1 та різницю між напруженнями у моделях 1 та 2.

а)



б)

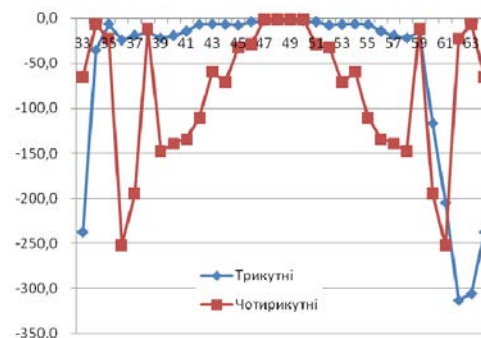


Рис. 10. Графік напружень у ґрунті по осям:
 а) горизонтальна; б) вертикальна

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Це пов'язано із особливостями роботи трикутних та універсальних чотирикутних скінченних елементів.

Найбільш показовим є порівняльний графік згинальних моментів у елементах тимчасового кріплення (рис. 11). В графіку наведено згинальні моменти, причому їх значення відрізняються через особливості роботи трикутних та універсальних чотирикутних скінченних елементів.

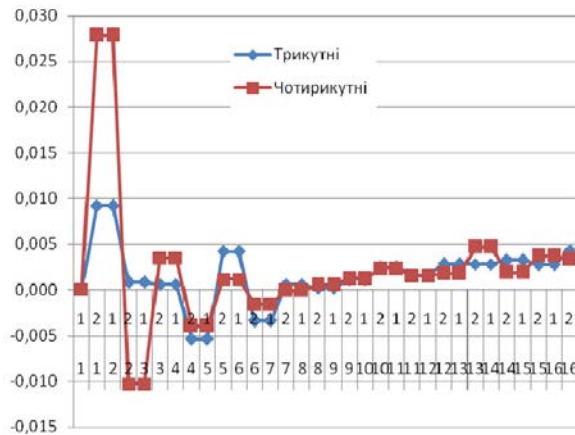


Рис. 11. Порівняльний графік значень згинального моменту у тимчасовому кріпленні

З наведених вище результатів аналізу можна зробити висновок, що універсальні трикутні скінченні елементи дають несиметричні результати, відповідно їх краще використовувати в місцях, в яких отримані напруження та переміщення не будуть впливати на результати. Це реалізується у моделі радіальною розбивкою вузлів у зоні взаємодії тимчасового кріплення з оточуючим ґрунтовим масивом.

Моделі із радіальною розбивкою вузлів в зоні взаємодії тимчасового кріплення з оточуючим ґрунтовим масивом дозволяє використовувати трикутні та універсальні чотирикутні скінченні елементи, як перехідні до прямокутних чотирикутних, в місцях, де отримані напруження не впливають на результати моделювання зони взаємодії ґрунту та тимчасового кріплення.

Така модель дозволяє отримати більш дрібну сітку вузлів у зоні взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом, що дозволяє отримувати більш точні результати розрахунку (рис. 12).

Не наводячи рисунків результатів моделі 3 для економії місця, наведено основні параметри

її напружено-деформованого стану.

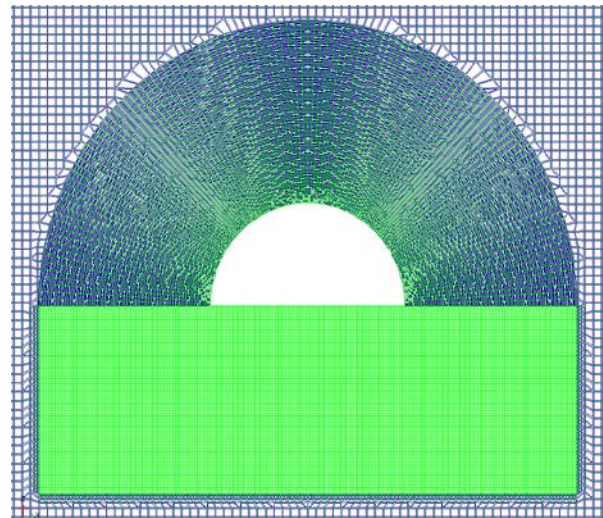


Рис. 12. Моделі із радіальною розбивкою вузлів (моделі 3)

Переміщення по вісі Z змінюються в діапазоні від $-1,45$ до 0 мм. Переміщення по вісі X змінюються в діапазоні від $-0,0424$ до $0,0424$ мм. Максимальні переміщення по вісі X у склепінні мають величину $0,026$ та $-0,026$ мм (у вузлах № 1 та 121), мінімальне -0 мм (у вузлі № 61). Максимальне переміщення по вісі Z у склепінні має величину $-1,27$ мм (у вузлі № 61, замковий вузол), мінімальне $-0,898$ мм (у вузлах № 1 та 121).

Напруження у ґрунтовому масиві по вісі Z змінюються у діапазоні від $-418,8$ до $-0,13$ т/м², по вісі X – у діапазоні від $-562,9$ до $47,9$ т/м². Ізополя напружень у зоні взаємодії тимчасового кріплення з оточуючим ґрунтовим масивом мають симетричний обрис.

Максимальні напруження у склепінні мають величину: $N_x = -643,4$ т/м² (у елементах № 121 та 240); $N_z = -206,8$ т/м² (у елементах № 121 та 240). Мінімальні напруження у склепінні складають: $N_x = -23,4$ т/м² (у елементах № 180 та 181); $N_z = -0,13$ т/м² (у елементах № 180-181). Чисельні результати напружень у склепінні є симетрично рівними.

Максимальна поздовжня сила має величину $-8,1$ кН (у елементах 1 та 120). Максимальний згинальний момент має величину $0,17$ кН·м (елемент 1 та 2, 119 та 120). Зусилля симетрично рівні.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна отриманих результатів полягає у встановленні того факту, що при чисельному аналізі НДС тунельної оправи неколового окреслення його результати (напруження та переміщення елементів оправи тунелю, зусилля в тимчасовій оправі) суттєво залежать від форми, розмірів та конфігурації застосовуваних СЕ, від розмірів розрахункової області ґрунтового масиву, а також від умов закріплення ґрунтового масиву (граничних умов).

Практичну значимість отримано при визначенні особливостей дискретизації та необхідних розмірів розрахункової області ґрунтового масиву при моделюванні системи «оправа – ґрунтовий масив», що забезпечують достатню точність розрахунку параметрів напружено-деформованого стану оправи.

Висновки

Результати проведеного дослідження свідчать про те, що навіть відомі та вже автоматизовані процеси програмних комплексів, наприклад, такі як дискретизація розрахункової області, не можна вважати остаточними. Безсумнівно те, що чисельний аналіз на основі методу скінченних елементів є не стовідсотково формалізованим процесом, і деякі його процедури потребують наукового обґрунтування в кожному конкретному випадку. В розглянутій конструкції неколового окреслення, для якої було створено три моделі із різним типом дискретизації, доведено, що її вплив є надто важливим при отриманні адекватних реальності результатам, і їм неможна нехтувати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Городецкий, А. С. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений [Текст] / А. С. Городецкий, В. И. Заворицкий, А. И. Лантух-Лященко, А. О. Рассказов. – Москва : Транспорт, 1981. – 143 с.
2. Фадеев, А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике [Текст] / А. Б. Фадеев. – Москва : Недра, 1989. – 260 с.
3. Немчинов, Ю. И. Метод пространственных конечных элементов [Текст] / Ю. И. Немчинов. – Киев : НИИСК, 1995. – 368 с.
4. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] /

А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев : Сталь, 2002. – 600 с.

5. Петренко, В. Д. Обзор аналитических и экспериментальных методов исследования взаимодействия массива и крепи [Текст] / В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкин, В. И. Петренко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 1. – С. 75-81.
6. Купрій, В. П. Моделювання сумісної роботи конструкції кріплення котловану та ґрунту з застосуванням методу скінчених елементів (МСЕ) [Текст] / В. П. Купрій, Є. Ю. Кулаженко, А. С. Гудкова // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2015. – Вип. 7. – С. 19-26.
7. Петренко, В. Д. К вопросу о дискретизации конечно-элементных моделей [Текст] / В. Д. Петренко, А. Л. Тютюкин // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – 2002. – Вып. 18. – С. 123-128.
8. Тютюкін, О. Л. Практичні основи створення моделі станції метрополітену методом автоматичної триангуляції [Текст] / О. Л. Тютюкін, Т. А. Педосенко // Тези 75 Міжнар. наук.-техн. конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2015. – С. 285-286.
9. Тютюкін, О. Л. Автоматична триангуляція для вирішення задач пошуку НДС взаємовпливаючих виробок [Текст] / О. Л. Тютюкін, В. М. Бізяєв // Тези 76 Міжнар. наук.-техн. конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2016. – С. 169-170.
10. Купрій, В. П. Оптимізація режиму роботи тимчасового кріплення під час будівництва гірничого тунелю [Текст] / В. П. Купрій, Є. В. Сьомкіна // Тези 76 Міжнар. наук.-техн. конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2016. – С. 199-201.
11. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О. Зенкевич. – Москва : Мир, 1975. – 542 с.
12. Рикардс, Р. Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин [Текст] / Р. Б. Рикардс. – Рига : Зинатне, 1988. – 284 с.
13. Cheon, D. S. Numerical analysis of geotechnical parameters on subsidence due to underground mining / D. S. Cheon, S. O. Choi, Y. S. Jeon, C. Ryu. – Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future, Erdem & Solak, 2005. – London : Taylor & Francis Group, 2005. – pp. 245-251.
14. Irons, B. M. The superpatch theorem and other proposition relating to the patch tests / B. M. Irons

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- // Proc. of the 5th Canadian Congress of Applied Mechanics, Fredericton, 1975. – pp. 651-652.
15. Pang, C. H. Some considerations in finite element analysis of tunneling / C. H. Pang, K. Y. Yong, G. R. Dasari. – Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future, Erdem & Solak, 2005. – London : Taylor & Francis Group, 2005. – pp. 1149-1154.

В. П. КУПРИЙ^{1*}, А. Л. ТЮТЬКИН², П. Е. ЗАХАРЧЕНКО³

^{1*} Кафедра «Мости и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (099) 616 77 46, эл. почта kypriy@i.ua, ORCID 0000-0002-6517-2554

² Кафедра «Мости и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, эл. почта alexeyutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

³ Кафедра «Мости и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (096) 354 34 96

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ ЧИСЛЕННОМ АНАЛИЗЕ ТОННЕЛЕЙ НЕКРУГОВОГО ОЧЕРТАНИЯ

Цель. В статье исследовано влияние на напряженно-деформированное состояние дискретизации конечно-элементной модели в численном анализе тоннелей некругового очертания. **Методика.** Для достижения поставленной цели, авторами были разработаны три конечно-элементные модели калотной части выработки при строительстве двухпутного железнодорожного тоннеля. В каждой из моделей в программном комплексе «Лири» была конкретным способом дискретизирована зона взаимодействия с временным креплением. После создания моделей, проводился их численный анализ с детальным исследованием его результатов. **Результаты.** Получены значения деформаций и напряжений конечно-элементных моделей по горизонтальной и вертикальной осям, а также максимальные значения моментов и продольных сил во временном креплении. Проведен сравнительный анализ полученных значений. Построены графики закономерностей указанных результатов от особенностей дискретизации двух моделей. Исследована третья конечно-элементная модель с радиальной разбивкой узлов в зоне взаимодействия временного крепления с окружающим грунтовым массивом. **Научная новизна.** Установлено, что при численном анализе НДС тоннельной обделки некругового очертания его результаты существенно зависят от формы, размеров и конфигурации применяемых конечных элементов, от размеров расчетной области грунтового массива, а также от условий его закрепления (пределных условий). **Практическая значимость.** Определено особенности дискретизации и необходимых размеры расчетной области грунтового массива при моделировании системы «обделка – грунтовый массив», которые обеспечивают достаточную точность расчета параметров напряженно-деформированного состояния обделки.

Ключевые слова: метод конечных элементов; тоннель некругового очертания; дискретизация; напряженно-деформированное состояние

В. П. КУПРИЙ^{1*}, О. Л. ТЮТЬКИН², П. Е. ЗАХАРЧЕНКО³

^{1*} Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (099) 616 77 46, e-mail kypriy@i.ua, ORCID 0000-0002-6517-2554

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

³ Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 354 34 96

GROUND OF PARAMETERS OF DISCRETISATION AT THE NUMERICAL ANALYSIS OF NON-CIRCULAR OUTLINE TUNNELS

Purpose. Influence on the strain-stress state of discretization of finite element model in the numerical analysis of non-circular outline tunnels is explored in the article. **Methodology.** For achievement of the put purpose, authors developed three finite element models of callote part at building of two-line railway tunnel. In each of models in a programmatic complex «Lira» was a concrete method of discretization area of cooperation with the temporal fastening. After creation of models, their numerical analysis with the detailed research of his results was conducted. **Findings.** The values of deformations and tensions of finite element models on horizontal and vertical axes, and also maximal values of moments and longitudinal forces in the temporal support are got. The comparative analysis of the got values is conducted. The graphs of conformities to the law of the indicated results from the features of discretization of two models are built. The third finite element model with the radial laying out of knots in the area of cooperation of the temporal fastening with the surrounding ground array is explored. **Originality.** It is set that at the numerical analysis of SSS of tunnel support of non-circular outline his results substantially depend on a form, sizes and configuration of the applied finite elements, from the sizes of calculation area of the ground massif, and also from the terms of his fixing (maximum terms). **Practical value.** The features of discretization and necessary sizes of calculation area of the ground massif at the design of the system are certain «support – ground massif », which provide sufficient exactness of calculation of parameters of the strain-stress state of support.

Keywords: finite element method; non-circular outline tunnels; discretization; strain-stress state

REFERENCES

1. Gorodetskiy A. S., Zavoritskiy V. I., Lantukh-Lyashchenko A. I., Rasskazov A. O. *Metod konechnykh elementov v proektirovanii transportnykh sooruzheniy* [The finite element method in the design of transport structures]. Moscow, Transport Publ., 1981. 143 p.
2. Fadeev A. B. *Metod konechnykh elementov v geomekhanike* [Finite element method in geomechanics]. Moscow, Nedra Publ., 1989. 260 p.
3. Nemchinov Yu. I. *Metod prostranstvennykh konechnykh elementov* [The method of spatial finite elements]. Kyjiv, NIISK Publ., 1995. 368 p.
4. Perelmuter A. V., Slivker V. I. *Raschetnye modeli sooruzheniy i vozmozhnost ikh analiza* [Calculation models of constructions and possibility of their analysis]. Kyjiv, Stal Publ., 2002. 600 p.
5. Petrenko V. D., Tyutkin A. L., Petrenko V. I. *Obzor analiticheskikh i eksperimentalnykh metodov issledovaniya vzaimodeystviya massiva i krepki* [Review of analytical and experimental methods of research of co-operation of massif and support]. *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 1, pp. 75-81.
6. Kuprii V. P., Kulazhenko Ye. Yu., Hudkova A. S. *Modeliuvannia sumisnoi roboty konstruktsii kriplennia kotlovanu ta gruntu z zastosuvanniam metodu skinchenykh elementiv (MSE)* [Simulation of the joint operation of the foundation foundation and soil fixation using the finite element method (FEM)]. *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2015, issue 7, pp. 19-26.
7. Petrenko V. D., Tyutkin A. L. *K voprosu o diskretizatsii konechno-elementnykh modeley* [On the question of discretization of finite element models]. *Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie – Construction. Materials Science. Mechanical engineering*, 2002, issue 18, pp. 123-128.
8. Tiutkin O. L., Pedosenko T. A. *Praktychni osnovy stvorennia modeli stantsii metropolitenu metodom avtomatichnoi trianhuliatsii* [Practical bases for creating a model of a subway station by the method of automatic triangulation]. *Tezy 75 Mizhnar. nauk.-tekhn. konferentsii «Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu»* [Abstracts 75 International Sci.-Tech. Conference «Problems and Prospects for the Development of Railway Transport»]. Dnipropetrovsk, 2015, pp. 285-286.
9. Tiutkin O. L., Biziaiev V. M. *Avtomatychna trianhuliatsiia dlia vyrishennia zadach poshuku NDS vzaiemovplyvaiuchykh vyrobok* [Automatic triangulation for solving search problems for VAT interfacing workings]. *Tezy 76 Mizhnar. nauk.-tekhn. konferentsii «Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu»* [Abstracts 76 International Sci.-Tech. Conference «Problems and Prospects for the Development of Railway Transport»]. Dnipropetrovsk, 2016, pp. 169-170.
10. Kuprii V. P., Somkina Ye. V. *Optymizatsiia rezhymu roboty tymchasovoho kriplennia pid chas budivnytstva hirnychoho tuneliu* [Optimization of the mode of temporary fixing during the construction of a mining tunnel]. *Tezy 76 Mizhnar. nauk.-tekhn. konferentsii «Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu»* [Abstracts 76 International Sci.-Tech. Conference «Problems and Prospects for the Development of Railway Transport»]. Dnipropetrovsk, 2016, pp. 199-201.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

11. Zenkevich O. *Metod konechnyh jelementov v tehnikе* [Finite element method in engineering]. Moscow, Mir Publ., 1975. 542 p.
12. Rikards R. B. *Metod konechnyh jelementov v teorii obolochek i plastin* [The finite element method in the theory of shells and plates]. Riga, Zinatne Publ., 1988. 284 p.
13. Cheon D. S., Choi S. O., Jeon Y. S., Ryu C. Numerical analysis of geotechnical parameters on subsidence due to underground mining. *Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future*, Erdem & Solak, 2005. London, Taylor & Francis Group, 2005, pp. 245-251.
14. Irons B. M. The superpatch theorem and other proposition relating to the patch tests. *Proc. of the 5th Canadian Congress of Applied Mechanics*, Fredericton, 1975, pp. 651-652.
15. Pang C. H., Yong K. Y., Dasari G. R. Some considerations in finite element analysis of tunneling. *Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future*, Erdem & Solak, 2005. London, Taylor & Francis Group, 2005, pp. 1149-1154.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. М. Біляєвим (Україна), д.т.н., проф. Й. Й. Лучком (Україна).

Надійшла до редколегії 20.08.2017.

Прийнята до друку 25.09.2017.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.014-023.737:624.21

Й. Й. ЛУЧКО¹, Ю. Є. КОВАЛЬЧУК², І. Б. КРАВЕЦЬ^{3*}

¹ Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 033 18 36, ел. пошта lychko.diit@mail.ru, ORCID 0000-0002-3675-0503

² Кафедра «Будівельне виробництво», Національний університет «Львівська політехніка» вул. Карпінського, 6, м. Львів, Україна, 79013, тел. +38 (067) 360 22 22, ел. пошта tzov.lviv.bud@gmail.com, ORCID 0000-0002-1151-5785

^{3*} Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 479 00 50, ел. пошта kravetsivan2017@gmail.com, ORCID 0000-0002-2239-849X

МЕТОДИ ОЦІНКИ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Мета. Метою роботи є проведення аналізу методів розрахунку та оцінки несучої здатності металевих гофрованих конструкцій (далі МГК) при взаємодії із ґрунтовою засипкою в результаті дії навантажень від рухомого складу залізниць чи автотранспорту. Обґрунтувати можливість застосування даних методів при розрахунку труб різного діаметру та різної конструктивної форми. **Методика.** Аналізуються методи розрахунку напружено-деформованого стану металевих гофрованих конструкцій труб малого діаметру (до 3 м.) при постійних навантаженнях та методи розрахунку МГК великого діаметру більше 6 м. **Результати.** Розрахункові моделі, що враховують просторову роботу конструкцій, є більш коректними ніж «плоскі» моделі і розрахункові схеми і тому при розрахунку МГК слід застосовувати саме тривимірні моделі розрахунку, які найбільш реально моделюють роботу металевих гофрованих конструкцій. **Наукова новизна.** Вперше проведено аналіз методик розрахунку та досвіду проектування гнучких металевих гофрованих конструкцій при взаємодії із ґрунтовою засипкою і при впливі навантажень від рухомого складу залізничного та автомобільного транспорту. **Практичне значення.** Отриманий аналіз методик оцінки несучої здатності металевих гофрованих конструкцій різної форми поперечного перетину, можуть бути використані інженерами мостовипробувальних станцій Укрзалізниці та Укравтодору та проектними організаціями, які займаються проектуванням та спорудженням МГК.

Ключові слова: металева гофрована конструкція; методики; аналіз; несуча здатність; згинальні моменти; поперечні сили

Вступ

Проблеми створення та вдосконалення методів розрахунку металевих гофрованих конструкцій (МГК) у ґрунтовому середовищі почали розвиватися паралельно з їх впровадженням у практику будівництва. При проектуванні металевих гофрованих конструкцій перед проектувальниками стоїть задача вибору аналітичної моделі оцінки несучої здатності МГК і крім того, враховуючи те, що проектувальники України не мають досвіду проектування металевих гофрованих споруд «конструкція-ґрунт» то дана робота є актуальною і своєчасною.

Мета

Метою роботи є проведення аналізу методів розрахунку та оцінки несучої здатності металевих гофрованих конструкцій при взаємодії із

ґрунтовою засипкою в результаті дії навантажень від рухомого складу залізниць чи автотранспорту. Обґрунтувати можливість застосування даних методів при розрахунку труб різного діаметру та різної конструкції.

Методика

На початковому етапі розвитку методів оцінки несучої здатності МГК (а це були труби невеликих діаметрів) «конструкція – ґрунт» використовувалися експериментальні методи і найпростіші розрахунки, в яких МГК завантажувалися постійним навантаженням, що виникало від дії тиску ґрунту.

У роботі [1] Ясевіч використав гіпотезу про рівномірний розподіл тисків на трубу з усіх боків, і отримав емпіричну формулу для розрахунку руйнуючого тиску на трубу:

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

$$p = c \sqrt{\frac{W}{dl}}, \quad (1)$$

де c – емпіричний коефіцієнт, рівний 6; d – діаметр труби в м; l – довжина труби, м.

У працях [1, 2] можна виділити метод розрахунку металевих гофрованих конструкцій – метод Фельдта. Даний спосіб розрахунку міцності гофрованих труб ґрунтувався на формулі напруженого стану матеріалу, який знаходиться під дією стискаючої сили і згинального моменту:

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M}{W} \leq \sigma_{sp}. \quad (2)$$

Даний метод не враховує переміщення горизонтального перерізу труби.

За методикою Леві визначення зовнішніх впливів провадиться, як і у Фельдта, на вершині труби від однієї шпали із стоячою на ній віссю рухомого складу, а розподіл тиску в ґрунті приймається під кутом в 45° . Цей тиск потім умовно вважався рівномірно розподіленим на поверхню труби. Максимальне напруження за Леві розраховувалось за формулою:

$$\sigma = \frac{qr}{\omega} \leq \sigma_{sp}, \quad (3)$$

де r – радіус труби; q – інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження; ω – площа перерізу кільця смужки труби.

При використанні даних методів, для практичного розрахунку металевих гофрованих конструкцій, був зроблений висновок про значне розходження розрахункових результатів, отриманих за вище описаними методами, з експериментальними даними і про необхідність подальшого розвитку методів розрахунку металевих гофрованих труб.

З середини 30-х років минулого століття на другому етапі розвитку методів розрахунку МГК, почали враховувати пружний відтиск ґрунту [3]. Було використано модель сипучого тіла для стану граничного рівноваги засипки для вертикального σ_z і горизонтального σ_x напружень у досліджуваному масиві ґрунту на глибині z від поверхні та отримано наступні формули для оцінки напруженого стану гофрованих конструкцій:

$$\sigma_z = \gamma z; \quad \sigma_x = \xi_a \gamma z, \quad (4)$$

де γ – об'ємна вага ґрунту; $\xi_a = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\Phi}{2}\right)$ – коефіцієнт активного бокового тиску ґрунту.

У роботах [4, 5] зроблено висновок, що тиск не дорівнює вазі ґрунту над трубою, і це може бути враховано введенням відповідного коефіцієнта концентрації тиску ґрунту C і формула (4) набуде вигляду

$$\sigma_z = C \gamma z. \quad (5)$$

Герцог А. А. у своїх працях відзначає, що вертикальний тиск на гофровані металеві труби діаметром від 0,61 до 1,22 м при висоті засипки 10,5 м над верхом конструкції становить більше 50 % від ваги стовпа ґрунту над спорудою, а для залізобетонних труб у тих же умовах – до 150 %.

Методика Marstona-Spanglera, що відома з 1941р., була запропонована для конструкцій кругового перерізу малого діаметру і в подальшому вдосконалена Ярошенком В. А. у праці [6]. Вона ґрунтується на припущенні, що верхня і нижня частина конструкції зазнають дії рівномірного вертикального тиску засипки (ґрунту), а бічні поверхні зазнають дії горизонтального тиску засипки, яка змінюється за параболічним законом. Основним чинником деформації конструкції є згинальні моменти.

У роботі [5] встановлено, що для жорстких конструкцій, поперечні деформації яких незначні, величина коефіцієнта концентрації вертикального тиску C більша одиниці і за певних умов може досягнути 2, а для гнучких споруд, і в тому числі гофрованих, вона менше одиниці.

У роботі [7] М. Шпенглер у 1941 р. пропонує для металевих трубопроводів у якості максимально допустимої величини приймати зменшення діаметра на 5 %. що дає коефіцієнт запасу, рівний приблизно чотирьом. Побудована на основі чисельних натурних експериментів, які виконувались в 30-х роках минулого століття деканом Університету штату Айова США Ансоном Марстоном (Anson Marston) модель часто називається «теорія Марстона-Шпенглера», або «формула Айова».

Максимальна ордината горизонтального тиску ґрунту визначається залежністю:

$$p_x = \frac{\Delta x \cdot E'}{2r}, \quad (6)$$

де Δx – горизонтальна лінійна деформація кільця; E' – модуль горизонтальної деформації ґрунту (модуль пасивної деформації ґрунту).

Горизонтальна деформація труби Δx визначається за формулою:

$$\Delta x = K_1 \frac{K_B P_c r^3}{E_p I_p + 0,061 E r^3}, \quad (7)$$

де K_1 – емпіричний коефіцієнт, що враховує появу додаткових радіальних деформацій, викликаних довготривалими процесами в ґрунті засипки; K_B – коефіцієнт умов обпирання труби на фундамент; P_c – вертикальне навантаження від ґрунту та тимчасового навантаження на одиницю довжини труби; r – середній радіус труби; E_p – модуль пружності матеріалу труби; I_p – момент інерції перерізу труби на одиницю довжини труби; E' – модуль горизонтальної деформації ґрунту засипки.

Коефіцієнт умов роботи труби на фундаменті K_B у формулі (7) залежить від кута постелі труби α . Він змінюється у межах [0,083...0,110]. Для випадку фундаменту, що не змінює свою щільність у процесі експлуатації, приймають $K_B = 0,1$.

Вертикальне навантаження від ґрунту та тимчасового навантаження на одиницю довжини труби становить:

$$P_c = 2r(p_v + p_g), \quad (8)$$

де p_v – вертикальне тимчасове рівномірно-розподілене на довжині $2r$ навантаження від рухомого транспорту; p_g – вертикальне рівномірно-розподілене на довжині $2r$ навантаження від власної ваги ґрунту.

Коефіцієнт, що враховує появу додаткових радіальних деформацій викликаних довготривалими процесами в ґрунті засипки K_1 приймається рівним 1,5. У сучасних спорудах, де засипку виконують ґрунтом спеціально підібраного гранулометричного складу приймають $K_1 = 1,0$.

Стискаюче вертикальне зусилля у перерізі кільця площиною xOy на одиницю довжини труби дорівнює половині навантаження від ґрунту та тимчасового навантаження

$$N = r(p_v + p_g). \quad (9)$$

Коефіцієнт надійності стиснених перерізів не вводиться. Проте виконується контроль величини напружень розтягу в крайніх волокнах перерізів. Моменти в перерізах мають значення:

$$M = 0,08 p r^2, \quad (10)$$

де $p = (p_v + p_g)$ – повне рівномірно-розподілене вертикальне навантаження на довжині $2r$.

Для жорстких труб теорія тиску А. Марстона була надалі розвинена в роботах Г. К. Клейна [3], Н. М. Виногорова [14], В. А. Ярошенка [6] та ін.

Методика Клейна ґрунтується на припущенні, що в процесі деформування труба зазнає опору ґрунту, внаслідок чого відбувається деяке зменшення напружень у матеріалі труби. У розрахунках дане припущення відображено введенням коефіцієнта зменшення згинальних моментів. Що стосується тисків на гнучкі труби, то рекомендації на цей рахунок, як правило, передбачали коефіцієнт C рівним 1,0 [8].

У якості розрахункової моделі ґрунту для оцінки взаємодії МГК із засипкою найбільш поширеними були моделі Вінклера і модель пружної півплощини.

Модель основи Вінклера ($p = kw$) піддавалася критиці оскільки коефіцієнт опору k є невизначеною величиною і не може бути виражений через основні характеристики ґрунтів – модуль деформації E_0 і коефіцієнт Пуассона ν_0 . Проте у зв'язку з простим вираженням залежності $p = kw$, багато авторів [9, 10] висловлюються за збереження в розрахунках цієї залежності, але при більш обґрунтованому визначенні коефіцієнта k .

Широкого застосування отримала розрахункова модель пружної півплощини. У якій зв'язок між переміщеннями середовища в точці з координатами (x, y) і реактивним тиском p приймається у вигляді рівняння:

$$w = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p(\zeta, \eta) K(x - \zeta; y - \eta) d\zeta d\eta. \quad (11)$$

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

У роботі [11] О. Є. Бугаєвою отримано прості розрахункові формули для зусиль в трубі від вертикального рівномірно розподіленого навантаження у найбільш небезпечному перерізі труби становить:

$$\begin{aligned} M_{00} &= 0,25qr^2(1-0,056n); \\ N_{00} &= 0,042qrn \end{aligned} \quad (12)$$

де $n = \frac{1}{0,06416 + \left(\frac{EI}{kr^4}\right)}$; k – коефіцієнт опору

грунту радіальним переміщенням стінки труби; r – середній радіус поперечного перерізу труби; EI – циліндрична жорсткість; q – інтенсивність рівномірного вертикального тиску на рівні у склепінні труби.

Основним недоліком даного методу є припущення про форму пружної лінії кільця, яка не залежить від характеристик ґрунту і самої конструкції.

Для уточнення лінії деформації труби Р. Прево [12] рекомендує розраховувати МГК у два етапи. На першому етапі пропонується розраховувати кільце без урахування пружного відпору ґрунту («вільне кільце») на вертикальне зрівноважене навантаження зверху і знизу труби. На другому етапі проводиться розрахунок кільця на навантаження від пружного відтиску ґрунту засипки.

Одним з методів, у якому пружна лінія деформації конструкції не задається, а виходить, як результат розрахунку є метод Метропроекту. При розрахунку за цим методом, розробленим Б. П. Бодровим і Б. Ф. Матері [13], кругова вісь підземного кільця замінюється 16-кутником, суцільним навантаженням зосередженими силами, прикладеними у вершинах багатокутника, а реакції основи – пружними опорами у всіх вершинах багатокутника, за винятком трьох верхніх, розташованих у безопорній зоні, що відповідає призначенню нульових точок для переміщень на границях першого квадранта під кутом $\pm 45^\circ$.

Наближеність методу Метропроекта полягає у заміні безперервної кривої контуру кільця ламаною полігональною лінією, в заміні неперервних реакцій – зосередженими, а крім того в прийнятті жорсткості радіальних в'язів однаковими по контуру труби.

У 1936 р. опублікована робота Д. В. Вайнберга [14], в якій арка розглядається, як плоский стержень малої кривизни. Автор отримав наступне диференціальне рівняння (у дотичних переміщеннях):

$$\frac{d^6 u}{d\varphi^6} + 2\frac{d^4 u}{d\varphi^4} + \mu^2 \frac{d^2 u}{d\varphi^2} = 0. \quad (13)$$

У другій роботі Д. В. Вайнберг [15] розглянув кругову арку на пружній основі, яка чинить опір не тільки радіальним переміщення бруса ω , але і дотичним u . Відповідне рівняння має вигляд

$$\frac{d^6 u}{d\varphi^6} + a_4 \frac{d^4 u}{d\varphi^4} + \mu^2 \frac{d^2 u}{d\varphi^2} - a_6 u = 0. \quad (14)$$

У роботі Б. Г. Гальоркіна [16] розглядалася осесиметрична задача Ляме для труби, підданої дії внутрішнього тиску, температури та закладеної у вінклерівське пружне середовище. Одержано залежність між коефіцієнтом постелі k і модулем деформації середовища E_0 :

$$k = \frac{E_0}{(1 + \mu_0)r}, \quad (15)$$

де μ_0 – коефіцієнт Пуассона пружного середовища.

У 1952 р. з'явилася робота Л. М. Ємельянова [17], у якій ґрунт, навколо труби, розглядався, як вінклерівське пружне середовище з двома характеристиками. Було складено диференціальне рівняння шостого порядку типу виразу (14), але з правою частиною, що враховує зовнішнє навантаження. Інтенсивність навантаження p і p_1 і радіальне переміщення стінки труби і представлені у вигляді тригонометричних рядів; у рядах отримані і розрахункові формули. Вирішено ряд прикладів, що представляють практичний інтерес. Наприклад, при дії навантаження величина згинального моменту є рівною:

$$M = qr \left[\frac{9 \cos 2\varphi}{8(9 + \mu^2)} - \frac{6}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\varphi \right], \quad (16)$$

$$\text{де } a_n = \frac{(n^2 - 1) \sin 0,5\pi n}{n(n^2 - 4) \left[(n^2 - 1)^2 + \mu^2 \right]};$$

$$\mu^2 = 1 + \frac{kr^4}{EI}. \quad (17)$$

Для завантаження кільця розрахункова формула для найбільшого моменту визначається за формулою:

$$M = 0,25qr^2\xi_0, \quad (18)$$

де

$$\xi_0 = \frac{1}{0,889 + 0,111\mu^2}. \quad (19)$$

У роботі [18] Л. М. Ємельянов відмовився від гіпотези «коефіцієнта постелі» і розглядав ґрунт, як лінійно-деформативне пружне середовище.

У роботі [19] порівнювалися результати розрахунку тонкостінної труби на опорах по теорії пружних оболонок (В. З. Власова) і з елементарним рішенням опору матеріалів. У кінці роботи висловлені міркування про розрахунок циліндричної оболонки, частково, або повністю укладеної в пружне середовище. Однак у роботах [19, 20] верхня безвідпирна зона труби не враховувалась.

Згідно із роботою [3] до розрахунку підземних трубопроводів, як просторових оболонок, необхідно вдаватися лише у випадках, коли вони мають кільця жорсткі, або коли вони лежать на окремих опорах. Підземний трубопровід, лежить на ґрунтовій підставі і працюючий в умовах плоскої деформації, розраховується на поперечні навантаження, як кільце одиничної ширини.

Не маючи можливості описати інші численні роботи, відзначимо, що розрахунками гнучкого кільця, пов'язаного з пружним відтиском в умовах плоскої задачі займалися І. А. Баславський [21], Г. К. Клейн [22], Н. Н. Шапошников [23] та ін.

У світовій практиці розрахунку будівельних конструкцій для оцінки їх несучої здатності використовується метод граничних станів [24]. Відповідно до якого розрахунок конструкції проводиться по міцності, витривалості та тріщиностійкості (перший граничний стан) і надмірним деформаціям (другий граничний стан). Проте для МГК в ґрунті склалися невизначеності при побудові розрахункової схеми і визначенні внутрішніх зусиль, що ускладнює послідовне використання методу граничних станів.

Ґрунтовний огляд зарубіжної літератури по підземних трубопроводах до 1960 р. зроблено в книзі Р. Прево [12]. В огляді наголошується відсутність достатньо точних і науково обґрунтованих методів розрахунку. Розрахунки труб засновані на напівемпіричних формулах, запропонованих різними авторами. Аналітична методика теорії пружності наведена у роботах Burns і Richard (1964), Hoeg (1966), Krizek (1971), Peck (1972). Розроблена на основі співвідношень задач плоскої теорії пружності. Покладено припущення лінійно-пружних однорідних, ізотропних матеріалів конструкції та ґрунту. Застосована для випадків високого шару засипки над конструкцією.

Описані методики відносяться до так званих традиційних («старих»). З 90-х років минулого століття розроблена низка сучасних методик дослідження сумісної взаємодії податливих металевих конструкцій з навколишнім ґрунтом.

Теорія обтискання кільця (White і Layer – 1960) передбачала після проведення доброго ущільнення засипки і достатньо великої висоти шару ґрунту над конструкцією трубу можна моделювати, як тонке кільце під дією обтискання. Теорія ґрунтується на тому, що нерівномірний тиск має незначний вплив на величину і розклад осевих сил (Marston, Spangler). Зазначений факт справджується для випадку, коли висота шару засипки над конструкцією більша за 1/8 поперечного розміру труби. Теорія враховує випадок труб некругового перерізу і ущільнення ґрунту під час проведення засипки. Впливом згинальних моментів нехтується.

З середини 70-х років минулого століття почали розвиватися методи, враховуючі нелінійну роботу ґрунту МГК і відсік ґрунту. При цьому використовуються потужні обчислювальні комплекси, що базуються на методі кінцевих елементів (Kosmos, Ansys, Plaxis та ін), а ґрунт моделюється пружним або пружно-пластичним середовищем. Передбачається, що точність розрахунків забезпечується дрібною сіткою розбивки ґрунтової області на кінцеві елементи. Однак результати розрахунків у багатьох випадках сильно відрізняються від натурних даних. Це пов'язано з тим, що в розрахунках моделі ґрунту не враховуються його важливих властивостей, таких як зростання модуля пружності ґрунту з глибиною, при статичних і динамічних навантаженнях.

Результати

Узагальнивши в 1968-1970 рр. вітчизняний і зарубіжний досвід застосування гофрованого металу для будівництва малих штучних споруд, особливо водопропускних труб, був розроблений метод розрахунку гнучких сталевих труб по граничній статичній рівновазі, який закладений в основу Технічних вказівок по проектуванню, виготовленню і спорудженню металевих гофрованих водопропускних труб (ВСН 176-78) на залізничних і автомобільних дорогах [25]. Даний метод реалізує ідею деформаційного критерію руйнування, який виражається умовою

$$\frac{dq}{df} = 0, \quad (20)$$

де $f = \Delta D$ – зменшення вертикального діаметра труби від діючої на неї вертикального навантаження q .

Гіпотези закладені в основу моделі сформулюються таким чином: вертикальне навантаження по верху труби є рівномірно розподіленим на ширині $D = 2r$ (рис. 1); пасивний опір ґрунту розподілений по частині деформованого контуру труби; у граничному стані в оболонці труби утворюються пластичні шарніри.

Умовою міцності за першим граничним станом системи «конструкція-ґрунт» є задоволення нерівності

$$q = q_p, \quad (21)$$

де q – розрахункова інтенсивність вертикального тиску ґрунту на трубу від постійних і тимчасових навантажень; q_p – розрахункова інтенсивність пасивного опору ґрунту (несуча здатність труби) за умови статичної рівноваги системи «конструкція – ґрунт».

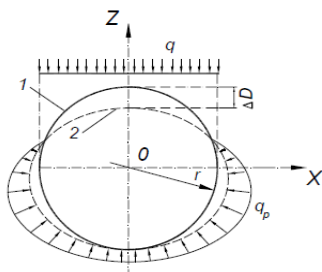


Рис. 1. Модель ВСН 176-78:

1 – недеформований контур труби; 2 – деформований контур труби

Розрахункова інтенсивність – несуча здатність труби визначається залежністю:

$$q_p = K_{ys} \cdot q_{1,p}, \quad (22)$$

де K_{ys} – коефіцієнт збільшення несучої здатності труби за рахунок пружного пасивного опору ґрунту:

$$K_{ys} = 1 + \frac{12,1 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{G}}, \quad (23)$$

де $q_{1,p}$ – розрахункова несуча здатність труби заданої марки сталі в умовах без ґрунту засипки:

$$q_{1,p} = 0,032 \cdot 10^{16} \frac{W^2}{D^2}, \quad (24)$$

де W – момент опору поздовжнього (на одиницю довжини труби) перерізу оболонки; D – діаметр труби по середній лінії гофрів; G – узагальнений показник жорсткості системи «конструкція – ґрунт»:

$$G = \frac{W}{D^2 E_{gr}}, \quad (25)$$

де E_{gr} – компресійний модуль деформації ґрунту засипки.

Граничне горизонтальне збільшення діаметра труби, що відповідає статичній рівновазі системи визначається залежністю аналогічній (14), отриманої для випадку епюри q_p (див. рис. 1).

$$\Delta D' = \frac{1,1 q_p D^3}{0,96 EI + 0,0052 E_p D^3}, \quad (26)$$

де E – модуль пружності сталі; I – момент інерції поздовжнього перерізу на одиницю довжини труби; q_p – характеристичне значення інтенсивності пасивного опору ґрунту за умови статичної рівноваги системи «конструкція – ґрунт».

Розрахунок труби на загальну стійкість за критерієм (11) зводиться до перевірки стисненого перерізу на дію розрахункової стискальної сили, з урахуванням коефіцієнта зниження несучої здатності з метою запобігання втрати стійкості оболонки труби. При цьому прийма-

ється, що оболонка є під дією рівномірно-розподіленого навантаження по контуру труби. Значення цього навантаження приймається рівним розрахунковій інтенсивності вертикального тиску ґрунту на трубу від постійних і тимчасових навантажень q . Умова стійкості має вид:

$$\frac{N}{\varphi A} \leq 0,7R_0, \quad (27)$$

де A – площа поперечного перерізу оболонки на одиницю довжини труби; φ – коефіцієнт зниження несучої здатності; R_0 – розрахунковий опір сталі при дії осьових сил; N – розрахункова, нормальна до перерізу, центрально прикладена сила

$$N = \frac{qD}{2}, \quad (28)$$

де q – як і в нерівності (17), є розрахункова інтенсивність вертикального тиску ґрунту на трубу від постійних і тимчасових навантажень.

У нормативному документі ВСН 176-78 [25] наведено детально визначення коефіцієнта зниження несучої здатності φ .

Розрахунок МГК за міцністю виконується відповідно до ДБН В.2.3-14 [27] за формулою:

$$\frac{N}{A} \leq R_y m, \quad (29)$$

де N – нормальне (тангенціальне) зусилля в гофрованій конструкції від розрахункових навантажень, що припадають на довжину λ однієї гофри, H ; A – площа перерізу однієї хвилі гофри, см^2 ; R_y – розрахунковий опір сталі за границею текучості, прийнятий відповідно до ДБН В.2.3-14, Па; $m = 0,9$ – коефіцієнт умов роботи.

Нормальне (тангенціальне) зусилля N у споруді від розрахункових навантажень, що припадають на довжину λ однієї гофри визначається за формулою:

$$N = \frac{\gamma \cdot n \chi \left(h_{eq} + h + \frac{D}{2} \right) \cdot \lambda}{2 + \frac{E_0}{E} \cdot \frac{D}{\delta} \cdot (1 - \nu^2)} + \frac{\gamma_{sh} n_1 \delta \frac{D}{2} \lambda}{1 + \frac{\delta^2}{3D^2}}, \quad (30)$$

де γ – питома вага ґрунту засипки, Н/м^3 ; $n = 1,3$ і $n_1 = 1,1$ – коефіцієнти перевантаження згідно з ДБН В.2.3-14; h_{eq} – умовна висота насипу, еквівалентна дії тимчасового автомобільного навантаження:

$$h_{eq} = \frac{q}{\gamma \cdot (a_0 + h)}, \quad (31)$$

де a_0 – ширина смуги руху для навантаження НК-80 (НГ-60) згідно з ДБН В.2.3-14, м; h – відстань від верху дорожнього одягу до верху конструкції, м; q – еквівалентне навантаження, відповідно до ДБН В.2.3-14 в залежності від довжини і форми лінії впливу; D – діаметр гофрованої конструкції, м; E_0 – модуль деформації ґрунту засипки, Па; E – модуль пружності сталі, Па; δ – умовна товщина листа круглої гофрованої конструкції, яка має таку ж погонну згинальну жорсткість, що і гофрована, наприклад, для гофрів з $\lambda = 0,164$ м; $\nu = 0,25$ – коефіцієнт Пуассона матеріалу споруди; γ_{sh} – питома вага матеріалу МГК, Н/м^3 .

Методика взаємодії з ґрунтом (SCI Soil-Culvert Interaction, 1983). Методику запропонували Duncan і Drawsky [29]. Методика розроблена на підставі багаторічних досліджень інженерних споруд, проведених на моделях спостережень та виконаних числових розрахунків методом скінчених елементів. Враховано як вплив стискуючих сил, так і згинальних моментів на стінки конструкції та нелінійні напруження і деформації ґрунту. Показано, що підвищення жорсткості ґрунту (модуля деформації) зменшує вплив згинальних моментів на напружено-деформований стан конструкції. Тому у методиці враховано дві фази роботи конструкції: 1) фаза монтажу, коли засипка досягла верху труби; 2) кінцева фаза, коли засипка досягла проектної висоти. За критерій роботоспроможності взято недопущення початку пластичних деформацій в стінках труби. Це досягнуто введенням у розрахунки відповідного коефіцієнта запасу. Акцентовано увагу на ущільненні засипки.

Методика Vaslestada (1990 р.) запропонована для конструкцій великих поперечних перерізів. Враховує дію лише осьових сил, приймає

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ється, що значна частина навантажень сприймається ґрунтом. Досліджено несучу здатність стінок труби на стиск та деформацію верху конструкції під час укладання та ущільнення засипки та вплив тертя ґрунту на величину стискуючої сили [31]. Модель описує появу явища розпирання конструкції під дією верхнього шару ґрунту над трубою.

Наведемо, ще ряд методик, що використовуються для оцінки несучої здатності металевих гофрованих конструкцій. Методика OHBDC (Ontario Highway Bridge Design Code. Ця методика розроблена на основі американських (1992) норм проектування мостів. Ґрунтується на припущенні домінуючої ролі осьових сил у стінках труби. Розроблені розрахунки міцності стінок конструкції на стиск, міцність швів, монтажної жорсткості. Методика враховує випадок труб розімкнутого поперечного перерізу, явище розпирання конструкції, вплив ступеня ущільнення ґрунту на величину модуля його деформації. Враховано податливість конструкції.

Методика AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1996). Американська методика розроблена відповідно до норм проектування мостів американської спілки працівників автострад і транспорту [28]. Подібно до методики OHBDC нехтує впливом згинальних моментів і враховує лише осьові сили. Наведені розрахунки міцності швів, випучування (втрата стійкості) стінок конструкції, монтажної жорсткості, враховано можливість виникнення пластичних деформацій у стінках труби. Дає можливість досліджувати конструкції з перерізом типу рами. Враховані динамічні коефіцієнти для випадку змінних навантажень.

Методика CHBDC (Canadian Highway Bridge Design Code). Ця методика розроблена на основі Канадських (2000 р.) норм проектування мостів [30]. Ґрунтується на припущенні домінуючої ролі осьових сил в стінках труби. Розроблені розрахунки міцності стінок конструкції на стиск, міцність швів, монтажної жорсткості. Методика враховує випадок труб розімкнутого поперечного перерізу та явище розпирання конструкції і вплив ступеня ущільнення ґрунту на величину модуля його деформації. Враховано також податливість конструкції, що дозво-

ляє проектувати конструкції скриньового перерізу.

Одна з найновіших методик це методика Sundquista-Pettersona (2000 р.). [32]. Ґрунтується на основі описаних вище методик та досвіду, набутого з проведених експериментів по руйнуванню конструкцій, використовує аналітичні підходи теорії пружності і геотехніки. Застосована для випадків, коли найбільший поперечний розмір труби $B \geq 2$ м і висота шару ґрунту над верхом конструкції $H \geq 0,6$ м та $H/B \geq 0,125$ м. Для оцінки несучої здатності враховує осьову силу і згинальний момент, кут внутрішнього тертя засипки та динамічне навантаження від рухомого транспортного засобу. Характеризується достатньою універсальністю і враховує податливість конструкцій з гофрованих металевих листів.

Наукова новизна та практична значимість

Вперше проведено аналіз методик розрахунку та досвіду проектування гнучких металевих гофрованих конструкцій при взаємодії із ґрунтовою засипкою і при впливі навантажень від рухомого складу залізничного та автомобільного транспорту. Розрахункові моделі, що враховують просторову роботу конструкцій, є більш коректними ніж «плоскі» моделі та розрахункові схеми і тому при розрахунку МГК потрібно застосовувати саме тривимірні моделі розрахунку, які найбільш реально моделюють роботу металевих гофрованих конструкцій.

Отриманий аналіз методик оцінки несучої здатності металевих гофрованих конструкцій різної форми поперечного перерізу, можуть бути використані інженерами Мостовипробувальних станцій Укрзалізниці та Укравтодору та проектними організаціями, які займаються проектуванням та спорудженням МГК.

Висновки

1. Розрахункові моделі, що враховують просторову роботу конструкцій, є більш коректними ніж «плоскі» моделі та розрахункові схеми і тому при розрахунку МГК надійніше застосовувати саме тривимірні моделі розрахунку.

2. Як видно з проведеного аналізу, застосування методу сил до аочної моделі гофрованої металевої конструкції і скінчено елементної

моделі без урахування несиметричності поведінки гофрованої конструкції в процесі навантаження дає результати, які відрізняються від експериментальних даних, особливо при великих навантаженнях. Оскільки, у розрахункових моделях не закладалася можливість несиметричної поведінки, то вона не позначилася на результатах розрахунку.

3. При розрахунку гофрованої металевої конструкції необхідно приділяти увагу не тільки моделюванню поведінки самої гофрованої конструкції, але і правильному вибору роботи ґрунтової засипки з урахуванням її можливої неоднорідності і включення в роботу, як додаткового несучого шару.

4. Проведений вище аналіз дозволяє констатувати, що при аналізі поведінки таких складних конструкцій, як гофрована оболонка при взаємодії з ґрунтом, проведення експериментальних досліджень є необхідним елементом дослідження, так як побудова і використання розрахункових моделей без урахування ефектів, що з'являються в процесі експерименту, може призвести до не завжди правильних результатів про несучу здатність і взагалі про поведінку гофрованих конструкцій, із взаємодіючим ґрунтом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Герцог, А. А. Гофрированные трубы на автомобильных дорогах [Текст] / А. А. Герцог. – Москва : Гушосдор, 1939. – 112 с.
- Гнедовский, В. Н. Трубы под железнодорожными насыпями [Текст] / В. Н. Гнедовский. – Москва : Трансжелдориздат, 1938. – 267 с.
- Клейн, Г. К. Расчет подземных трубопроводов [Текст] / Г. К. Клейн. – Москва : Стройиздат, 1969. – 240 с.
- Виноградов, С. В. Натурные испытания на прочность и устойчивость подземных стальных тонкостенных труб большого диаметра [Текст] / С. В. Виноградов, Ю. М. Кружалов. – Москва : Отдел научно-технической информации. – 1959. – 48 с.
- Янковский, О. А. Экспериментальные исследования водопропускных труб из гофрированного металла на опытных объектах и в лабораторных условиях с разработкой предложений по конструкциям и условиям сооружения серии опытных металлических труб в разных районах страны для включения в план строительства на 1971-1972 гг. [Текст] / О. А. Янковский // Строительство железных дорог // Реф. сборник. Трансп. стр.-во. – № 1. – Москва, 1972. – С. 14.
- Ярошенко, В. А. Водопропускные трубы под железнодорожными насыпями [Текст] / В. А. Ярошенко // Труды ЦНИИС. – Москва : Трансжелдориздат, 1952. – Вып. 5. – 231 с.
- Корецкий, А. С. Анализ моделей розрахунку труб системи «конструкція-ґрунт» [Текст] / А. С. Корецкий, А. І. Лянтух-Лященко, К. В. Медведєв. – 2010. – С. 131-137.
- Виноградов, С. В. Расчет подземных трубопроводов на внешние нагрузки [Текст] / С. В. Виноградов – Москва : Стройиздат, 1980. – 135 с.
- Колоколов, Н. М., Металлические гофрированные трубы под насыпями [Текст] / Н. М. Колоколов, О. А. Янковский, К. Б. Щербина, С. Э. Черняховская, под общ. ред. Н. М. Колоколова. – Москва : Транспорт, 1973. – 120 с.
- Бугаева, О. Е. Проектирование обделок транспортных тоннелей [Текст] / О. Е. Бугаева. – Ленинград, 1966. – 75 с.
- Прево, Р. Расчет на прочность трубопроводов, заложенных в грунт [Текст] / Р. Прево. – Москва, 1964. – 123 с.
- Бодров, Б. П. Кольцо в упругой среде [Текст] / Б. П. Бодров, Б. Ф. Матэри // Бюллетень Метропроекта. – 1939. – № 24. – 92 с.
- Вайнберг, Д. В. Арки на сплошном упругом основании [Текст] / Д. В. Вайнберг // Труды Сб. тр. Киевского строительного института. – Киев, 1936. – Вып. 3.
- Вайнберг, Д. В. Кривой брус в упругой среде [Текст] / Д. В. Вайнберг // Прикладная математика и механика. – 1939. – Т. 3. – Вып. 4.
- Галеркин, Б. Г. Напряженное состояние цилиндрической трубы в упругой среде [Текст]: Собрание сочинений / Б. Г. Галеркин. – Москва : АН СССР, 1952. – Т. 1.
- Емельянов, Л. М. О расчете подземных гибких труб [Текст] / Л. М. Емельянов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1961. – JV2 1. – С. 1-7.
- Емельянов, Л. Н. О расчете тонкостенных труб, заложенных в землю [Текст] / Л. М. Емельянов // Гидротехника и мелиорация. – 1952. – JV210. – С. 18-39.
- Леонтьев, Н. Н. Практический расчет тонкостенной трубы на упругом основании [Текст] / Н. Н. Леонтьев // Сб. трудов Московского инженерно-строительного института. – 1957.
- Баженов, В. А. Изгиб цилиндрических оболочек в упругой среде [Текст] / В. А. Баженов. – Львов, 1975.
- Баславский, И. А. Устойчивость подземных труб. Гидротехническое строительство. [Текст] / И. А. Баславский. – 1964. – № 24.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

21. Клейн, Г. К. Расчет труб, уложенных в земле [Текст] / Г. К. Клейн. – Москва : Госстройиздат, 1957. – 195 с.
22. Шапошников, Н. Н. Расчет круговых тоннельных обделок на упругом основании, характеризуемом двумя коэффициентами постели [Текст] / Н. Н. Шапошников. – Труды МИИТ, 1961. – Вып. 131.
23. Брик, А. Л. Морозостойкие защитные покрытия металлических гофрированных водопропускных труб [Текст]: исп. в строительстве / А. Л. Брик, В. П. Кузьмин, Г. С. Карапетова, А. В. Ненашев // Вопросы проектирования и эксплуатации искусственных сооружений. – Ленинград 1983. – С. 78–84.
24. ВСН 176-78. Инструкция по проектированию и постройке металлических гофрированных водопропускных труб [Текст]. – Введ. 1978-08-15. – Москва : Оргтрансстрой, 1979. – 131 с.
25. Фрезе, М. В. Взаимодействие металлических гофрированных конструкций с грунтовой средой [Текст] : дисс. канд. тех. наук / М. В. Фрезе. – Санкт-Петербург, 2006. – 162 с.
26. Посібник до ВБН В.2.3-218-198:2007 Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування [Текст] : рекомендовано науково-технічною радою ДерждорНДІ від 17 листопада 2006 р. № 14 – Київ, 2007. – 122 с.
27. AASHTO: Standart Specifications for Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 N. Capitol St., N. W., Ste. 249, Washington, D. C., 2001.
28. Duncan J. M., Drawsky R. H. Design Procedures for Flexible Metal Culvert Structures, Reports No. UCB/GT/83-02, Department of Civil Eng., University of California, Berkeley 1983.
29. Handbook of steel drainage and highway construction products, American Iron and Steel Institute, 2ed edition, Canada, June 2002.
30. Vaslestad J. Long-term behaviour of flexible large-span culverts, Norwegian Public Road Administration – Publication No. 74, Oslo, 1994. 38 p.
31. Waster M. RORBROAR. Verifiering av nyutvecklat dimensioneringsprogram samt vidareutveckling for jernvagstrafik. Orebro University, Sweden, 2008. – 143 p.

И. И. ЛУЧКО¹, Ю. Е. КОВАЛЬЧУК², И. Б. КРАВЕЦ^{3*}

¹ Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (097) 033 18 36, эл. почта lychko.diit@mail.ru, ORCID 0000-0002-3675-0503

² Кафедра «Строительное производство», Национальный университет «Львовская политехника» ул. Карпинского, 6, г. Львов, Украина, 79013, тел. +38 (067) 360 22 22, эл. почта tzov.lviv.bud@gmail.com, ORCID 0000-0002-1151-5785

^{3*} Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (097) 479 00 50, эл. почта kravetsivan2017@gmail.com

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Цель. Целью работы является проведение анализа методов расчета и оценки несущей способности металлических гофрированных конструкций (далее МГК) при взаимодействии с грунтовой засыпкой в результате действия нагрузок от подвижного состава железных дорог или автотранспорта. Обосновать возможность применения данных методов при расчете труб различного диаметра и различной конструктивной формы. **Методика.** Анализируются методы расчета напряженно-деформированного состояния металлических гофрированных конструкций труб малого диаметра (до 3 м.) При постоянных нагрузках и методы расчета МГК большого диаметра более 6 м. **Результаты.** Расчетные модели, учитывающие пространственную работу конструкций, более корректными чем «плоские» модели и расчетные схемы и поэтому при расчете МГК следует применять именно трехмерные модели расчета, наиболее реально моделируют работу металлических гофрированных конструкций. **Научная новизна.** Впервые проведен анализ методик расчета и опыта проектирования гибких металлических гофрированных конструкций при взаимодействии с грунтовой засыпкой и при воздействии нагрузок от подвижного состава железнодорожного и автомобильного транспорта. **Практическое значение.** Полученный анализ методик оценки несущей способности металлических гофрированных конструкций различной формы поперечного сечения, могут быть использованы инженерами Мостоиспытательных станций Укрзалізнички и Укравтодора и проектными организациями, которые занимаются проектированием и сооружением МГК.

Ключевые слова: металлическая гофрированная конструкция; методики; анализ; несущая способность; изгибающие моменты; поперечные силы

J. LUCHKO¹, Y. KOVALCHUK², I. KRAVETS^{3*}

¹ Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (097) 033 18 36, e-mail lychko.diit@mail.ru
ORCID 0000-0002-3675-0503

² Dept. of Construction industry, National University Lviv Polytechnic 12 S. Bandera str., Lviv, Ukraine, tel. +38 (067) 360 22 22, e-mail tzov.lviv.bud@gmail.com, ORCID 0000-0002-1151-5785

³ Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (097) 479 00 50, e-mail kravetsivan2017@gmail.com

METHODS OF ASSESSING THE BEARING CAPACITY OF CORRUGATED METAL STRUCTURES

Purpose. The aim of the research is to analyze the methods of calculating and evaluation of the bearing capacity of corrugated metal structures (the CMS) in cooperation with soil backfill as a result of stress from rolling stock or vehicles. To prove the applicability of these methods for the calculation of pipes of different diameters and different structural forms. **Methodology.** The methods of calculating the deflected mode of corrugated metal pipes of small diameter (up to 3 m.) at constant load, and calculation methods CMS of large diameter more than 6 m are analyzed. **Findings.** The calculated models that take into account the spatial work of structures is more correct than "flat" models and calculated scheme, and therefore the calculation of the CMS is to apply three-dimensional calculation model which model the most realistic work of corrugated metal structures. **Originality.** For the first time the methods of calculation and experience designing of flexible corrugated metal structures at interaction of soil backfill and under the influence of the stress from the rolling stock and road transport are analyzed. **Practical value.** The obtained analysis of the evaluation methodologies of the bearing capacity of corrugated metal structures of different shape section can be used by engineers in bridge probationary stations Ukrainian Railroad (UR) and Ukravtodor and project organizations involved in the design and construction of the CMS.

Keywords: corrugated metal structure; methodology; analysis; bearing capacity; bending moments; shear forces

REFERENCES

1. Gertsog A.A. *Gofrirovannyye trubyy na avtomobilnykh dorogakh* [Corrugated pipes on the roads]. Moscow, Gushosdor Publ., 1939. 112 p.
2. Gnedovskiy V.N. *Truby pod zheleznodorozhnymi nasypami* [Pipes under the railway embankments]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1938. 267 p.
3. Kleyn, G. K. *Raschet podzemnykh truboprovodov* [Calculation of underground pipelines]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1969. 240 p.
4. Vinogradov S. V., Kruzhalov Yu. M. *Naturnye ispytaniya na prochnost i ustoychivost podzemnykh stalnykh tonkostennykh trub bolshogo diametra* [Full-scale tests for the strength and stability of underground steel thin-walled pipes of large diameter]. Moscow, Otdel nauchno-tekhnicheskoy informatsii. Publ, 1959. 48 p.
5. Yankovskiy O. A. *Eksperymentalnye issledovaniya vodopropusknykh trub iz gofrirovannogo metalla na opytnykh obektakh i v laboratornykh usloviyakh s razrabotkoy predlozheniy po konstruksiyam i usloviyam sooruzheniya serii opytnykh metallicheskih trub v raznykh rayonakh strany dlya vklyucheniya v plan 162 stroitelstva na 1971-1972* [Experimental studies of corrugated metal culverts on experimental sites and in laboratory conditions, with the development of proposals for structures and conditions for the construction of a series of experimental metal pipes in different regions of the country for inclusion in the construction plan for 1971-1972]. *Stroitelstvo zheleznykh dorog – Construction of railways*, Transportnoe stroitelstvo., no.1, Moscow, 1972. 14 p.
6. Yaroshenko V. A. *Vodopropusknye trubyy pod zheleznodorozhnymi nasypami* [Culverts under railway embankments]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1952, issue 5, 231 p.
7. Koretskyi A. S., Liantukh-Liashchenko A. I., Medvediev K. V. *Analiz modelei rozrakhunku trub systemy «konstruksii-hrunt»* [Analysis of models of calculation of pipe system «design-soil»]. 2010. pp. 131-137.
8. Vinogradov S. V. *Raschet podzemnykh truboprovodov na vneshnie nagruzki* [Calculation of underground pipelines for external loads]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980. 135 p.
9. Kolokolov N. M., Yankovskiy O. A., Shcherbina K. B., Chernyakhovskaya S. E. *Metallicheskie gofrirovannyye trubyy pod nasypami* [Metal corrugated pipes under embankments]. Moscow, Transport Publ., 1973. 120 p.
10. Bugaeva O. Ye. *Proektirovanie obdelok transportnykh tonneley* [Designing of lining of transport tunnels].

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- Leningrad., 1966. 75 p.
11. Prevo R. *Raschet na prochnost truboprovodov, zalozhennykh v grunt* [Calculation of the strength of pipelines laid in the ground]. Moscow, 1964. 123 p.
 12. Bodrov B. P., Materi B. F. *Koltso v uprugoy srede* [Ring in an elastic medium]. *Byulleten Metroproekta – Metroproekt Newsletter*, 1939, issue 24, 92 p.
 13. Vaynberg D. V. *Arki na sploshnom uprugom osnovanii* [Arches on a solid elastic foundation]. *Sbornik trudov Kievskogo stroitel'nogo instituta* [Collection of works of the Kiev Construction Institute], Kyjiv, 1936, issue 3.
 14. Vaynberg D. V. *Krivoy brus v uprugoy srede* [Curved beam in an elastic medium]. *Prikladnaya matematika i mekhanika – Applied Mathematics and Mechanics*, 1939, vol. 3, issue 4.
 15. Galerkin, B. G. *Napryazhennoe sostoyanie tsilindricheskoy truby v uprugoy srede* [Stress state of a cylindrical tube in an elastic medium]. Moscow, Akademiya Nauk SSSR., 1952, vol. 1.
 16. Yemelyanov L. M. *O raschete podzemnykh gibkikh trub* [About calculation of underground flexible pipes]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy – Structural Mechanics and Structures Calculation*, 1961. JV2 1. pp. 1-7.
 17. Yemelyanov L. N. *O raschete tonkostennykh trub, zalozhennykh v zemlyu* [On the calculation of thin-walled pipes laid in the ground]. *Gidrotekhnika i melioratsiya – Hydrotechnics and Land Reclamation*, 1952. JV210. pp. 18-39.
 18. Leontev N. N. *Prakticheskiy raschet tonkostennoy truby na uprugom osnovanii* [Practical calculation of a thin-walled pipe on an elastic base] *Sbornik trudov Moskovskogo inzhenerno-stroitel'nogo instituta*. Moscow, 1957.
 19. Bazhenov V. A. *Izgib tsilindricheskikh obolochek v uprugoy srede* [Bending of cylindrical shells in an elastic medium]. Lvov, 1975.
 20. Baslavskiy I. A. *Ustoychivost podzemnykh trub. Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. [Stability of underground pipes. Hydraulic engineering.], 1964, issue 24.
 21. Kleyn G. K. *Raschet trub, ulozhennykh v zemle* [Calculation of pipes laid in the ground]. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 1957. 195 p.
 22. Shaposhnikov N. N. *Raschet krugovykh tonnelnykh obdelok na uprugom osnovanii, kharakterizuemom dvumya koeffitsientami posteli* [Calculation of circular tunnel lining on an elastic foundation characterized by two bed coefficients]. *Trudy Moskovskogo instituta inzhenerov transporta*, 1961, issue 131.
 23. Brik A. L., Kuzmin V. P., Karapetova G. S., Nenashev A. V. *Morozostoykie zashchitnye pokrytiya metallicheskikh gofrirovannykh vodopropusknykh trub* [Frost-resistant protective coatings for metal corrugated culverts]. *Voprosy proektirovaniya i ekspluatatsii iskusstvennykh sooruzheniy*. Leningrad, 1983. pp. 78-84.
 24. VSN 176-78. *Instruktsiya po proyektirovaniyu i postroyke metallicheskikh gofrirovannykh vodopropusknykh trub* [VSN 176-78. Instructions for design and construction of corrugated metal pipe culverts]. Moscow, Orgtransstroy Publ., 1979. 131 p.
 25. Freze M. V. *Vzaimodeystvie metallicheskikh gofrirovannykh konstruksiy s gruntovoy sredoy*. Diss. kand. tekhn. nauk [Interaction of metal corrugated structures with a soil medium]. St. Petersburg, 2006. 162 p.
 26. Posibnyk do VBN V.2.3-218-198:2007 *Sporudy transportu. Proektuvannia ta budivnytstvo sporud iz metalevykh hofrovanykh konstruksii na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia* [V.2.3-218-198:2007 Constructions of transport. Design and construction of structures from metal corrugated structures on public highways]. Kyjiv, 2007. 122 p.
 27. AASHTO: *Standart Specifications for Highway Bridges*. American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 N. Capitol St., N. W., Ste. 249, Washington, D. C., 2001.
 28. Duncan J. M., Drawsky R. H. *Design Procedures for Flexible Metal Culvert Structures*, Reports No. UCB/GT/83-02, Department of Civil Eng., University of California, Berkeley, 1983.
 29. *Handbook of steel drainage and highway construction products*, American Iron and Steel Institute, 2ed edition, Canada, June 2002.
 30. Vaslestad J. *Long-term behaviour of flexible large-span culverts*, Norwegian Public Road Administration – Publication No. 74, Oslo, 1994. 38 p.
 31. Waster M. *RORBROAR. Verifiering av nyutvecklat dimensioneringsprogram samt vidareutveckling for jernvagstrafik*. Orebro University, Sweden, 2008. 143 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. М. Біляєвим (Україна), к.т.н, доц. І. Г. Іваник (Україна).

Надійшла до редколегії 20.08.2017.

Прийнята до друку 25.09.2017.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 625.42-044.923/477-25

В. Д. ПЕТРЕНКО^{1*}, О. Л. ТЮТЬКІН², Є. Ю. КУЛАЖЕНКО³, В. І. ПЕТРЕНКО⁴

^{1*} Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський 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 і тунелі», Дніпропетровський 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 Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (098) 768 49 21, ел. пошта jaksson777@gmail.com, ORCID 0000-0002-4529-7384

⁴ Публічне акціонерне товариство «Київметробуд», вул. Прорізна, 8, Київ, Україна, 01601, тел. +38 (044) 455 23 00, ел. пошта petrenko@metrobud.kiev.ua

МОНІТОРИНГ ДЕФОРМАЦІЙ ОПРАВИ СИРЕЦЬКО-ПЕЧЕРСЬКОЇ ЛІНІЇ КИЇВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ ТА ЗАХОДИ ЩОДО ЇХ ЗМЕНШЕННЯ

Мета. В статті досліджено деформації в часі водонасиченої основи суцільно-секційної оправи перегінних тунелів Сирецько-Печерської лінії Київського метрополітену з метою з'ясування їх причин та запропоновання заходів щодо їх зменшення. **Методика.** Для досягнення поставленої мети, авторами було проведено прив'язку до інженерно-геологічного розрізу осідань оправи, які отримані за результатами моніторингу протягом 8 років. Маркшейдерська зйомка проводилася нівелюванням з прив'язками до пікетів траси. Проаналізовано інженерно-геологічні умови залягання декількох проблемних ділянок Сирецько-Печерської лінії Київського метрополітену. Розроблено заходи зменшення деформацій основи. **Результати.** Після аналізу моніторингових даних, з'ясовано, що осідання основи частіш усього проходить рівномірно, без різкої зміни величини деформацій. Отримано максимальні значення деформацій водонасиченої основи із прив'язкою до геологічного розрізу. Відповідність характерної інтенсивності збільшення деформацій при зміні інженерно-геологічних умов підтверджує вірність прив'язки результатів вимірів до реальних умов. Побудовані графіки закономірностей деформацій у часі від метропоїзду. **Наукова новизна.** Встановлені закономірності деформування під дією метропоїзду різноманітних ґрунтів, у тому числі водонасичених. Прив'язка до існуючих інженерно-геологічних умов та висока ступінь достовірності апроксимації свідчить про їх функціональний характер. **Практична значимість.** Розроблено заходи щодо зменшення деформацій водонасиченої основи шляхом розробки нових прийомів будівництва перегінних тунелів із суцільно-секційною оправою, а також технологій підготовки водонасиченої основи.

Ключові слова: метрополітен; перегінний тунель; моніторинг; суцільно-секційна оправа; деформація

Вступ

Спорудження ліній Київського метрополітену постійно потребує наукового супроводу, оскільки при будівництві наявні складні інженерно-геологічні умови навіть у випадку мілкового закладення, що характеризується невеликим тиском оточуючого масиву [1]. Існування таких інженерно-геологічних умов призводить до ряду негативних явищ [2, 3], які виникають вже в період експлуатації і можуть бути зменшені лише при капітальному ремонті або реконструкції, що є майже неможливим при наявних перевезеннях Київського метрополітену.

Закриття навіть на короткий час декількох перегонів призведе до значних ускладнень в транспортній системі міста, тому слід заздалегідь розробляти заходи щодо зменшення негативних проявів оточуючого породного масиву, основним з яких, без сумнівів, є віброповзучість та інші види деформування оточуючого масиву та основи перегінних тунелів та станцій, пов'язаних із збільшенням деформацій під дією метропоїзду [4-8], причому водонасичений пісок має тенденцію до розжиження.

Вказані явища є дуже розповсюдженими для перегінних тунелів із суцільно-секційною оправою, що споруджується відкритим способом на

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Сирецько-Печерській лінії Київського метрополітену. Негативність явищ віброповзучості та загального деформування водонасичених ґрунтів зменшується в процесі експлуатації шляхом зниження швидкості до 50...60 км/год [2]. Однак і така міра, що погіршує нормальну експлуатацію ліній метрополітену, не вирішує проблему деформування водонасичених ґрунтів під дією метропоїзду [6, 8, 12-14].

Мета

Вирішення вказаної проблеми потребує дослідження в часі реальних деформацій водонасиченої основи суцільно-секційної оправи перегінних тунелів Сирецько-Печерської лінії Київського метрополітену з метою з'ясування їх причин. Причому отримані в ході аналізу моніторингових закономірностей деформування під дією метропоїзду різноманітних ґрунтів, у тому числі водонасичених, у прив'язці до існуючих інженерно-геологічних умов Київського метрополітену надають змоги розробки заходів щодо їх зменшення.

Методика

Представлена ділянка лінії Київського метрополітену була побудована в 1992 році та введена в експлуатацію 30 грудня цього ж року. Перегінні тунелі та станції збудовані відкритим способом. Оправою слугує двохочкова суцільно-секційна залізобетонна оправа, довжина секції якої становить 1000 мм, ширина – 9800 мм та висота – 5010 мм.

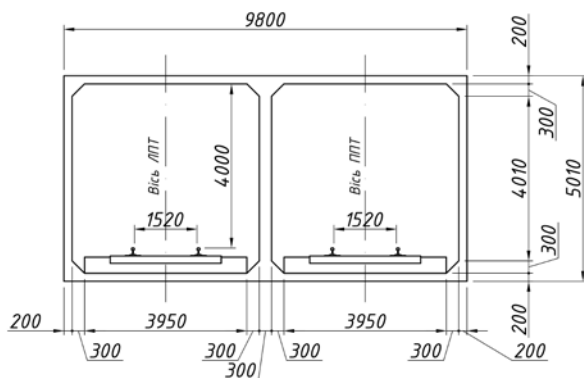


Рис. 1. Конструкція двохочнової суцільно-секційної залізобетонної оправи

Ґрунти основи складені різноманітними осадовими породами, які знаходяться нижче

рівня підземних вод. Розглянута ділянка має довжину 600 метрів і знаходиться в аварійному стані, оскільки за період експлуатації лінії метрополітену відбулися незворотні процеси деформації основи під оправою.

Авторами було проведено прив'язку до інженерно-геологічного розрізу осідань оправи, які отримані за результатами моніторингу протягом 8 років. Маркшейдерська зйомка проводилася за допомогою нівелювання з прив'язками до пікетів траси. Максимальні осідання оправи становлять від 24 мм до 107 мм і спостерігається від ПК180+49 до ПК182+00, а також від ПК182+90 до ПК186+00 з величиною деформацій від 167 мм до 233 мм.

Від ПК179+00 до ПК180+00 основою тунелю складає пісок з прошарком супіску на глибині 2 м від шару піску (рис. 2). Даний ґрунт має потужність від 3,5 до 8,0 м. Від ПК179+00 до ПК179+30 під піском знаходиться шар супіску темно-сірого, мулуватого місцями з залишками рослин та прошарками піску, який в свою чергу опирається на потужний шар пісків темно-зелених, мілких, середньої щільності. Від ПК179+79 до ПК180+49 спостерігається зміна інженерно-геологічних умов (рис. 2). Підшва цільно-секційної обробки опирається на суглинок сірий текучої або текучо-пластичної консистенції.

Далі по трасі перегінного тунелю на ПК180+59 (рис. 3) відбувається перехід основи від сірого суглинка до пісків жовтих та сірих, мілких, водонасичених, середньої щільності. Знову спостерігається характерна зміна величини деформацій відповідно до зміни інженерно-геологічних умов. Причому інтенсивність зміни величини деформацій починаючи з ПК180+59 і далі – стрімко зростає що свідчить про зниження деформаційних та міцнісних характеристики ґрунтів. На ділянці від ПК181+00 до ПК182+00 спостерігається перехід від пісків до супісків темно-сірих, мулуватих з рослинними залишками, текучих (рис. 4). Також в цьому ґрунті спостерігаються прошарки піску та торфові включення.

Пісок виступає в якості основи перегінного тунелю від ПК181+93 до ПК182+90 (рис. 5). На ПК182+93 і далі по ходу траси тунелю основа змінюється шаром водонасиченого піску (рис. 6), який присутній також від ПК180+59 до ПК181+26. Даний ґрунт має значну потужність,

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

що становить більше 15 метрів. Судячи з величини деформацій, фізико-механічні властивості основи дуже низькі.

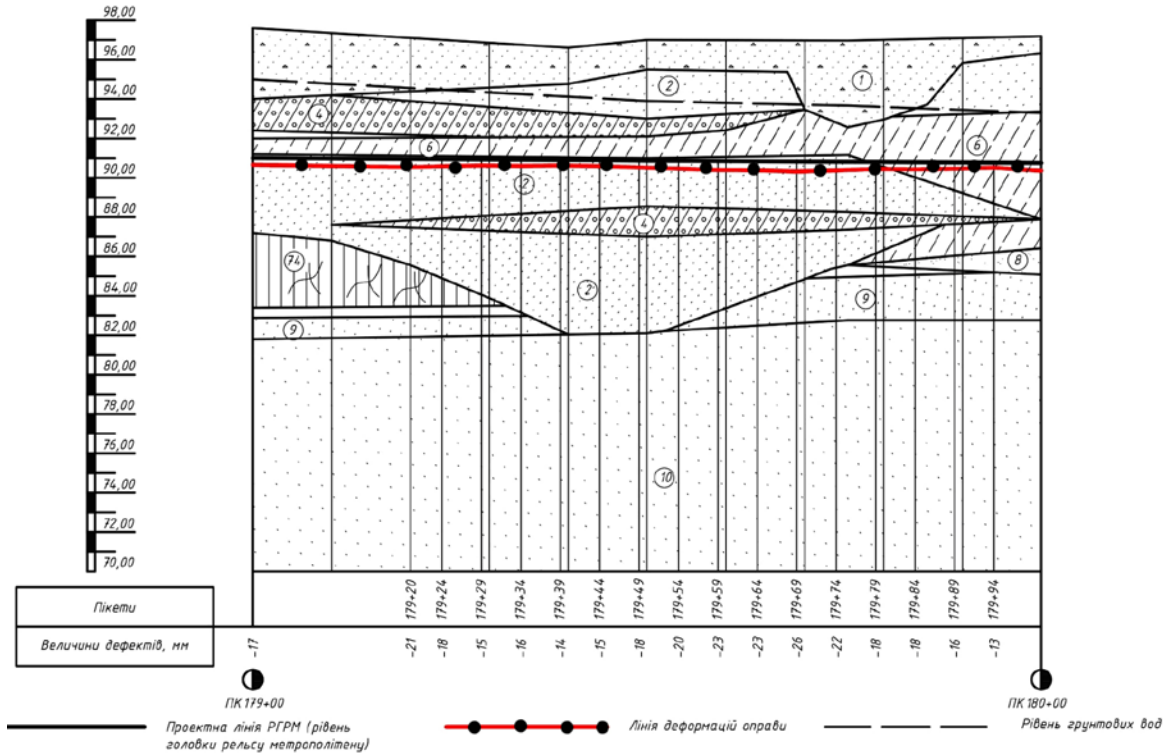


Рис. 2. Інженерно-геологічні умови на ділянці від ПК179+00-ПК180+00 та деформації оправи

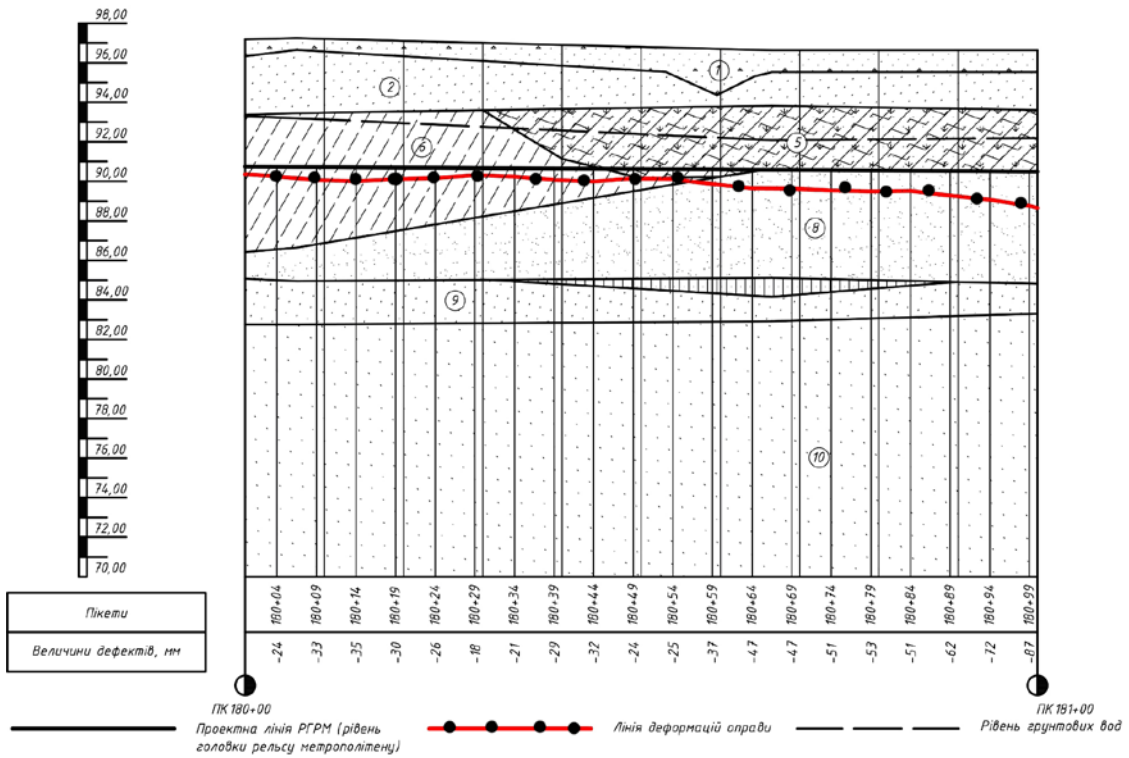


Рис. 3. Інженерно-геологічні умови на ділянці від ПК180+00-ПК181+00 та деформації оправи

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

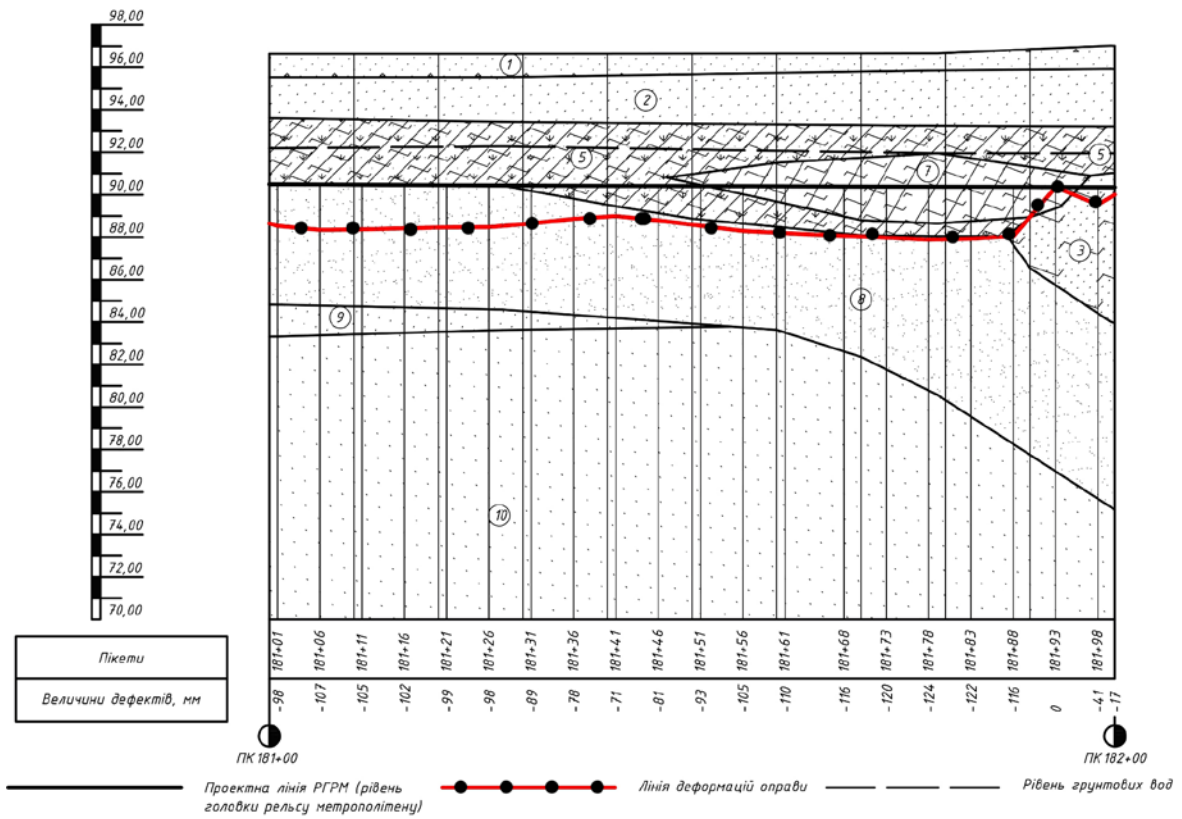


Рис. 4. Інженерно-геологічні умови на ділянці від ПК181+00-ПК182+00 та деформації оправи

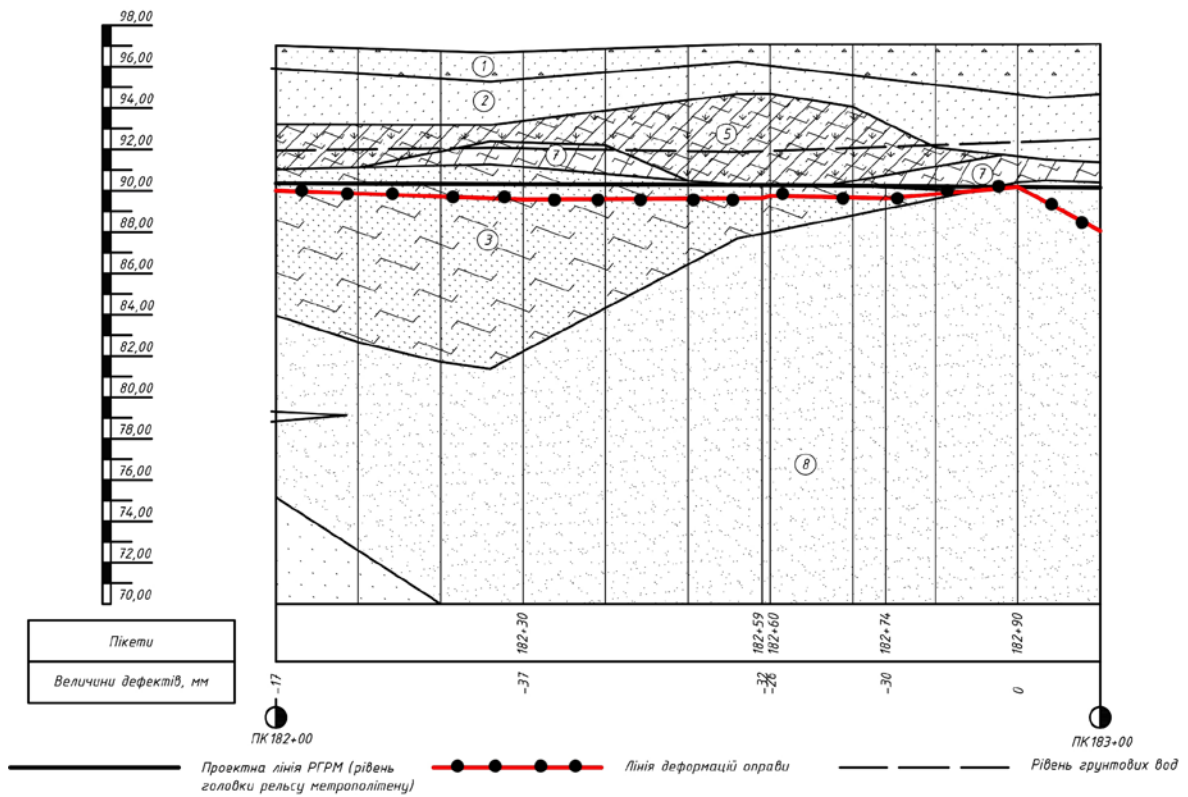


Рис. 5. Інженерно-геологічні умови на ділянці від ПК182+00-ПК183+00 та деформації оправи

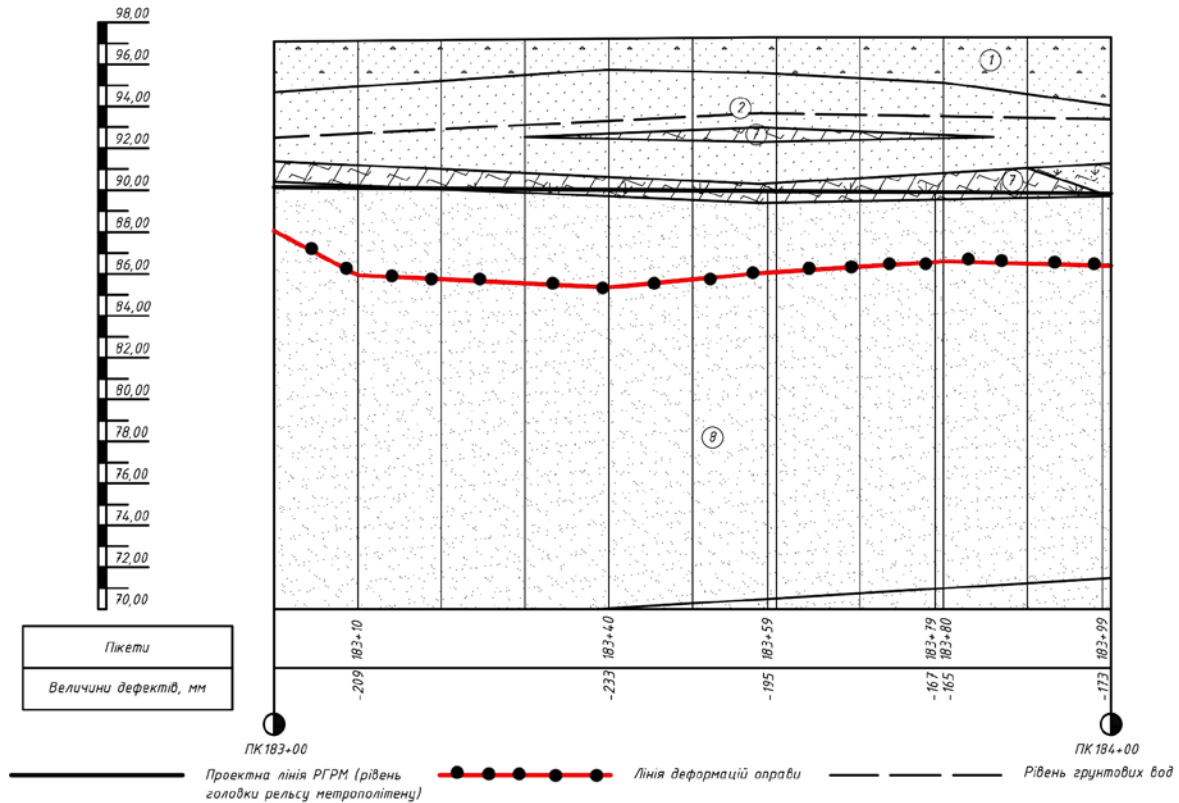


Рис. 6. Інженерно-геологічні умови на ділянці від ПК183+00-ПК184+00 та деформації оправи

Результати

Після аналізу моніторингових даних, слід відмітити, що осідання основи частіш усього проходить рівномірно, без різкої зміни величини деформацій. Максимальна вертикальна деформація оправи на першій ділянці становить 26 мм. Моніторинг осідань показує, що осідання мають затухаючий характер (рис. 7).

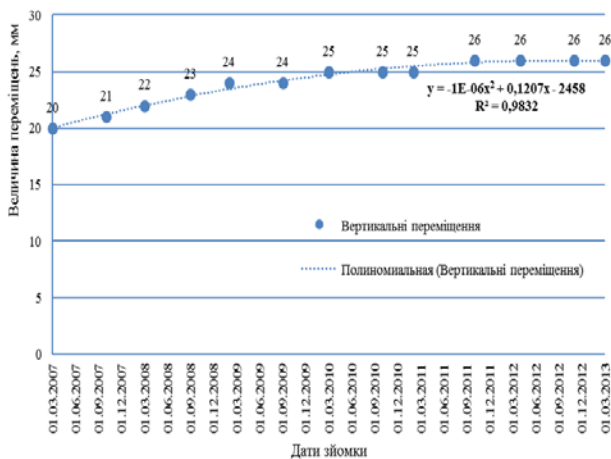


Рис. 7. Зміна в часі вертикальних переміщень на ПК179+69

Максимальні величини деформацій на другій ділянці збільшуються до 35 і більше міліметрів. Відповідність характерної інтенсивності збільшення деформацій при зміні інженерно-геологічних умов підтверджує вірність прив'язки результатів вимірів до реальних умов.

Моніторинг максимального значення деформацій (ПК180+14) показує, що деформації також мають затухаючий характер (рис. 8).

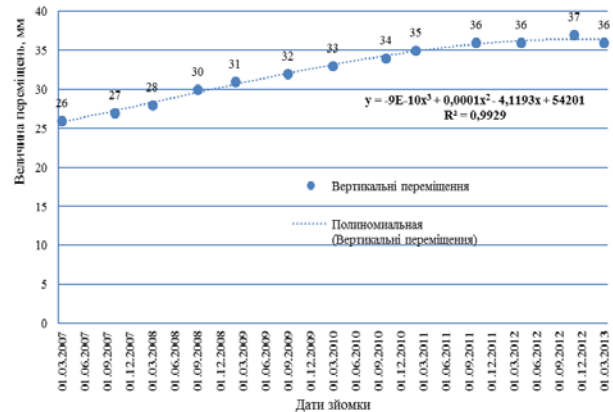


Рис. 8. Зміна в часі вертикальних переміщень на ПК180+14

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Максимальна величина деформації на наступній ділянці становить 107 мм (ПК181+06, рис. 9), причому чітко відображено відповідність величин деформацій до зміни інженерно-геологічних умов. Максимальні переміщення спостерігаються також на ПК181+78 та становлять 122 мм (рис. 9).

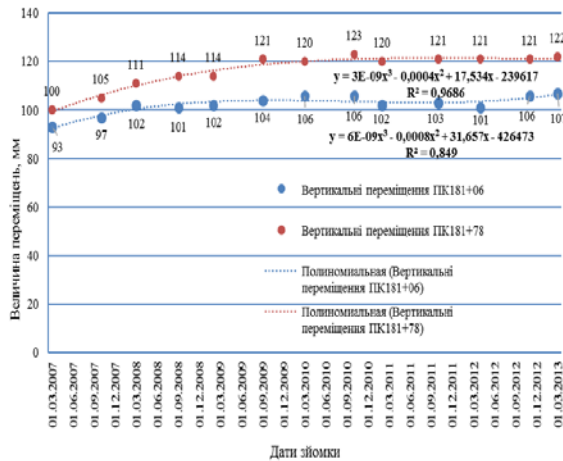


Рис. 9. Зміна в часі вертикальних переміщень на ПК181+06 та ПК181+78

З наведених графіків видно, що деформування основи продовжується, проте вже не з такою інтенсивністю (1...2 мм/рік). Тому для цієї ділянки потрібно проводити заходи щодо стабілізації основи.

Від ПК181+88 до ПК181+93 спостерігається різке зменшення величини деформації до від 116 до 0 мм. Цей стрибок суміщений на профілі з переходом від супіску до піску темно-сірого, мілкого, з включеннями мулу, торфу та залишків рослин.

На ділянці ПК181+93 до ПК182+90 спостерігаються незначні переміщення з максимальним значенням 37 мм на ПК182+30. Вірогідно це безпосередньо є наслідком «армування» шару ґрунту рослинними залишками та торфовими включеннями. При переході на дану основу спостерігається збільшення величини деформацій від 0 мм на ПК182+90 до 209 мм на ПК183+10 та збільшується до 223 мм на ПК183+40. Довжина ділянки перепаду величини деформацій становить 20 м. Цей факт суттєво впливає на якість руху метропоїздів в даному місці.

За даними моніторингу для ПК183+10 та ПК183+40 побудовані графіки розвитку деформацій в часі (рис. 10). З графіку видно, що інтенсивність деформацій на ПК183+10 та ПК183+40 зменшується.

Графіки функцій мають величину достовірності апроксимації R близькою до 1, що дає змогу вважати, що розвиток деформацій в часі можна описати за допомогою поліноміальної функції третьої степені з максимальною достовірністю для даних пунктів спостереження.

Основними заходами із зменшення деформацій основи є наступні:

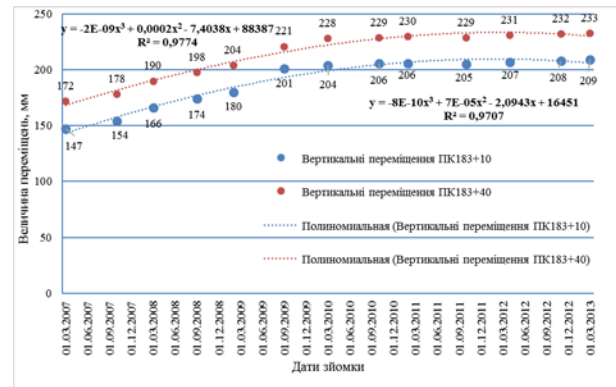


Рис 10. Зміна в часі вертикальних переміщень на ПК183+10 та ПК183+40

- 1) підготовка основи суцільно-секційної оправи при спорудженні лінії відкритим способом (ущільнення основи, заміна водонасиченого ґрунту із малими міцнісними параметрами щебеневою підготовкою, хімічне закріплення);
- 2) підсилення основи при експлуатації вже існуючої лінії за допомогою способів хімічного закріплення, наприклад, jet grouting [2, 9-11].

В останньому заході укріплення основи суцільно-секційної оправи при спорудженні лінії відкритим способом важливим є розташування свердловин для створення елементів укріплення (рис. 11).

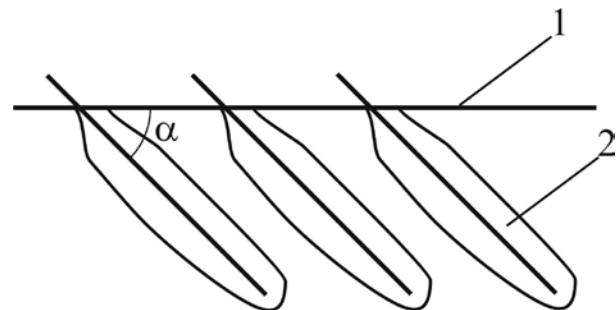


Рис. 11. Розташування елементів укріплення:
1 – ґрунтова основа; 2 – елементи укріплення

Відповідно до способу укріплення в ґрунтову основу під кутом α занурюють елементи укріплення (див. рис. 11), які підсилюють основу більш ефективно, оскільки вони більш інтенсивно укріплюють слабку водонасичену ґрунтову основу під суцільно-секційною оправою [10].

Наукова новизна та практична значимість

В представленій роботі встановлені закономірності деформування різноманітних ґрунтів, у тому числі водонасичених під дією метрополітуду. Причому вони позначені науковою новизною, оскільки надають змогу прогнозувати процес деформування тунельних конструкцій у прив'язці до інженерно-геологічних умов Київського метрополітену. Прив'язка до існуючих інженерно-геологічних умов та висока ступінь достовірності апроксимації свідчить про їх функціональний характер. Розроблені заходи щодо зменшення деформацій водонасиченої основи шляхом розробки нових прийомів будівництва перегінних тунелів із суцільно-секційною оправою, а також технології підготовки є ефективними.

Висновки

Розглядаючи інженерно-геологічний розріз по лінії Київського метрополітену можна зазначити, що більшість основ складені мілкими водонасиченими пісками, які змінюють свої деформаційні та структурні характеристики від дії динамічного навантаження.

Проведення даних досліджень дає змогу зробити висновок, що на всій ділянці перегону деформації мають затухаючий характер. Лінія тренду, яка проходить в наближенні до величин деформацій по кожному пікету, виражена поліноміальною функцією третього порядку.

Подальше будівництво ліній Київського метрополітену відкритим способом із суцільно-секційною оправою, яка спирається на водонасичену основу, потребує її підготовки, а також застосування спеціальних прийомів, що дозволяють споруджувати вказані тунельні конструкції із мінімальним впливом на оточуючий масив.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Петренко, В. И. Современные технологии строительства метрополитенов в Украине [Текст] /

- В. И. Петренко, В. Д. Петренко, А. Л. Тюткин. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2005. – 252 с.
2. Петренко, В. Д. Надежность способов закрепления ґрунтов при эксплуатации перегонных тоннелей Киевского метрополитена [Текст] / В. Д. Петренко, В. И. Петренко, Г. К. Савинков // Вісник ДНУЗТу імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ. – 2011. – Вип. 35. – С. 135-139.
3. Петренко, В. Д. Обзор аналитических и экспериментальных методов исследования взаимодействия массива и крепи [Текст] / В. Д. Петренко, А. Л. Тюткин, В. И. Петренко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 1. – С. 75-81.
4. Дашевский, М. А. Распространение волн при колебании тоннелей метро [Текст] / М. А. Дашевский // Строительная механика и расчет сооружений, 1974. – № 5. – С. 29-34.
5. Великотный, А. П. Влияние величины вибродинамического воздействия на деформируемость глинистых ґрунтов [Текст] / А. П. Великотный // Вопросы земляного полотна и геотехники на железнодорожном транспорте. – 1980. – Вип. 208/29. – С. 30-34.
6. Вознесенский, Е. А. Поведение ґрунтов при динамических нагрузках [Текст] / Е. А. Вознесенский. – Москва : Изд-во МГУ, 1997. – 286 с.
7. Кудрявцев, И. А. Влияние динамических нагрузок на виброкомпрессию несвязных ґрунтов [Текст] / И. А. Кудрявцев // Сб. науч. трудов «Основания и фундаменты», 1989. – С. 73-79.
8. Кудрявцев, И. А. Влияние вибрации на основания сооружений [Текст] / И. А. Кудрявцев. – Гомель : БелГУТ, 1999. – 274 с.
9. Пат. 108108 Україна, МПК E02D 17/20 (2006.01). Суміш для укріплення лесових, піщаних та глинистих ґрунтів [Текст] / Петренко В. Д., Тюткін О. Л., Петрівський І. В., Кулаженко Є. Ю. (Україна) ; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № у 2015 07235 ; заявл. 20.07.2015 ; опубл. 11.07.2016, Бюл. № 13. – 4 с.
10. Пат. 114248 Україна, МПК E02D 17/20 (2006.01). Спосіб укріплення ґрунтової основи [Текст] / Петренко В. Д., Тюткін О. Л., Пшінько П. О., Марочка В. В., Кулаженко Є. Ю. (Україна) ; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № у 2016 06637 ; заявл. 17.06.2016 ; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5. – 4 с.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

11. Петренко, В. И. Обоснование параметров химического закрепления грунтов при строительстве Киевского метрополитена [Текст] / В. И. Петренко, В. Д. Петренко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2014. – Вип. 4. – С. 60-66.
12. Tsinidis, G. Centrifuge Modelling of the Dynamic Behavior of Square Tunnels in Sand / G. Tsinidis, C. Heron, K. Pitilakis, G. S. P. Madabhushi // Experimental Research in Earthquake Engineering. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering. – 2015. – Vol. 35. – pp 509-523.
13. Zhang, Junfeng Built-Up and Dissipation of Excess Pore Water Pressure in Saturated Sand Under Impact Loading / Zhang Junfeng, Meng Xiangyue // Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering. – 2009. – Vol. 3. – pp. 1463-1468.
14. Li, Haifeng Design of a Shield Driving in Water-saturated Cobble and Sand Stratum with High Content of Large-grain Cobbles / Li Haifeng // Modern Tunnelling Technology. – 2009. – Vol. 1. – pp. 57-63.

В. Д. ПЕТРЕНКО^{1*}, А. Л. ТЮТЬКИН², Е. Ю. КУЛАЖЕНКО³, В. И. ПЕТРЕНКО⁴

^{1*} Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский 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 Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, эл. почта alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

³ Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (098) 768 49 21, эл. почта jaksson777@gmail.com, ORCID 0000-0002-4529-7384

⁴ Публичное акционерное общество «Киевметрострой», ул. Прорезная, 8, Киев, Украина, 01601, тел. +38 (044) 455 23 00, эл. почта petrenko@metrobud.kiev.ua

МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ ОБДЕЛКИ СЫРЕЦЬКО-ПЕЧЕРСКОЙ ЛИНИИ КИЕВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ УМЕНЬШЕНИЮ

Цель. В статье исследованы деформации во времени водонасыщенного основания цельно-секционной обделки перегонных тоннелей Сырецко-Печерской линии Киевского метрополитена с целью выяснения их причин и предложения мероприятий по их уменьшению. **Методика.** Для достижения поставленной цели, авторами была проведена привязка к инженерно-геологическому разрезу оседаний обделки, которые получены по результатам мониторинга на протяжении 8 лет. Маркшейдерская съемка проводилась нивелированием с привязками к пикетам трассы. Проанализированы инженерно-геологические условия залегания нескольких проблемных участков Сырецко-Печерской линии Киевского метрополитена. Разработаны мероприятия уменьшения деформаций основания. **Результаты.** После анализа мониторинговых данных, выяснено, что оседание основания чаще всего протекает равномерно, без резкого изменения величины деформаций. Получены максимальные значения деформаций водонасыщенного основания с привязкой к геологическому разрезу. Соответствие характерной интенсивности увеличения деформаций при изменении инженерно-геологических условий подтверждает верность привязки результатов измерений к реальным условиям. Построены графики закономерностей деформаций во времени от метropоезда. **Научная новизна.** Установлены закономерности деформации под действием метropоезда разнообразных грунтов, в том числе водонасыщенных. Привязка к существующим инженерно-геологическим условиям и высокая степень достоверности аппроксимации свидетельствует об их функциональном характере. **Практическая значимость.** Разработаны мероприятия по уменьшению деформаций водонасыщенного основания путем разработки новых приемов строительства перегонных тоннелей с цельно-секционной обделкой, а также технологий подготовки водонасыщенного основания.

Ключевые слова: метрополитен; перегонный тоннель; мониторинг; цельно-секционная обделка; деформация

V. D. PETRENKO^{1*}, O. L. TIUTKIN², YE. YU. KULAZHENKO³, V. I. PETRENKO⁴

^{1*} Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan 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 Dnipropetrovsk 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 Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (098) 768 49 21, e-mail jaksson777@gmail.com, ORCID 0000-0002-4529-7384

⁴ Public Joint-Stock Company «Kyivmetrobud», Prorizna Str., 8, Kiev, Ukraine, 01601, tel. +38 (044) 455 23 00, e-mail petrenko@metrobud.kiev.ua

DEFORMATIONS MONITORING OF SUPPORT THE SYRETSKO-PECHERSKA LINE OF KIEV METRO AND MEASURE ON THEIR DIMINISHMENT

Purpose. Deformations in time of the water-saturated base of all-section support of driving tunnels of the Syretsko-Pecherska line of Kiev Metro with the purpose of finding out of their reasons and suggestion of measures on their diminution are researched in the article. **Methodology.** For achievement of the put purpose authors conducted attachment to the engineering and geological cut of support settling, which are got on results monitoring during 8 years. A mining surveyor survey was conducted by a level with conjunctions to the pickets of route. The engineering and geological conditions of bedding of a few problem areas of the Syretsko-Pecherska line of Kiev Metro are analysed. The measures of diminution of the base deformations are developed. **Findings.** After the monitoring of data analysis, it is found out that settling of the base frequently more than all proceeds uniform without the sharp change of deformations size. The maximal values of deformations of the water-saturated base with conjunction to the geological section are got. Accordance of characteristic intensity of increase of deformations at the change of engineering and geological terms confirms fidelity conjunction of measuring results to the real terms. The graphs of conformities with the law of deformations in time from metro train are built. **Originality.** Conformities with the law of deformations under action of metro train of various soils are set, including water-saturated. Conjunction to the existing engineering and geological conditions and the high degree of authenticity of approximation testifies to their functional character. **Practical value.** Measures on diminishment of deformations of the water-saturated base by development of new receptions of building of driving tunnels with all-section support are developed, and also technologies of preparation of the water-saturated base.

Keywords: metro; driving tunnel; monitoring; all-section support; deformation

REFERENCES

1. Petrenko V. I., Petrenko V. D., Tyutkin A. L. *Sovremennye tekhnologii stroitelstva metropolitenov v Ukraine* [Modern technologies of building subways in Ukraine]. Dnipropetrovsk, Nauka i osvita Publ., 2005. 252 p.
2. Petrenko V. D., Petrenko V. I., Savinkov G. K. Nadezhnost sposobov zakrepleniya gruntov pri ekspluatatsii peregonykh tonney Kievskogo metropolitena [Reliability of methods of anchoring soils during operation of the tunnels of the Kiev Metro]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana – Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 2011, issue 35, pp. 135-139.
3. Petrenko V. D., Tyutkin A. L., Petrenko V. I. Obzor analiticheskikh i eksperimentalnykh metodov issledovaniya vzaimodeystviya massiva i krepki [Review of analytical and experimental methods of research of co-operation of massif and support]. *Mosti ta tuneli: teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 1, pp. 75-81.
4. Dashevskiy M. A. Rasprostranenie voln pri kolebanii tonney metro [The wave advance of fluctuation of the subway tunnels] *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy – Building mechanics and calculation of constructions*, 1974, issue 5, pp. 29-34.
5. Velikotnyj A. P. Vlijanie velichiny vibrodinamicheskogo vozdeystviya na deformiruemost' glinistykh gruntov [Influence of the magnitude of the vibrodynamic effect on the deformability of clay soils]. *Voprosy zemljanogo polotna i geotekhniki na zheleznodorozhnom transporte – Questions of the roadbed and geotechnics in railway transport*. Dnepropetrovsk, DIIT, 1980, issue 208/29, pp. 30-34.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

6. Voznesenskij E. A. *Povedenie gruntov pri dinamicheskikh nagruzkah* [The state of soils at dynamic loads]. Moscow, MGU Publ., 1997. 286 p.
7. Kudrjavcev I. A. Vlijanie dinamicheskikh nagruzok na vibrokompresiju nesvjaznykh gruntov [Influence of dynamic loads on vibrocompression of non-cohesive soils]. *Osnovanija i fundamenti – Foundations and foundations*, 1989. pp. 73-79.
8. Kudrjavcev I. A. Vlijanie vibracii na osnovanija sooruzhenij [Influence of vibration on the foundation of structures]. Gomel, BelGUT Publ., 1999, 274 p.
9. Petrenko V. D., Tiutkin O. L., Petrivskiy I. V., Kulazhenko Ye. Yu. *Sumish dlja ukriplivannia lesovykh, pishchanykh ta hlynistykh gruntiv* [A mixture for strengthening forest, sand and clay soils] Patent UA, no. 108108 u 2015 07235, 2015.
10. Petrenko V. D., Tiutkin O. L., Pshinko P. O., Marochka V. V., Kulazhenko Ye. Yu. *Sposib ukriplivannia gruntovoї osnovy* [Method of strengthening the soil base] Patent UA, no. 114248 u 2016 06637, 2016.
11. Petrenko V. I., Petrenko V. D. Obosnovanie parametrov himicheskogo zakreplenija gruntov pri stroitel'stve Kievskogo metropolitena [Substantiation of the parameters of chemical anchoring of soils during the construction of the Kiev subway]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2014, issue 4, pp. 60-66.
12. Tsiniadis G., Heron C., Pitilakis K., Madabhushi G. S. P. Centrifuge Modelling of the Dynamic Behavior of Square Tunnels in Sand Experimental Research in Earthquake Engineering. Geotechnical, *Geological and Earthquake Engineering*. 2015, Vol. 35, pp. 509-523.
13. Zhang Junfeng, Meng Xiangyue Built-Up and Dissipation of Excess Pore Water Pressure in Saturated Sand Under Impact Loading *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2009, Vol. 3, pp. 1463-1468.
14. Li Haifeng Design of a Shield Driving in Water-saturated Cobble and Sand Stratum with High Content of Large-grain Cobbles *Modern Tunnelling Technology*. 2009, Vol. 1, pp. 57-63.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. М. М. Біляєвим (Україна), д.т.н., проф. Й. Й. Лучком (Україна).

Надійшла до редколегії 15.08.2017.

Прийнята до друку 25.09.2017.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 622.235-049.5

В. И. ПЕТРЕНКО¹, Е. М. ШАТАЙКИН², В. Д. ПЕТРЕНКО^{3*}, А. Л. ТЮТЬКИН⁴

¹ Публичное акционерное общество «Киевметрострой», ул. Прорезная, 8, Киев, Украина, 01601, тел. +38 (044) 455 23 00, эл. почта petrenko@metrobud.kiev.ua

² Тоннельный отряд № 14 ПАО «Киевметрострой», ул. Каштановая, 11, Днепр, Украина, 49051, тел. +38 (067) 501 04 16, эл. почта shat.g@ukr.net

^{3*} Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский 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

⁴ Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, эл. почта alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

ПРОХОДКА НАКЛОННЫХ СТВОЛОВ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ИНГУЛЕЦКОМ ГОКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Цель. Выполнить оценку эффективности способов проходки наклонных стволов циклично-поточной технологии на Ингулецком ГОКе с применением буровзрывных работ при отбойке крепчайших скальных пород. **Методика.** Для достижения поставленной цели рассмотрены и проанализированы основные факторы, влияющие на реализацию эффективной технологии проходки наклонных стволов. **Результаты.** Обоснован уровень эффективности разработанной технологии. **Научная новизна.** Разработаны рациональная схема и параметры буровзрывных работ с комбинированным применением короткозамедленного и замедленного взрывания шпуровых зарядов. **Практическая значимость.** Внедрены рациональные параметры буровзрывных работ при строительстве наклонных стволов.

Ключевые слова: циклично-поточная технология; наклонные стволы; параметры буровзрывных работ; короткозамедленное и замедленное взрывание; эффективность; безопасность

Введение

Публичное акционерное общество «Киевметрострой» сооружает сложные объекты различного назначения, включая метрополитены, мосты, путепроводы, подземные комплексы и гидроаккумулирующую станцию. При этом «Киевметрострой» применяет современную технику и новые технологии строительства, что обеспечивает высокий уровень эффективности и безопасности работ. Так в настоящее время при строительстве Киевметростроем применяется:

- закрытый способ работ с помощью щитовых механизированных проходческих комплексов;
- открытый способ работ с разработкой грунта землеройной техникой;
- технология «стена в грунте», которая подразделяется на а) традиционную монолитную и б) отдельно стоящие секции – так называемые «барреты»;

- буровзрывной способ работ с применением самоходного бурового оборудования при отбойке крепких и крепчайших пород и др.

Подразделение Тоннельный отряд № 7 «Киевметростроя» в 2014 году начало строительство комплекса циклично-поточной технологии (ЦПТ) транспортирования руды с нижних горизонтов карьера ПАО «ИнГОК». Ввод комплекса в эксплуатацию запланирован в 2019 году.

Пуск комплекса ЦПТ откроет для предприятия ИнГОК новые возможности и повысит эффективность производства. Внедрение такой технологии на Ингулецком ГОКе даст возможность поддерживать достигнутую мощность карьера по добыче руды в долгосрочной перспективе, почти на 5 % снизить себестоимость товарного концентрата, уменьшить расстояние транспортирования руды автосамосвалами на 1,7...3,2 км.

Основные объекты комплекса сооружаются на горизонтах -240 м, -300 м и -360 м.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

В соответствии с разработанным проектом проходки наклонных стволов в ходе строительства комплекса ЦПТ на ИнГОКе предусматривается выполнить выемку около 183000 м^3 горных пород, уложить 28000 м^3 бетона, смонтировать 7000 т оборудования и металлоконструкций.

Проблема проходки Восточного и Западного наклонных стволов под углом $14...16^\circ$ заключается в том, что отбиваемые с помощью буровзрывных работ породы относятся к весьма и исключительно крепким. При этом породы представлены силикат-магнетитовыми кварцитами с коэффициентом крепости по Протодюканову $f = 19...20$. Породы являются трудно взрывающимися. Поэтому для их отбойки необходимо было выбрать наиболее эффективную схему обуривания поперечного сечения выработки, величину заходки и глубину шпуров, тип и удельный расход ВВ и схему инициирования зарядов.

Таким образом, задача выбора эффективной технологии ведения буровзрывных работ и проходки наклонных конвейерных стволов в крепчайших горных породах является весьма актуальной.

Цель

Целью научно-технической работы является обоснование рациональных параметров и выбор эффективной технологии ведения буровзрывных работ при строительстве подземных горных выработок рудного ЦПТ в крепчайших породах на карьере Ингулецкого ГОКа.

Методика

В настоящее время развитие горно-капитальных работ на строительстве наклонных стволов на ИнГОКе обусловлено их углублением до горизонта -300 м (рис. 1).

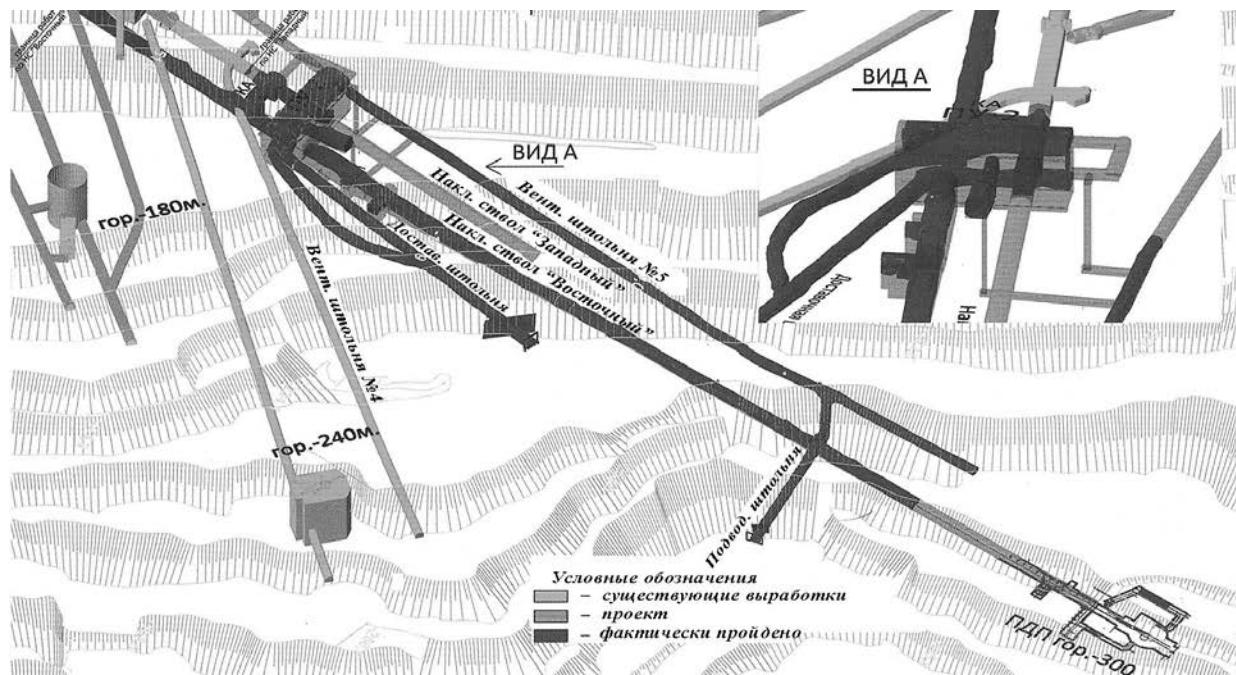


Рис. 1. Схема развития горно-капитальных работ на строительстве подземных горных выработок рудного ЦПТ ПАТ «ИнГОК»

Как видно из приведенной схемы до горизонта -240 м пройдены следующие выработки:

- доставочная штольня;
- вентиляционная штольня № 4;
- вентиляционная штольня № 5;
- наклонный ствол «Западный»;
- наклонный ствол «Восточный».

По проекту была запланирована проходка наклонного ствола «Восточный» от горизонта -240 м до горизонта -360 м с применением буровзрывного способа. При этом на горизонте -240 м был построен портал для ствола «Восточный», из которого осуществлялась вентиляция забойной выработки вентилятором глав-

ного проветривания и металлическими трубами диаметром 1,0 м.

Результаты

Как известно, наиболее эффективным способом проходки выработок в крепких и крепчайших породах является буровзрывной, теоретические основы и практический опыт применения изложены во многих научных работах и публикациях [1-13].

Технология проходки ствола «Восточный» с применением буровзрывных работ заключалась в бурении шпуров глубиной 2,5 м в забое с параметрами: ширина – 6,4 м, высота – 4,25 м, площадь – 24 м². При этом бурение шпуров выполнялось с помощью самоходных двухстреловых электрогидравлических установок типа Vuomer 288 и Vuomer M2S шведской компании Atlas Copco. Первая установка применялась для бурения шпуров в забое на величину заходки, а вторая – для бурения шпуров под анкера временного крепления.

Шпуры в забое располагались по схеме, представленной на рис. 2. Шпуры имели диа-

метр 45 мм и заряжались взрывчатым веществом Аммонит № 6ЖВ и Анемикс-П32/200.

Наименование шпуров, их количество, глубина, номера шпуров, величина заряда в шпуре и дина забойки приведены в табл. 1.

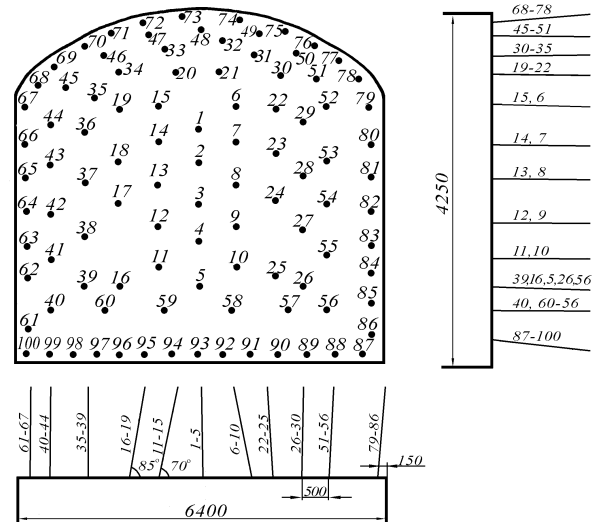


Рис. 2. Схема расположения шпуров в забое

Таблица 1

Параметры шпуровых зарядов при проходке ствола «Восточный»

№ п/п	Наименование шпуров	Количество, шт.	Глубина, м	№ шпуров	Величина заряда, кг			Длина забойки из глины, м
					Аммонит № 6ЖВ	Анемикс-П32/200	Итого	
1.	Разгрузочные	5	1,6	1-5	0,4	1,0	1,4	0,5
2.	Врубовые	10	2,4	6-15	0,4	1,6	2,0	0,7
3.	Вспомогательные	10	2,4	16-25	0,4	1,6	2,0	0,7
4.	Отбойные	35	2,2	26-60	0,4	1,4	1,8	0,7
5.	Оконтуривающие	26	2,2	61-86	0,4	1,4	1,8	0,7
6.	Оконтуривающие по подошве	14	2,2	87-100	0,4	1,6	2,0	0,7
Итого		100	221		40,0	144,8	184,8	

Диаметр патронов был равен 32 мм, длина 250 мм и масса 200 г. Поскольку проходка ствола осуществлялась в силикат-магнетитовых кварцитах высочайшей крепости, был принят

высокий показатель удельного расхода $q = 2,7...2,8$ кг/м³.

При общей массе зарядов на заходку в 184,8 кг её величина равна

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

$$l_{зax} = Q / q \cdot S,$$

где $Q = 184,8$ кг; q – удельный расход ВВ равный $3,6$ кг/м³; S – площадь поперечного сечения выработки, $S = 24$ м².

Тогда $l_{зax} = 184,8 / 3,6 \cdot 24 = 2,14$ м.

Следовательно, средняя глубина шпура при коэффициенте его использования, равном $0,85$, определяется следующей величиной

$$l_{ин} = l_{зax} / \kappa_{кин} = 2,14 / 0,85 = 2,5$$
 м.

Взрывание зарядов выполнялось с помощью неэлектрической системы инициирования «Импульс». При этом осуществлялось комбинированное применение способов короткозамедленного и замедленного взрывания. В схеме соединения зарядов было предусмотрено использование детонирующего шнура типа ДШЭ-9 с двумя электродетонаторами, подсоединяемых к нему и подрываемых из блиндажа с помощью взрывной машинки. К детонирующему шнуру подсоединялись устройства типа УНС-ШК с различными степенями замедления с патронами-боевиками, помещаемыми первыми у дна шпура.

Для выполнения предусмотренной схемы взрывания применяли подрыв групп зарядов в такой последовательности: первыми с замедлением 20 мс взрывались пять разгрузочных шпуров, вслед за ними подрывали десять врубовых зарядов с замедлением 60 мс, потом десять вспомогательных врубовых с замедлением 100 мс, 35 шт. отбойных зарядов взрывали с разделением их на группы, замедляемые через 200 , 300 , 500 мс. Далее подрывали 26 оконтуривающих шпуровых зарядов по группам с замедлением 800 , 1000 и 3000 мс. После них в заключительной фазе взрывали 14 оконтуривающих зарядов по подошве с замедлениями 5000 и 7000 мс.

Погрузка и доставка к порталу раздробленной породы выполнялась с помощью погрузочно-доставочной машины типа ST1030 Atlas Copco грузоподъемностью 20 тонн. При этом исключалось использование других видов погрузочно-транспортных машин, поскольку эта машина имеет высокую производительность и маневренность при погрузке и доставке крупнокусковых крепчайших пород.

Вентиляцию забоя производили от портала с помощью вентилятора главного проветривания

типа ВЦП-16 и системы металлических труб диаметром $800 \dots 1000$ мм.

Научная новизна и практическая значимость

Использование эмульсионных ВВ типа Анемикс-П32/200 позволило существенно снизить уровень загазованности забоя после взрыва, поскольку данное ВВ имеет близкий к нулю кислородный баланс. В результате количество вредных газов практически было сведено к минимуму за исключением тех частей заряда, которые снаряжались Аммонитом № 6ЖВ.

Крепление забоя осуществлялось по временной схеме путем бурения анкерных шпуров, навешивания к ним специальной сетки и выполнения набрызгбетона.

Постоянная крепь возводилась с отставанием от забоя на $30 \dots 50$ м путём обустройства опалубки и подачи за неё бетона.

Данная технология позволила высокопроизводительно пройти две капитальные выработки и закрепить их бетонной крепью с использованием в течение всего периода эксплуатации ЦПТ с горизонта -360 м до поверхности.

Таким образом, достигался высокий уровень качественного дробления крепчайших пород с минимальным сейсмическим воздействием на близрасположенные возводимые ранее объекты и реализация высокоэффективной технологии строительства капитальных горных выработок в сложных горнотехнических условиях.

Выводы

Как показал анализ выполненных исследований и результаты внедрения разработанной технологии ведения буровзрывных работ в сложных горнотехнических условиях, данная технология является наиболее эффективной и практически единственной для оперативного строительства наклонных горных выработок большого поперечного сечения. Её применение позволило исключить внедрение конвейерного и гусеничного транспорта для доставки породы от забоя к порталу. Кроме того, было обеспечено безопасное содержание проходимых выработок за счет комбинированного рамного, анкерного и набрызг-бетонного крепления особенно в местах геологических нарушений и сопряжений с вспомогательными выработками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ

1. Кутузов, Б. Н. Справочник взрывных работ [Текст] / Б. Н. Кутузов, В. М. Скоробогатов и др. Под общей ред. Б. Н. Кутузова. – Москва : Недра, 1988. – 511 с.
2. Кутузов, Б. Н. Разрушение горных пород взрывом [Текст] / Б. Н. Кутузов. – Москва : Изд-во МГИ, 1992. – 516 с.
3. Кутузов, Б. Н. Безопасность взрывных работ в промышленности [Текст] / Б. Н. Кутузов, А. М. Ильин, А. Е. Умнов и др. Под общей ред. Б. Н. Кутузова. – Москва : Недра, 1992. – 544 с.
4. Крысин, Р. С. Модели взрывного дробления горных пород : монография [Текст] / Р. С. Крысин, В. В. Новинский. – Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2006. – 144 с.
5. Полянкин, Г. Н. Буровзрывные работы в тоннелестроении [Текст] / Г. Н. Полянкин. – Москва : 2007. – 375 с.
6. Бызов, В. Ф. Взрывное разрушение горных пород : монография [Текст] / В. Ф. Бызов, В. А. Колосов, П. И. Федоренко. – Кривой Рог : Издательский центр ГВУЗ «КНУ», 2012. – 407 с.
7. Способы подрывания зарядов вибухових речовин : навчальний посібник [Текст] / В. В. Соболев, А. В. Чернай, В. М. Чебенко, О. В. Скобенко. – Дніпропетровськ : «Лізунов-ПРЕС», 2013. – 88 с.
8. Фокин, В. А. Отработка параметров буровзрывных работ при проходке железнодорожного тоннеля [Текст] / В. А. Фокин // Метро и тоннели. – 2013. – № 6. – С. 14-18.
9. Кириченко, А. Л. Исследование детонационных характеристик шпуровых зарядов патронированных ЭВМ [Текст] / А. Л. Кириченко, Е. Б. Устименко, Л. Н. Шиман, В. В. Политов // Науковий вісник НГУ. – 2012. – Вип. 6(132). – С. 37-41.
10. Petrenko, V. D. Features of drilling-and-blasting at construction of Beskidskiy Tunnel. / V. D. Petrenko, O. L. Tiutkin, S. T. Proskurnia // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. – № 5 (65), 2016. – pp. 178-185.
11. Соболев, В. В. Технологія та безпека виконання підричних робіт : навчальний посібник для ВНЗ [Текст] / В. В. Соболев, Р. М. Терешук, О. Є. Григор'єв. – Дніпро : НГУ, 2017. – 314 с.
12. Пат. 114370 Україна, МПК F42D 3/04 (2006.01). Спосіб зниження сейсмічної дії при підриванні зарядів / Петренко В. Д., Тютькін О. Л., Кулаженко Є. Ю., Проскурня С. Т., Глухов О. О. (Україна) ; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № u 2016 08595 ; заявл. 05.08.2016 ; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5. – 4 с.
13. Петренко, В. Д. Параметры и технология экспериментальных взрывов при проходке левого перегонного тоннеля метрополитена в г. Днепре [Текст] / В. Д. Петренко, Е. М. Шатайкин, А. М. Штандарин, А. Л. Тютькин, В. П. Куприй // Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте. – 2017. – № 13. – С. 95-102

В. І. ПЕТРЕНКО¹, Є. М. ШАТАЙКІН², В. Д. ПЕТРЕНКО^{3*}, О. Л. ТЮТЬКІН⁴

¹ Публічне акціонерне товариство «Київметробуд», вул. Прорізна, 8, Київ, Україна, 01601, тел. +38 (044) 455 23 00, ел. пошта petrenko@metrobud.kiev.ua

² Тунельний загін № 14 ПАТ «Київметробуд», вул. Каштанова, 11, Дніпро, Україна, 49051, тел. +38 (067) 501 04 16, ел. пошта shat.g@ukr.net

^{3*} Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський 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

⁴ Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, ел. пошта alexeyututkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

ПРОХОДКА ПОХИЛИХ СТОВБУРІВ ЦИКЛІЧНО-ПОТОКОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ НА ИНГУЛЕЦЬКОМУ ГЗК З ВИКОРИСТАННЯМ БУРОПІДРИВНИХ РОБІТ

Мета. Виконати оцінку ефективності способів проходки похилих стовбурів циклічно-поточної технології на Ингулецькому ГЗК з застосуванням буровибухових робіт при відбійці найміцніших скельних порід. **Методика.** Для досягнення поставленої цілі розглянуті та аналізуються основні фактори, що впливають на реалізацію ефективної технології проходки похилих стовбурів. **Результати.** Обґрунтовано рівень ефектив-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ності розробленої технології. **Наукова новизна.** Розроблені раціональна схема та параметри буровибухових робіт з комбінованим застосуванням короткочасного та затримки вибуху шпурових зарядів. **Практична значимість.** Впроваджені раціональні параметри буровибухових робіт при будівництві нахилених стовбурів.

Ключові слова: циклічно-поточна технологія; похилі стволи; параметри буровибухових робіт; коротко-уповільнене та уповільнене підривання; ефективність; безпечність.

V. I. PETRENKO¹, E. M. SHATAYKIN², V. D. PETRENKO^{3*}, A. L. TIUTKIN⁴

¹ Public Joint Stock Company "Kievmetrostroy", 8 Proreznaya Str., Kyiv, Ukraine, 01601, tel. +38 (044) 455 23 00, e-mail petrenko@metrobud.kiev.ua

² Tunnel detachment No. 14 PJSC "Kievmetrostroy", 11 Kashtanova Str., Dnepr, Ukraine, 49051, tel. +38 (067) 501 04 16, e-mail shat.g@ukr.net

^{3*} Department "Bridges and tunnels", Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 708 50 69, e-mail petrenko.diit@gmail.com, ORCID 0000-0003-2201-3593

⁴ Department "Bridges and tunnels", Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 290 45 18, e-mail alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

DRIVING OF INCLINED SHAFTS OF CYCLIC-LINE PRODUCTION TECHNOLOGY IN INGULETS IRON ORE ENRICHMENT WORKS WITH USE OF DRILLING AND BLASTING OPERATIONS

Purpose. Implement an estimate of the driving methods efficiency of inclined shafts of cyclic-line production technology at Ingulets Iron Ore Enrichment Works with use of drilling and blasting operations when breaking the strongest rocks. **Methodology.** In order to achieve this purpose, the main factors influencing the implementation of the effective technology of driving the inclined shafts. **Findings.** The level of efficiency of the developed technology is substantiated. **Originality.** The rational scheme and parameters of drilling and blasting operations with a combined application of short- delayed and delayed explosion of borehole charges have been developed. **Practical value.** The rational parameters of blasting operations during the construction of inclined shafts have been integrated.

Keywords: cyclic and line production technology; parameters of drilling and blasting operations; short-delayed and delayed blasting; effectivity; safety

REFERENCES

1. Kutuzov B. N., Skorobogatov V. M. *Spravochnik vzryvnykh rabot* [Reference book of explosive works]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 511 p.
2. Kutuzov B. N. *Razrushenie gornykh porod vzryvom* [Destruction of rocks by explosion]. Moscow, MGI Publ., 1992. 516 p.
3. Kutuzov B. N., Ilin A. M., Umnov A. Ye. *Bezopasnost vzryvnykh rabot v promyshlennosti* [Safety of explosive works in the industry]. Moscow, Nedra Publ., 1992. 544 p.
4. Krysin R. S., Novinskiy V. V. *Modeli vzryvnogo drobleniya gornykh porod* [Models of explosive crushing of rocks]. Dnepropetrovsk, ART-PRESS Publ., 2006. 144 p.
5. Polyankin G. N. *Burovzryvnye raboty v tonnelestroenii* [Drilling-and-blasting works in tunneling]. Moscow, 2007. 375 p.
6. Byzov V. F., Kolosov V. A., Fedorenko P. I. *Vzryvnoe razrushenie gornykh porod* [Explosive destruction of rocks]. Krivoj Rog, GVUZ "KNU" Publ., 2012. 407 p.
7. Soboliev V. V., Chernai A. V., Chebenko V. M., Skobenko O. V. *Sposoby pidryvannia zariadiv vybukhovyykh rechovyh* [Ways of charges detonation of explosives: training appliance]. Dnipropetrovsk, «Lizunov-PRES» Publ., 2013. 88 p.
8. Fokin V. A. *Otrabotka parametrov burovzryvnykh rabot pri prohodke zheleznodorozhnogo tonnelya* [Working off of drilling-and-blasting works parameters at a driving of a railway tunnel]. *Metro i tonneli – Metro and tunnels*, 2013, vol. 7, pp. 14-18.

9. Kirichenko A. L., Ustimenko Ye. B., Shiman L. N., Politov V. V. Issledovanie detonatsionnykh kharakteristik shpurovykh zaryadov patronirovannykh EVM [Research of detonation characteristics shpurovykh of charges patronirovannykh of the computer]. *Naukovyi visnyk NGU – Scientific bulletin of National Mining University*, 2012, issue 6(132), pp. 37-41.
10. Petrenko V. D., Tiutkin O. L., Proskurnia S. T. Features of drilling-and-blasting at construction of Beskidskiy Tunnel. *Science and Transport Progress. [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport]*. 2016. issue. 5 (65), pp. 178-185.
11. Soboliev V. V., Tereshchuk R. M., Hryhoriev O. Ye. *Tekhnolohiia ta bezpeka vykonannia pidryvnykh robot* [Technology and security to perform blasting operations]. Dnipro, Ministry of Education and Science of Ukraine. National Mining University Publ., 2017. 314 p.
12. Petrenko V. D., Tiutkin O. L., Kulazhenko Є. Ju., Proskurnya S. T., Gluhov O. O. *Sposib znyzhennia seismichnoi dii pry pidryvanni zariadiv* [A method of seismic action reducing when blasting charges] Patent UA. no u 2016 08595, 2016.
13. Petrenko V. D., Shataykin Ye. M., Shtandarin A. M., Tyutkin A. L., Kupriy V. P. Parametry i tekhnologiya eksperimentalnykh vzryvov pri prokhodke levogo peregonnogo tonnelya metropolitena v g. Dnepre [Parameters and technology of experimental explosions during the driving of the left running tunnel of the underground in the city of Dnepr]. *Elektromagnitnaya sovmestimost i bezopasnost na zheleznodorozhnom transporte – Electromagnetic compatibility and safety in railway transport*, 2017, issue. 13. pp. 95-102.

Статья рекомендована к публикации проф., д.т.н., Ефремовым Э. И. (Украина), проф., д.т.н., Соболевым В. В. (Украина).

Поступила в редколлегию 20.08.2017.

Принята к печати 25.09.2017.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21.09:012.35/.014:539.13

М. М. ПОПОВИЧ^{1*}, П. А. ОВЧИННИКОВ², В. І. ВЕРХОЛАЗ³

^{1*} Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (096) 649 32 92, ел. пошта popovich.n.m@ukr.net, ORCID 0000-0003-1790-3110

² Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (099) 452 15 02, ел. пошта pavlovchinnikov@gmail.com, ORCID 0000-0003-1046-803X

³ Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (093) 233 54 32

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПРОГОНОВОЇ БУДОВИ ПРИ СПОРУДЖЕННІ МЕТОДОМ ПОЗДОВЖНЬОГО НАСУВУ

Мета. Метою даної статті є визначення найбільш раціональних схем монтажу в процесі поздовжнього насуву, при яких всі напруження в конструкції будуть допустимими. **Методика.** В якості об'єкту дослідження в роботі використовується типова нерозрізна сталезалізобетонна прогонова будова по схемі 63+84+63 м за типовим проектом серії 3.503.9-62. Для дослідження напруженого стану прогонової будови в програмному комплексі «Midas Civil» були створені комп'ютерні скінченно-елементні моделі різних схем поздовжнього насуву. До розрахунку прийнято сім схем монтажу прогонової будови, які включають в себе поздовжній насув як металокожухів (тільки металевої частини прогонової будови), так і насув змонтованої сталезалізобетонної прогонової будови. **Результати.** Розрахунок насуву сталезалізобетонної прогонової будови довів, що вже на перших стадіях, коли кожна будова заводиться в половину першого прогону, в залізобетонній плиті відбувається перевищення значень розрахункового опору бетону на розтяг. Тому дані схеми монтажу використовувати не можна. На практиці рекомендовано спочатку насувати металеву частину прогонової будови, а потім вкладати блоки чи бетонувати монолітну плиту проїзду, що є раціональною схемою поздовжнього насуву вказаних прогонових будов. **Наукова новизна.** Результати дослідження напруженого стану прогонової будови в процесі поздовжнього насуву відмічені науковою новизною для обраної схеми. **Практична значимість.** Доведено, що найраціональнішим методом спорудження є поздовжній насув із використанням аванбека або тимчасової опори.

Ключові слова: метод поздовжнього насуву; метод скінченних елементів; збірна залізобетонна плита; сталезалізобетонна прогонова будова; нерозрізна прогонова будова; металокожухів

Вступ

Сталезалізобетонні прогонові будови є специфічним сучасним видом мостових конструкцій, які мають досить широке поширення [1, 2, 9-14]. Перевагою таких прогонових будов в порівнянні з металевими є збільшення несучої здатності внаслідок об'єднання металевої балки із залізобетонною плитою. Тому при однаковій витраті металу можна перекрити більший прогін.

Для сталезалізобетонних прогонових будов характерні економія сталі, збільшення вертикальної і горизонтальної жорсткості та ряд інших переваг у порівнянні з металевими прогоновими будовами, що забезпечують сумісну роботу залізобетонної проїзної частини і сталевих балок [1, 2].

Залізобетонна плита може бути монолітною або збірною. Кожен з цих варіантів має свої переваги та недоліки. Для бетонування монолітної плити необхідно влаштовувати опалубку, виконувати на місці арматурні роботи та укладання бетону. Це вимагає виконання досить великого обсягу трудомістких робіт і більшого терміну будівництва, ніж при зведенні збірних плит, але забезпечує хороший зв'язок бетону з упорами і повну монолітність плити.

При збірній плиті значно прискорюються темпи будівництва. Однак об'єднання збірної плити з металевими балками вимагає спеціальних конструктивних пристроїв. Основним недоліком є необхідність досягнення однакової міцності бетону плити і бетону ділянок омоноличування [2].

Для спільної роботи залізобетонної плити з металевими балками необхідно створення надійного зв'язку, здатного передавати зсувні зусилля, що виникають між плитою і верхніми поясами металевих балок. Для цього влаштовують спеціальні зв'язувальні елементи, що виконуються у вигляді жорстких або гнучких штирьових металевих упорів.

Монтаж прогонових будов мостів може виконуватися декількома способами [1]:

1) встановлення окремих балок або готових прогонових будов кранами на постійні або тимчасові опори;

2) збірка на помостах, які влаштовуються в прогоні, що монтується; напівнавісним або навісним способами;

3) конструкції, що збираються на березі, подають в прогін шляхом поздовжнього або поперечного насуву;

4) перевезенням на плавучих засобах.

Мета

Поздовжній насув дозволяє одночасно зводити опори і збирати прогонові будови. Насув прогонових будов на готові опори займає мало часу, що дозволяє значно скоротити терміни будівництва. Крім того, можна рівномірно розподілити роботи протягом року, збираючи конструкції на підходах в будь-який час, в тому числі і в період льодоходу або повені. Враховуючи вище викладене, дослідження процесу поздовжнього насуву, а саме напруженого стану прогонової будови в процесі спорудження, є метою наданої статті. Головним завданням дослідження є визначення найбільш раціональних схем монтажу, при яких всі напруження в конструкції будуть допустимими, а трудовитрати на облаштування мінімальними.

Методика

В якості об'єкту дослідження в роботі використовується типова нерозрізна сталезалізобетонна прогонова будова по схемі 63+84+63 м за типовим проектом серії 3.503.9-62 [3-5]. В поперечному перерізі має дві зварні суцільностінчасті головні балки з відстанню між ними 6,4 м, двотаврового перерізу з поясами різного перерізу, що об'єднані системою поперечних та поздовжніх зв'язків, та вертикальною стінкою з постійною висотою, що дорівнює 3160 мм і розташованою по осі прогонової будови поздов-

жню балку (прогін) з прокатного широкополого двотавра 40ШЗ або зварного двотавра з поясами перерізом 300×16 мм і вертикальною стінкою 380×10 мм з універсальної сталі. Поздовжня балка (прогін) опирається на поперечні зв'язки через 5250 мм. Головні балки і прогін об'єднуються за допомогою жорстких упорів із залізобетонною плитою проїзної частини.

Головні балки прогонової будови розбиваються на монтажні блоки довжиною 10,5 і 16,05 м. Довжина кінцевих блоків 16,05 м прийнята з економічних міркувань і тривалому досвіду виготовлення та монтажу прогонових будов. Залізобетонна плита проїзної частини товщиною 14 см запроектована із збірних блоків, кінцеві ділянки із монолітного бетону.

Спочатку, для більш детального дослідження напруженого стану прогонової будови, в програмному комплексі «Midas Civil» були створені, з подальшим завантаженням, комп'ютерні скінчено-елементні моделі [6-8] різних схем поздовжнього насуву.

До розрахунку прийнято сім схем монтажу прогонової будови, які включають в себе поздовжній насув як металокопії (тільки металеві частини прогонової будови), так і насув змонтованої сталезалізобетонної прогонової будови. Наступним кроком є визначення стадій монтажу. У якості найхарактерніших, прийнято стадії під час підведення конструкції до кожної з постійних опор (нумерація опор справа наліво). На кожній стадії визначені максимальні прогини, нормальні напруження та виведені епюри згинальних моментів і поперечних сил.

Результати

За першою схемою виконується поздовжній насув металеві частини прогонової будови. Під час другої стадії, коли довжина консолі конструкції найбільша (рис. 1), виникають перевищення розрахункового опору сталі.

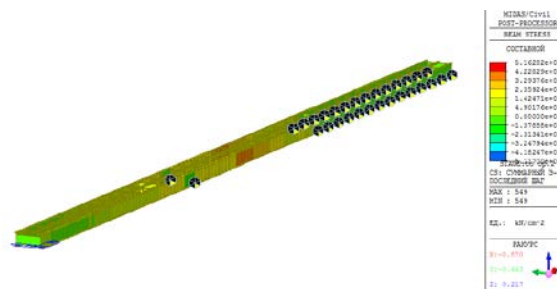


Рис. 1. Ізополя нормальних напружень (63+78,75 м)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Вони становлять 417 МПа в балці та 479 МПа у в'язях. Тому в даній ситуації можлива депланація поперечного перерізу – процес його викривлення у просторі.

Друга схема представляє насув металокопункції прогонової будови з використанням аванбека. Аванбек дозволяє зменшити прогини; напруження (рис. 2) у порівнянні з першою схемою не перевищують розрахункового опору сталі і складають 168 МПа в балці та 307 МПа у в'язях.

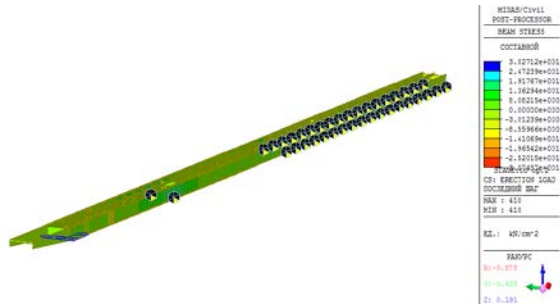


Рис. 2. Ізополю нормальних напружень (63+78,75 м)

За схемою № 3 насувається металокопункція із улаштуванням тимчасової опори в руслі. Максимальні напруження (140 МПа) в балці виникають на першій стадії, при підведенні конструкції до першої опори (рис. 3), та у в'язях на третій стадії – 229 МПа. Перевищення розрахункового опору сталі не відбувається, проте монтаж і демонтаж інвентарних конструкцій вимагає певних обмежень.

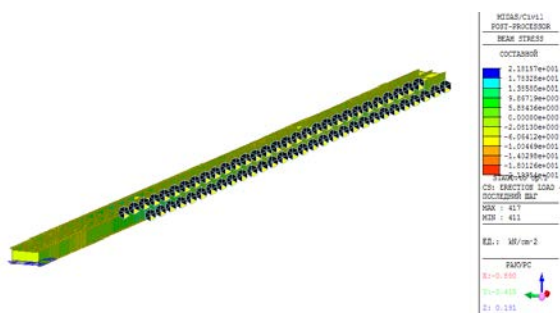


Рис. 3. Ізополю нормальних напружень (57,75 м)

Схема № 4 – насув металокопункції з використанням аванбека та тимчасової опори. Як і в попередній схемі, максимальні навантаження виникають на першій та третій стадіях. Вони не перевищують розрахункового опору сталі та складають 81 МПа в балці і 146 МПа у в'язях відповідно (рис. 4).

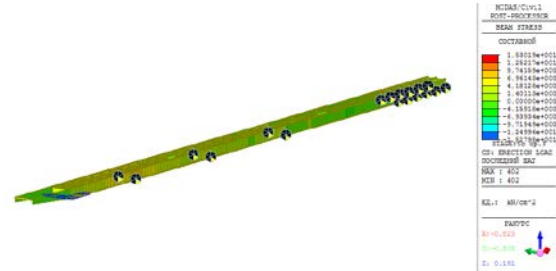


Рис. 4. Ізополю нормальних напружень (63+2×42+57,75 м)

За п'ятою схемою проводиться насув змонтованої сталезалізобетонної прогонової будови. На першій стадії, при підведенні конструкції до першої опори, в плиті відбувається перевищення значень розрахункового опору бетону на розтяг (3,4 МПа для бетону В30), напруження становлять 21 МПа (рис. 5).

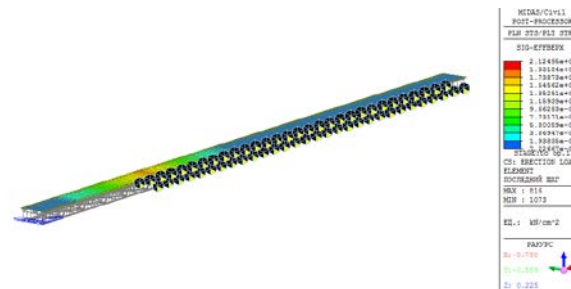


Рис. 5. Ізополю нормальних напружень в плиті (57,75 м)

Схема № 6 – насув сталезалізобетонної прогонової будови з улаштуванням аванбека. Максимальні напруження в плиті, що виникають на першій стадії монтажу, менші у порівнянні із насувом за попередньою схемою, проте вони також перевищують значення розрахункового опора бетону на розтяг і становлять 11 МПа (рис. 6).

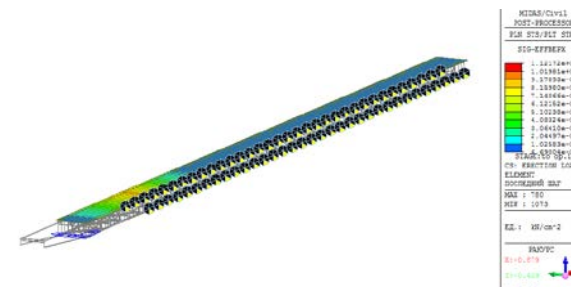


Рис. 6. Ізополю нормальних напружень в плиті (57,75 м)

За схемою № 7 виконується поздовжній насув сталезалізобетонної прогонової будови з

аванбеком та влаштуванням тимчасової опори в руслі. Якщо розглядати другу стадію (рис. 7), коли конструкція знаходиться у найвигіднішому положенні та має найменші значення напружень, в плиті все одно відбувається перевищення значень розрахункового опора бетону на розтяг ($11 \text{ МПа} > 3,4 \text{ МПа}$).

Використання аванбека дозволяє зменшити трудовитрати, напруження, а також прогини металокопункції. На стадії підведення конструкції до опори № 1 (57,75 м) максимальні напруження в балці та прогини складають 81 МПа та 27,5 см (рис. 8) відповідно, в порівнянні зі схемою насуву із тимчасовою опорою – 140 МПа та 51,9 см (рис. 9) відповідно.



Рис. 7. Ізополя нормальних напружень в плиті (63+42+36,75 м)

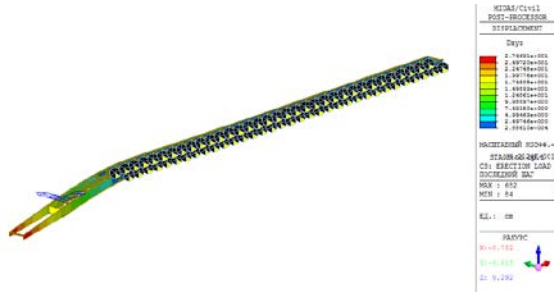


Рис. 8. Ізополя прогинів (57,75 м)

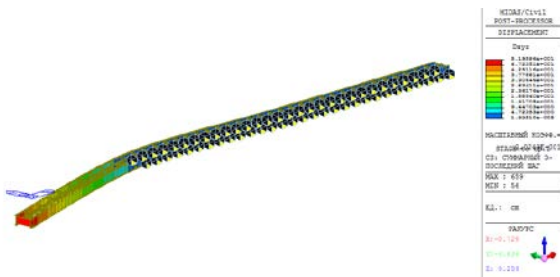


Рис. 9. Ізополя прогинів (57,75 м)

Тому для подальшого розрахунку приймаємо монтаж за схемою № 2 – насув металокопункції прогонової будови із влаштуванням аванбека.

Найбільш раціональний метод необхідно обрати з перших чотирьох схем – поздовжнього насуву металокопункції прогонової будови. При аналізі таблиці 1 видно, що при насуванні металокопункції за схемою № 1 (без проміжної опори та без аванбека) відбувається перевищення розрахункового опору сталі 15ХСНД (345 МПа). У в'язях відбувається депланація поперечного перерізу.

Таблиця 1

Напружений стан металеві частини прогонової будови при поздовжньому насуві

	Характерні стадії, м	Максимальні прогини, см	Максимальні напруження в балці/в зв'язках, МПа
Схема №1	63+78,75	227	417/479
Схема №2	63+78,75	111	168/307
Схема №3	57,75	51,9	140/220
Схема №4	63+2×42+57,75	29,5	80/153

Наукова новизна та практична значимість

Результати дослідження напруженого стану прогонової будови в процесі поздовжнього насуву характеризуються науковою новизною для обраної схеми. Доведено, що найраціональнішим методом спорудження є поздовжній насув із використанням аванбека або тимчасової опори. Однак, проаналізувавши дані схеми окремо, влаштування тимчасової опори вимагає великих трудовитрат у порівнянні з аванбеком, особливо при її значній висоті. Також можуть виникнути проблеми із пропуском суден при судноплавному прогоні. Тому проміжні опори влаштовують тільки при їх незначній висоті та за відсутності аванбека.

Висновки

Розрахунок насуву сталезалізобетонної прогонової будови показав, що вже на перших стадіях, коли конструкція заводиться в половину першого прогону, в залізобетонній плиті відбувається перевищення значень розрахункового опору на розтяг. Тому дані схеми монтажу ви-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

користувати не можна. На практиці рекомендовано спочатку насувати металеву частину прогонової будови, а потім вкладати блоки чи бетонувати монолітну плиту проїзду, що є раціональною схемою поздовжнього насуну вказаних прогонових будов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ефимов, П. П. Проектирование мостов [Текст] / П. П. Ефимов. – Омск : 2006. – 111 с.
2. Шишова, Т. А. Проектирование сталежелезобетонных пролетных строений со сплошностенчатыми главными балками: учебно-методическое пособие [Текст] / Т. А. Шишова, М. А. Телегин. – Омск : СибАДИ, 2012. – 100 с.
3. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]. – Надано чинності 2007-02-01. – Київ : Мін. буд., архіт. та житл.-комун. госп-ва, 2006. – 359 с.
4. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Текст]. – Надано чинності 2011-06-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.
5. ДБН В.2.3-26:2010. Споруди транспорту. Мости та труби. Сталеві конструкції. Правила проектування [Текст]. В 2 ч. – Надано чинності 2011-10-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 104 с. і 195 с.
6. Яременко, О. Ф. Несуча здатність та деформативність залізобетонних стержневих елементів в складному напруженому стані [Текст] / О. Ф. Яременко, Ю. О. Школа. – Одеса : МПП «Евен», 2010. – 135 с.
7. Китарь, Е. В. Анализ деформаций консоли пролетного строения при продольной надвижке [Электронный ресурс] / Е. В. Китарь, Л. В. Козырева // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2015. – № 2 (10). – Режим доступа: trts.esrae.ru/16-70 – Загл. с экрана.
8. Попович, Н. М. Исследование напряженного состояния пролетного строения с предварительно напряженного железобетона / Н. М. Попович, И. В. Клименко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 3. – С. 137-141.
9. Wulin Li, Strengthening of Composite Steel-Concrete Bridges / Wulin Li, Pedro Albrecht, Hamid Saadatmanesh // Journal of Structural Engineering. – 1995. – Vol. 121. – Issue 12. – P. 1842-1849.
10. Reiner, S. Bridges with Double Composite Action / S. Reiner – SEI (Structural Engineering International) – February 1996. – vol. 6, no. 1. – P. 32-36.
11. Brozzetti, J. Design development of steel-concrete composite bridges in France / J. Brozzetti // Journal of Constructional Steel Research. – 2000. – Vol. 55. – Issues 1-3. – P. 229-243.
12. Shun-ichi Nakamura, New technologies of steel/concrete composite bridges / Shun-ichi Nakamura, Yoshiyuki Momiyama, Tetsuya Hosaka, Koji Homma // Journal of Constructional Steel Research. – 2002. – Vol. 58. – Issue 1. – P. 99-130.
13. Flaga, K. Double composite bridges / K. Flaga, M. Pańtak // Inżynieria i Budownictwo (Engineering and Construction). – 2006. – No. 7-8. – P. 402-407.
14. Pańtak, M. Double composite bridges – the main concept and examples of its implementation / M. Pańtak // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 3. – С. 244-251.

Н. М. ПОПОВИЧ^{1*}, П. А. ОВЧИННИКОВ², В. И. ВЕРХОЛАЗ³

^{1*} Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (096) 649 32 92, эл. почта popovich.n.m@ukr.net, ORCID 0000-0003-1790-3110

² Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (099) 452 15 02, эл. почта ravlovchinnikov@gmail.com, ORCID 0000-0003-1046-803X

³ Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (093) 233 54 32

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ ПРИ СООРУЖЕНИИ МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОЙ НАДВИЖКИ

Цель. Целью данной статьи является определение наиболее рациональных схем монтажа в процессе продольной надвижки, при которых все напряжения в конструкции будут допустимыми. **Методика.** В каче-

стве объекта исследования в работе используется обычное неразрезное сталежелезобетонное пролетное строение по схеме 63+84+63 м по типовому проекту серии 3.503.9-62. Для исследования напряженного состояния пролетного строения в программном комплексе «Midas Civil» были созданы компьютерные конечно-элементные модели различных схем продольной надвижки. К расчету принято семь схем монтажа пролетного строения, которые включают в себя продольную надвижку как металлоконструкции (только металлической части пролетного строения), так и надвижку смонтированного сталежелезобетонного пролетного строения. **Результаты.** Расчет надвижки сталежелезобетонного пролетного строения доказал, что уже на первых стадиях, когда конструкция входит в половину первого прогона, в железобетонной плите происходит превышение значений расчетного сопротивления бетона на растяжение. Поэтому данные схемы монтажа использовать нельзя. На практике рекомендуется сначала надвигать металлическую часть пролетного строения, а потом укладывать блоки или бетонировать монолитную плиту проезда, что является рациональной схемой продольной надвижки указанных пролетных строений. **Научная новизна.** Результаты исследования напряженного состояния пролетного строения в процессе продольной надвижки отмечены научной новизной для выбранной схемы. **Практическая значимость.** Доказано, что наиболее рациональным методом сооружения является продольная надвижка с использованием аванбека или временной опоры.

Ключевые слова: метод продольной надвижки; метод конечных элементов; сборная железобетонная плита; сталежелезобетонное пролетное строение; неразрезное пролетное строение; металлоконструкция

М. М. ПОПОВИЧ^{1*}, Р. А. ОВЧИННИКОВ², В. І. ВЕРХОЛАЗ³

^{1*} Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 649 32 92, e-mail popovich.n.m@ukr.net, ORCID 0000-0003-1790-3110

² Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (099) 452 15 02, e-mail pavlovchinnikov@gmail.com, ORCID 0000-0003-1046-803X

³ Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (093) 233 54 32

RESEARCH OF THE STRESS-TRAIN STATE OF THE SPAN WHILE CONSTRUCTING BY LONGITUDINAL THRUST METHOD

Purpose. The purpose of the given work is to determine the most rational construction schemes during longitudinal thrust such that all of the construction stresses would be allowable. **Methodology.** As an object of study the work considers common continuous composite reinforced concrete span by the scheme 63+84+63 m made according to the model design of 3.503.9-62 series. For the purpose of research of the span's stress state using software package "Midas civil" computer finite element models of different schemes of longitudinal thrust were created. Seven construction schemes were accepted for the calculation that include both longitudinal thrust of metal part of the span and the thrust of constructed composite reinforced concrete span. **Findings.** The calculation of composite reinforced concrete thrust has proved that during the first stages, when the structure reaches the half of the first span, the stress in the concrete slab exceeds designed tensile strength of the concrete. Because of this, given construction schemes can't be used. On practice it is recommended to thrust the metal part first and then to lay blocks or concrete the solid deck, that is the rational scheme of longitudinal thrust for the given spans. **Originality.** The results of the stress-strain state research during the longitudinal thrust can be noted as a scientific novelty for the chosen scheme. **Practical value.** It was shown that the most rational method of construction is the longitudinal thrust when using either launching nose or a temporary support.

Keywords: longitudinal thrust method; finite element method; composite reinforced concrete slab; composite reinforced concrete span; continuous span; metalwork

REFERENCES

1. Yefimov P. P. *Proektirovanie mostov* [Designing of bridges]. Omsk, 2006. 111 p.
2. Shishova T. A., Telegin M. A. *Proektirovanie stalezhelezobetonnykh proletrykh stroeniy so sploshnostenchatymi glavnyimi balkami* [Designing of steel-and-steel span structures with continuous main beams: a teaching aid]. Omsk, SibADI Publ., 2012. 100 p.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

3. DBN V.2.3-14-2006. *Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya* [State Standard V.2.3-14-2006. Transport constructions. Bridges and pipes. Design rule]. Kyjiv, Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury i zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Publ., 2006. 359 p.
4. DBN B.2.6-98:2009. *Konstruksii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruksii. Osnovni polozhennia* [State Standard B.2.6-98:2009. Construction of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Substantive provisions], Kyjiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2011. 71 p.
5. DBN V.2.3-26-2010. *Sporudy transportu. Mosty ta truby. Stalevi konstruksiyi. Pravyla proektuvannya* [State Standard V.2.3-26-2010. Transport constructions. Bridges and pipes. Steel structures. Design rule]. Kyjiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2010. 104 p. and 195 p.
6. Yaremenko O. F., Shkola Yu. O. *Nesucha zdarnist ta deformatyvnist zalizobetonnykh sterzhnevnykh elementiv v skladnomu napruzhenomu stani* [Bearing ability and deformability of reinforced concrete rod elements in a complex stressed state]. Odesa, MPP «Even» Publ., 2010. 135 p..
7. Kitar Ye. V., Kozyreva L. V. *Analiz deformatsiy konsoli proletnogo stroeniya pri prodolnoy nadvizhke* [Analysis of deformations of the fly-over console with longitudinal slip] – *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitelstve – Technical regulation in transport construction*, 2015, issue 2 (10), Available at: <https://trts.esrae.ru/16-70>.
8. Popovich N. M., Klimenko I. V. *Issledovanie napryazhennogo sostoyaniya proletnogo stroeniya s predvaritelno napryazhennogo zhelezobetona* [Investigation of the stressed state of a span structure with prestressed reinforced concrete]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 137-141.
9. Li Wulin, Albrecht Pedro, Saadatmanesh Hamid *Strengthening of Composite Steel-Concrete Bridges*. *Journal of Structural Engineering*, 1995, vol. 121, issue 12, pp. 1842-1849.
10. Reiner S. *Bridges with Double Composite Action*. SEI (Structural Engineering International), February, 1996, vol. 6, issue 1. pp. 32–36.
11. Brozzetti J. *Design development of steel-concrete composite bridges in France*. *Journal of Constructional Steel Research*, 2000, vol. 55, issue 1–3, pp. 229-243.
12. Nakamura Shun-ichi, Momiyama Yoshiyuki, Hosaka Tetsuya, Homma Koji *New technologies of steel /concrete composite bridges/*. *Journal of Constructional Steel Research*, 2002, vol. 58, issue 1, pp. 99-130.
13. Flaga K., Pańtak M. *Double composite bridges*. *Inżynieria i Budownictwo – Engineering and Construction*, 2006, issue 7-8, pp. 402-407.
14. Pańtak M. *Double composite bridges – the main concept and examples of its implementation*. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 244-251.

Статтю рекомендовано до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна), д.т.н., проф. Й. Й. Лучком (Україна).

Надійшла до редколегії 20.08.2017.

Прийнята до друку 25.09.2017.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК624.191:519.872

Н. К. ПЕТРОСЯН^{1*}, А. Л. ТЮТЬКИН²

^{1*} Кафедра «Мости и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (093) 696 14 44, эл. почта vidpsec.mit@gmail.com, ORCID 0000-0003-0804-7500

² Кафедра «Мости и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, эл. почта alexeyutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕЗАКРЕПЛЕННОЙ ВЫРАБОТКИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ С ЕДИНИЧНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Цель. В статье разработаны основы проведения экспресс-анализа напряженно-деформированного состояния незакрепленной выработки определенного диаметра на основе конечно-элементного анализа модели с единичными параметрами (плотность грунта и его модуль упругости). **Методика.** Для достижения поставленной цели, авторами с позиций теории упругости и основ метода конечных элементов было проведено обоснование формирования напряженного и деформированного состояния вокруг выработок кругового очертания. Разработана конечно-элементная модель выработки кругового очертания. Проведен численный анализ разработанной модели. **Результаты.** Получены параметры напряженно-деформированного состояния конечно-элементной модели выработки кругового очертания с единичными параметрами, а также с конкретными значениями плотности грунта и его модуля упругости. Проведен сравнительный анализ, который позволил определить зависимости между двумя моделями. **Научная новизна.** Установлены закономерности напряженного и деформированного состояний конечно-элементной модели с единичными параметрами, предложены формулы, связывающие параметры ее НДС с моделью с конкретными параметрами (плотность грунта, его модуль упругости). **Практическая значимость.** Предложены формулы перехода от НДС конечно-элементной модели с единичными параметрами для конкретных случаев плотности грунта и его модуля упругости для экспресс-анализа напряженно-деформированного состояния незакрепленной выработки.

Ключевые слова: выработка; напряженно-деформированное состояние; метод конечных элементов; экспресс-анализ; единичные параметры модели

Введение

Аналізу напряженно-деформированного состояния (НДС) незакрепленных отверстий посвящены обстоятельные и репрезентативные труды. В них рассмотрены различные варианты выработок с вариацией геометрических размеров и их формы, деформационных свойств материала, в котором находится отверстие, его плотности и множества других параметров [1-3].

Объем посвященных проблеме незакрепленного отверстия или выработки трудов (около десятков тысяч страниц и более) автоматически подразумевает, что новое исследование НДС таких важных объектов нецелесообразно по причине обстоятельной разработанности вопроса. Однако, не отличаясь ярко выраженной новизной, задача определения НДС выра-

боток все же остается актуальной по причине того, что определение напряжений и перемещений незакрепленного контура является вторым шагом для дальнейших геомеханических расчетов системы «крепление – массив» (первый шаг – определение НДС нетронутого массива). Например, задача об отыскании напряженного состояния вокруг незакрепленной выработки является классической, и разрабатывалась выдающимися авторитетными авторами (И. В. Родин, Г. Н. Савин, К. В. Руппенейт, И. В. Баклашов и многие другие) [2, 4, 5].

Следует отметить, что серьезная разработка этого вопроса все же не позволила получить некоторое универсальное решение для выработка, так как большое число результатов не было приведено в систему. Приближение к данному решению можно получить, проанализировав аналитические решения об определении НДС

© Н. К. Петросян, А. Л. Тютькин, 2017

незакрепленных выработок с позиций численных решений, например, методом конечных элементов (МКЭ).

Цель

Рассмотрение уже известных аналитических решений, ставших классическими, с использованием численных алгоритмов является весьма плодотворным, так как в процессе их разработки используются преимущества как аналитического, так и численного подхода. То есть, при совместном применении приемов этих двух подходов, недостатки каждого минимизируются (а в некоторых случаях полностью исчезают), а преимущества стремятся к максимуму, что доказывается аналитическими построениями и практическими решениями экспресс-анализа НДС незакрепленной выработки на основе модели с единичными параметрами, приведенными ниже.

Методика

В механике подземных сооружений концептуально сформировались два направления в области расчетов: 1) методы, основанные на аналитическом подходе; 2) численные методы. Проведенные многими исследователями аналитические обзоры применения данных методов [4-7] позволяют выделить те особенности, которые им присущи, причем этими особенностями чаще всего являются достоинства и недостатки методов расчета.

Так, методы, основанные на аналитическом подходе, отмечены универсальностью полученных решений, которые можно применять для различных условий, но их недостатком является значительное количество допущений, введенных при их получении. Примером решений аналитическими методами является применение плоских схем для расчета трехсводчатых станций метрополитена колонного и пилонного типов [7, 8], метод Метрогипротранса и О. Е. Бугаевой для расчета тоннелей кругового очертания [9, 10] и многие другие.

Численные методы, в свою очередь, отмечены возможностью расчета множества сложных тоннельных конструкций, но недостатком решений является то, что они относятся к конкретному исследуемому случаю и не могут быть экстраполированы на подобные случаи с измененными свойствами.

И все же в последнее время аналитические методы значительно реже применяются в расчетах тоннельных конструкций, что обусловлено сложностью их применения (усложненный математический аппарат, недостаточная программная реализация и т.д.). Весомым аргументом для применения численных методов является небольшое количество рассчитываемых объектов, конкретный подход к каждому более целесообразен и рационален, чем типовой расчет без учета специфических особенностей поведения сооружения.

Наиболее применяющимся численным методом является МКЭ, что объясняется достаточной разработанностью его основ, интеграции его, как одного из методов теории упругости, в механику сплошных сред, простоты алгоритмизации и, что немаловажно, наличием мощных профессиональных расчетных комплексов (MSC/NASTRAN, ANSYS, PLAXIS, SCAD, LIRA и многие другие). Но в то же время в процессе применения МКЭ в расчетах тоннельных конструкций происходил постепенный отрыв от методологии, разработанной аналитическими методами, что привело к некоторой однобокости исследований в этой области.

Это связано со специфическими особенностями МКЭ, так как для получения точных решений, следует разработать наиболее адекватную реальным условиям КЭ-модель, что является наиболее важным этапом в расчетах. Созданные же КЭ-модели являлись такими объектами математического моделирования, которые были присущи только МКЭ, и их проверка с помощью аналитических методов была затруднительна. Но проблема состоит в том, что часто создание КЭ-модели является сложнейшей задачей, и многие особенности поведения тоннельной конструкции, достаточно разработанные в аналитических методах, не учитываются в силу сложности моделирования. Соответственно, разрыв между двумя подходами увеличивается, что является негативным фактором для развития механики подземных сооружений.

Теоретически процесс создания КЭ-модели заключается в следующем алгоритме:

1. Создание геометрии модели.
2. Задание граничных условий.
3. Задание деформационных характеристик.

4. Приложение нагрузок.

Достаточно часто при создании КЭ-модели в каждом шаге данного алгоритма допускаются небольшие неточности, накопление которых приводит к искажению результатов, причем эти неточности носят формальный характер. Поэтому рассмотрим каждый из шагов алгоритма и разработаем практические рекомендации для разработки адекватной реальным условиям КЭ-модели тоннельной конструкции.

Известно, что численные методы, будучи основанными на принципах вариационного исчисления и реализованными на базе компьютерных программ, не требуют введения в модель дополнительных упрощений, необходимых для реализации решения [10, 11]. Однако полученное численное решение конкретной задачи является уникальным, то есть априори неэкстраполируемым на подобные задачи с несколько измененными характеристиками.

Данное свойство численных методов позиционируется многими авторами, как недостаток [12], хотя получение достаточно точного решения для конкретного расчетного случая иногда важнее, чем получение зависимости, которую можно применить для других случаев, но при ее получении на основе аналитических методов в постановку задачи было заложено некоторое количество допущений, значительно уменьшающих точность решения. Также некоторые исследователи, сравнивая численные и аналитические методы, отмечают, что последние дают возможность получения решений в замкнутом виде, в то время как первые реализуют решение конкретных задач [13]. Данное положение также несколько неверно, так как изложенные ниже результаты исследований позволяют численное решение конкретного случая экстраполировать на другие случаи.

Результаты

Для дальнейшего численного анализа МКЭ, который реализован с использованием профессионального расчетного комплекса Structure CAD for Windows, version 7.31 R.4 (SCAD) [14], воспользуемся разработанными моделями с единичными параметрами. Следует также отметить, что все дальнейшие решения реализуются в упругой постановке, так как решение упругопластической задачи вряд ли можно экстраполировать на подобную задачу с изменен-

ными параметрами.

В исследованных моделях с единичными параметрами точно отражены геометрические параметры выработки, а модуль упругости E и плотность материала γ (породы или грунта) равны единице. Попытка экстраполяции результатов расчета с определенным коэффициентом Пуассона, например, равным $\mu=0,3$, на подобную модель с другим значением коэффициента (например, $\mu=0,2$) оказалось неудачной, так как сложность получаемых зависимостей для напряжений и перемещений по горизонтальной оси, зависящих от этого параметра, не позволяет получить какие-либо простые функциональные зависимости. На рис. 1. приведена конечно-элементная модель весомого породного массива, ослабленного отверстием.

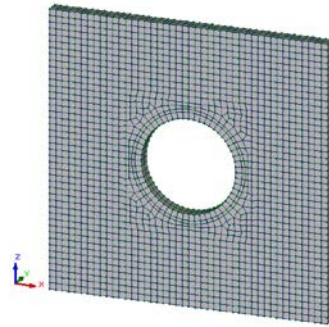


Рис. 1. Конечно-элементная модель породного массива, ослабленного отверстием

КЭ-модель является пространственной на основе объемных конечных элементов, количество узлов – 5 268, конечных элементов – 3 288. Размеры модели: высота – 20 м, ширина – 22 м, толщина – 1 м. Породный массив ослаблен отверстием диаметром 7,5 м. Все узлы модели совместны, размер КЭ – от $0,25 \times 0,25$ до $0,5 \times 0,5$ м, что для модели с такими размерами достаточно для процесса сходимости решения и получения достаточно точных результатов.

Следует также отметить, что рассчитанная модель является совершенно отвлекающей с позиции геометрических размеров и формы, которые могут быть различными, и деформационных характеристик, пределы изменения которых также могут быть заданы не произвольно, а конкретно. Данная модель является иллюстрацией приема определения напряженно-деформированного состояния системы «породный массив, ослабленный выработкой», а не конкретного объекта.

Авторами пропонується система граничних умов, яка розроблена на основі положень аналітичних методів і найбільш адекватна реальним умовам поведінки системи «тоннельна конструкція – оточуючий масив»: верх моделі вільний від граничних умов; низ моделі – заборона переміщень по осям X , Y і Z ; бік моделі – заборони по осі X і Y ; торці моделі – заборона по осі Y .

Постановка граничних умов верху і низу найбільш зрозуміла, умови по бік моделі є наслідком доказування академіком А. Н. Динніком розподілу вертикальних і горизонтальних напружень в нетронутій масиві ($\varepsilon_z \neq 0; \varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$), а заборона по торцях моделює умову плоскої деформації ($\varepsilon_y = 0; \varepsilon_x = \varepsilon_z \neq 0$) [4].

Таким чином, дана система граничних умов, реалізована в КЕ-моделі з використанням досвіду аналітичних представлень поведінки системи «тоннельна конструкція – оточуючий масив» найбільш адекватна реальним умовам. При розробці моделей використовувалися наступні практичні рекомендації [15]:

1. При створенні геометрії моделі, крім відображення реальних розмірів споруди, слід звернути увагу на збіжність ре-

зультату при зміні розмірів КЕ, а також розмірів розрахункової області. Основною рекомендацією є те, що модель повинна бути просторовою на основі об'ємних КЕ, як найбільш адекватна реальним конструкціям.

2. При накладенні граничних умов можна використовувати запропоновану авторами систему, як найбільш адекватну роботі тоннельних конструкцій.

3. При визначенні деформаційних характеристик частин системи «тоннельна конструкція – оточуючий масив» слід імітувати в КЕ-моделі їх зміну за допомогою результатів лабораторних випробувань.

4. Найбільш адекватним навантаженням моделі є власний вага, що дозволяє не вводити в розрахунок додаткові допущення і веде до підвищення точності отриманих результатів.

Приводимі нижче результати дослідження даної моделі повністю відповідають принципам теорії еластичності, однак ніде не привелися в вигляді систематизованих положень і, тим більше, формул. Проведення розрахунку КЕ-моделі з одиничними параметрами (див. рис. 1) дали наступні результати (рис. 2).

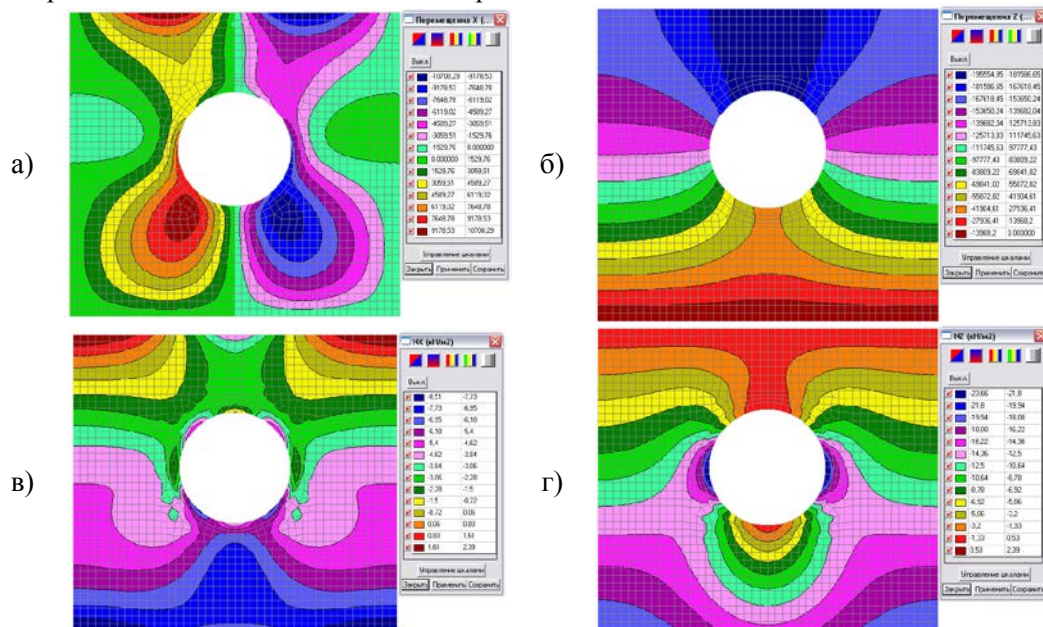


Рис. 2. Результаты расчета КЭ-модели с единичными параметрами:
а) перемещения по горизонтальной оси; б) перемещения по вертикальной оси;
в) напряжения по горизонтальной оси; г) напряжения по вертикальной оси

Получив распределения изополей напряжений и перемещений в модели с единичными параметрами достаточно легко перейти к реальному случаю:

1) для получения реальных перемещений S_r следует перемещения в модели с единичными параметрами S_e перемножить со значением реального удельного веса γ_r и разделить их на реальное значение модуля упругости E_r и единичное значение удельного веса γ_e :

$$S_r = S_e \frac{\gamma_r}{\gamma_e E_r}.$$

2) для получения реальных напряжений σ_r следует напряжения в модели с единичными параметрами σ_e перемножить со значением реального удельного веса γ_r и разделить на единичное значение удельного веса γ_e :

$$\sigma_r = \sigma_e \frac{\gamma_r}{\gamma_e}.$$

Для примера проверки верности формул ниже приводятся результаты расчета КЭ-модели со следующими значениями параметров: модуль упругости $E_r = 35$ кПа; удельный вес $\gamma_r = 20$ кН/м³ (рис. 3).

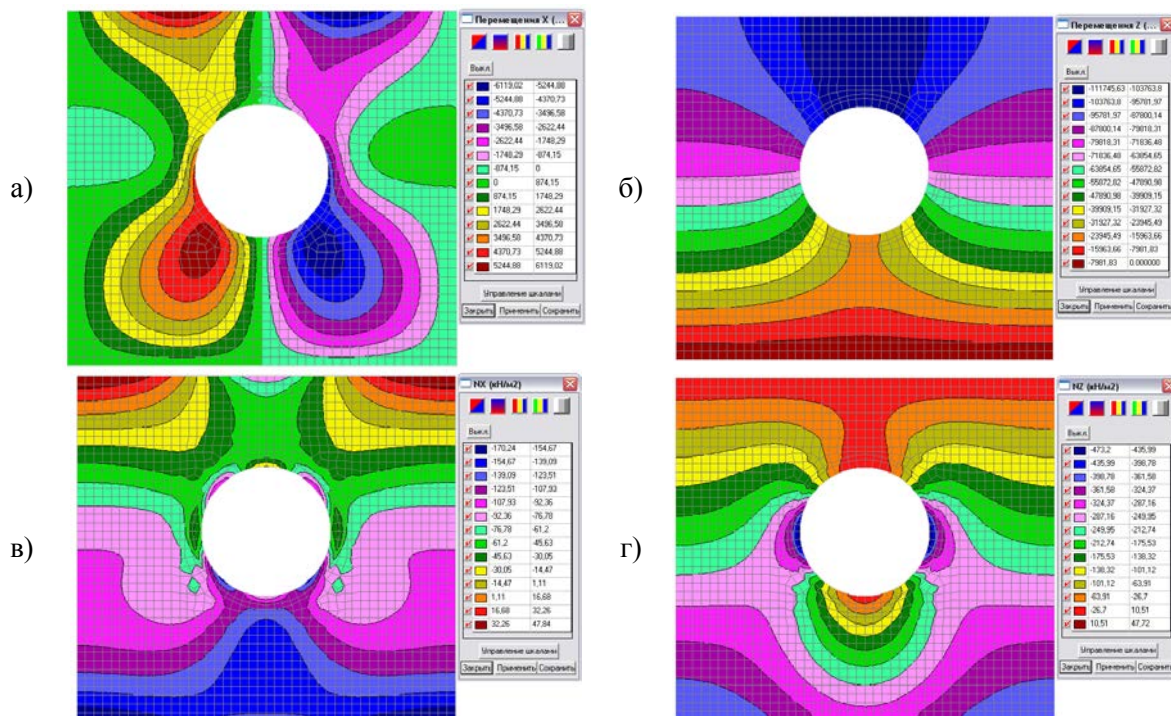


Рис. 3. Результаты расчета КЭ-модели с конкретными параметрами: а) перемещения по горизонтальной оси; б) перемещения по вертикальной оси; в) напряжения по горизонтальной оси; г) напряжения по вертикальной оси

Как видно из представленных результатов численных расчетов (рис. 2 и 3), изолинии и изополя напряженного и деформированного состояний идентичны в качественном отношении, а количественно их отличия можно получить по формулам, представленным выше. Так, если напряжения, обозначенные в распашном окне правее картин перемещений на рис. 2, а) и б) умножить на 20 (реальный удельный вес) и разделить на 1 (единичное значение удельного веса) и 35 (модуль упругости), то получатся

значения перемещений на рис. 3, а) и б); если же значения напряжений на рис. 2, в) и г) умножить на 20 (реальный удельный вес) и разделить на 1 (единичное значение удельного веса), то получатся значения напряжений на рис. 3, в) и г).

Научная новизна и практическая значимость

Установлены закономерности напряженного и деформированного состояний конечно-

элементной модели с единичными параметрами, предложены формулы, связывающие параметры ее НДС с моделью с конкретными параметрами (плотность грунта, его модуль упругости). Предложены формулы перехода от НДС конечно-элементной модели с единичными параметрами для конкретных случаев плотности грунта и его модуля упругости для экспресс-анализа напряженно-деформированного состояния незакрепленной выработки.

Выводы

Для определения НДС незакрепленных выработок определенного диаметра достаточно провести один численный расчет КЭ-модели с единичными параметрами и с помощью простых аналитических формул перевести НДС этой модели для всех возможных случаев реальных выработок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лехницкий, С. Г. Распределение напряжений вблизи горизонтальной выработки эллиптического сечения в трансверсально-изотропном массиве с наклонными плоскостями анизотропии [Текст] / С. Г. Лехницкий // Механика твердого тела. – Москва : МГУ, 1966. – С. 54-62.
2. Савин, Г. Н. Распределение напряжений около отверстий [Текст] / Г. Н. Савин. – Киев : Наукова думка, 1968. – 888 с.
3. Сажин, В. С. Упруго-пластическое распределение напряжений вокруг горных выработок различного очертания [Текст] / В. С. Сажин. – Москва : Наука, 1968. – 94 с.
4. Баклашов, И. В. Механика подземных сооружений и конструкции крепей [Текст] / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия. – Москва : Недра, 1984. – 415 с.
5. Шашенко, А. Н. Геомеханические процессы в породных массивах [Текст] / А. Н. Шашенко, Т. Майхерчик, Е. А. Сдвижкова. – Днепропетровск : Национальный горный университет, 2005. – 319 с.
6. Петренко, В. І. Розрахунок трисклепінчастих станцій метрополітену глибокого закладення [Текст] / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, О. Л. Тютькін. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – 176 с.
7. Фролов, Ю. С. Метрополитены. Учебник для вузов [Текст] / Ю. С. Фролов, Д. М. Голицынский, А. П. Ледаев. – Москва : Желдориздат, 2001. – 528 с.
8. Tiutkin, O. L. Analysis of deformed state structures of the Kyiv metro running tunnels on a transition zone from spondylov's clay to buchatskiy sands / V. D. Petrenko, V. T. Huzchenko, O. L. Tiutkin, D. V. Tiutkin // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 2014. – No 4(52). – pp. 127-138.
9. Тютькін, О. Л. Розробка теоретичних основ модифікованого методу розрахунку тунелів колового окреслення [Текст] / О. Л. Тютькін, В. А. Мірошник // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2012. – Вип. 2. – С. 96-100.
10. Мостков, В. М. Подземные гидротехнические сооружения [Текст] // Под ред. В. М. Мосткова. – Москва : Высшая школа, 1986. – 464 с.
11. Амусин, Б. З. Метод конечных элементов при решении задач горной геомеханики [Текст] / Б. З. Амусин, А. Б. Фадеев. – Москва : Недра, 1975. – 144 с.
12. Фотиева, Н. Н. Расчет крепи подземных сооружений в сейсмически активных районах [Текст] / Н. Н. Фотиева. – Москва : Недра, 1980. – 222 с.
13. Булычев, Н. С. От гипотез горного давления к теории расчета подземных сооружений [Текст] / Н. С. Булычев // Международная конференция «Подземное строительство России на рубеже XXI века», Москва, 15-16 марта 2000 года – С. 105-111.
14. SCAD для пользователя / В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. В. Перельмутер, М. А. Перельмутер, А. Н. Трофимчук. – Киев : ВВП «Компас», 2000. – 332 с.
15. Петренко, В. І. Станції метрополітену: конструкції та спорудження [Текст] / В. І. Петренко, В. Д. Петренко, О. Л. Тютькін. – Дніпропетровськ : Вид-во «Нова ідеологія», 2012. – 164 с.

Н. К. ПЕТРОСЯН^{1*}, О. Л. ТЮТЬКІН²

¹ Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (093) 696 14 44, ел. пошта vidpsec.mit@gmail.com, ORCID 0000-0003-0804-7500

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

© Н. К. Петросян, А. Л. Тютькін, 2017

ЕКСПРЕС-АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕЗАКРІПЛЕНОЇ ВИРОБКИ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ З ОДИНИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Мета. В статті розроблені основи проведення експрес-аналізу напружено-деформованого стану незакріпленої виробки певного діаметру на основі скінченно-елементного аналізу моделі з одиничними параметрами (густина ґрунту і його модуль пружності). **Методика.** Для досягнення поставленої мети, авторами з позицій теорії пружності і основ методу скінченних елементів було проведено обґрунтування формування напруженого і деформованого стану навколо виробок кругового контуру. Розроблена скінченно-елементна модель виробки кругового контуру. Проведений чисельний аналіз розробленої моделі. **Результати.** Отримані параметри напружено-деформованого стану скінченно-елементної моделі виробки кругового контуру з одиничними параметрами, а також з конкретними значеннями густини ґрунту і його модуля пружності. Проведений порівняльний аналіз, який дозволив визначити залежності між двома моделями. **Наукова новизна.** Встановлені закономірності напруженого і деформованого станів скінченно-елементної моделі з одиничними параметрами, запропоновані формули, що зв'язують параметри її НДС з моделлю з конкретними параметрами (густина ґрунту, його модуль пружності). **Практична значимість.** Запропоновані формули переходу від НДС скінченно-елементної моделі з одиничними параметрами для конкретних випадків густини ґрунту і його модуля пружності для експрес-аналізу напружено-деформованого стану незакріпленої виробки.

Ключові слова: виробка; напружено-деформований стан; метод скінченних елементів; експрес-аналіз; одиничні параметри моделі

N. K. PETROSIAN^{1*}, O. L. TIUTKIN²

^{1*} Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (093) 696 14 44, e-mail vidpsec.mit@gmail.com, ORCID 0000-0003-0804-7500

² Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk 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

EXPRESS-ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE UNFASTENED EXCAVATION ON THE BASIS OF MODEL WITH SINGLE PARAMETERS

Purpose. Bases of conducting of the express-analysis of the stress-strain state of the unfastened excavation of certain diameter on the basis of finite elements analysis of model with single parameters (closeness of soil and his module of resiliency) are developed in the article. **Methodology.** To achieve this goal, the authors, from the standpoint of the theory of elasticity and the fundamentals of the finite element method, carried out a justification for the development of the stress-strain state around the excavation of a circular outline. A finite element model for the excavation of a circular shape has been developed. The numerical analysis of the developed model is carried out. **Findings.** The parameters of the stress-strain state of a finite-element model for excavation of a circular outline with single parameters, as well as with specific values of the density of the soil and its elastic modulus, are obtained. A comparative analysis was carried out, which allowed to determine the dependencies between the two models. **Originality.** The regularities of the stressed and deformed states of a finite-element model with single parameters are established, formulas relating its SSS parameters to a model with specific parameters are proposed. (soil density, its modulus of elasticity). **Practical value.** The formulas for the transition from the SSS of a finite-element model with single parameters for specific cases of soil density and its modulus of elasticity are proposed for express analysis of the stress-strain state of the unfastened excavation.

Keywords: excavation; stress-strain state; finite element method; express analysis; single model parameters

REFERENCES

1. Lehnickij S. G. Raspredelenie naprjazhenij vblizi gorizonta'noj vyrabotki jellipticheskogo sechenija v transversal'no-izotropnom massive s naklonnymi ploskostjami anizotropii [Stress distribution near the horizontal development of an elliptical section in a transversely isotropic array with inclined anisotropy planes]. *Mehanika tverdogo tela – Solid mechanics*. Moscow, MGU Publ., 1966. pp. 54-62.
2. Savin G. N. *Raspredelenie naprjazhenij okolo otverstij* [Stress distribution near the holes]. Kyjiv, Naukova dumka Publ., 1968. 888 p.
3. Sazhin V. S. *Uprugo-plasticheskoe raspredelenie naprjazhenij vokrug gornyh vyrabotok razlichnogo ochertanija* [Elastic-plastic stress distribution around mine workings of various shapes]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 94 p.
4. Baklashov I. V., Kartozija B. A. *Mehanika podzemnyh sooruzhenij i konstrukcii krepej* [Mechanics of underground structures and construction of supports]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 415 p.
5. Shashenko A. N., Majherchik T., Sdvizhkova E. A. *Geomechanicheskie processy v porodnyh massivah* [Geomechanical processes in rock masses]. Dnepropetrovsk, Nacionalnyj gornyj universitet Publ., 2005. 319 p.
6. Petrenko V. I., Petrenko V. D., Tjutjkin O. L. *Rozrakhunok trysklepinchastykh stancij metropolitenu ghlybokogho zakladennja* [Calculation of three-section subway deep underground stations]. Dnipropetrovsk, Nauka i osvita Publ., 2004. 176 p.
7. Frolov Ju. S., Golicynskij D. M., Ledjaev A. P. *Metropoliteny. Uchebnyk dlja vuzov* [Subways. Textbook for universities]. Moscow, Zheldorizdat Publ., 2001. 528 p.
8. Tiutkin O. L., Petrenko V. D., Huzchenko V. T., Tiutkin D. V. Analysis of deformed state structures of the Kyiv metro running tunnels on a transition zone from spondylov's clay to buchatskiy sands. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2014. № 4(52). pp. 127-138.
9. Tjutjkin O. L., Miroshnyk V. A. Rozrobka teoretychnykh osnov modyfikovanogho metodu rozrakhunku tuneliv kolovogho okreslennja [Development of theoretical bases of the modified method of calculating tunnel shifts]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka – Bridges and tunnels : theory, research, practice*, 2012, issue 2. pp. 96-100.
10. Mostkov V. M. *Podzemnye gidrotehnicheskie sooruzhenija. Pod red. V. M. Mostkova* [Underground hydraulic structures. Ed. V. M. Mostkov]. Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1986. 464 p.
11. Amusin B. Z., Fadeev A. B. *Metod konechnykh jelementov pri reshenii zadach gornoj geomehaniki* [The finite element method for solving problems of mining geomechanics]. Moscow, Nedra Publ., 1975. 144 p.
12. Fotieva N. N. *Raschet krepj podzemnyh sooruzhenij v sejsmicheski aktivnyh rajonah* [Calculation of lining underground structures in seismically active areas]. Moscow, Nedra Publ., 1980. 222 p.
13. Bulychev N. S. Ot gipotez gornogo davlenija k teorii rascheta podzemnyh sooruzhenij [From the hypotheses of rock pressure to the theory of calculation of underground structures] *Mezhdunarodnaja konferencija «Podzemnoe stroitel'stvo Rossii na rubezhe XXI veka», Moskva, 15-16 marta 2000 goda* [International Conference «Underground construction of Russia at the turn of the XXI century», Moscow, March 15-16, 2000]. Moscow, TAR Publ., 2000. pp. 105-111.
14. Karpilovskij V. S., Kriksunov E. Z., Perelmuter A. V. i dr. *SCAD dlja polzovatelya* [SCAD user]. Kyjiv, VVP «Kompas» Publ., 2000. 332 p.
15. Petrenko V. I., Petrenko V. D., Tjutjkin O. L. *Stanciji metropolitenu: konstrukcii ta sporudzhenija* [Metro stations: constructions and constructions]. Dnipropetrovsk, Nova ideologhija Publ., 2012. 164 p.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна), д.т.н, проф. Й. Й. Лучком (Україна).

Надійшла до редколегії 20.12.2017.

Прийнята до друку 28.12.2017.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 69.004.358:330.322.2

А. В. РАДКЕВИЧ^{1*}, І. А. АРУТЮНЯН², Н. О. ДАНКЕВИЧ³

^{1*} Кафедра «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 85, ел. пошта anatolij.radkevich@gmail.com, ORCID 0000-0003-4059-2357

² Кафедра «Промислове та цивільне будівництво», Запорізька державна інженерна академія, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (061) 227 12 38, ел. пошта iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-5049-3742

³ Кафедра «Промислове та цивільне будівництво», Запорізька державна інженерна академія, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (061) 227 12 38, ел. пошта iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-7146-9303

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ ПРИ ОБГРУНТУВАННІ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ БУДІВНИЦТВА ОБ'ЄКТІВ

Мета. В статті поставлено за мету проаналізувати методи і моделі, що обґрунтовують організаційно-технологічні рішення будівництва об'єктів, зокрема, мостів і транспортних тунелів. **Методика.** Нормативна документація, яка використовується в даний час, має цілий ряд недоліків, обумовлених недосконалістю інформації, вільністю форми представлення даних, до того ж практично не враховує вимог автоматизації. В сучасних умовах будівництва об'єктів на оптимальність організаційно-технологічних рішень впливають різні фактори, частина яких є причинами виникнення ризику, а друга виникає в якості заходів, які знижують вплив ризику. Ці обставини зумовлюють необхідність розробки ефективної системи яка мінімізує їх вплив на вибір оптимального варіанту організаційно-технологічних рішень. Це дозволяє мінімізувати строки і вартість будівництва при заданій якості будівельно-монтажних робіт з урахуванням вибраних методів організації і технології виробництва будівельно-монтажних робіт. **Результати.** Створено сучасну імітаційну модель на основі системотехнічних принципів, яка дозволить створити оптимальні умови розв'язання складних питань надійності організаційно-технологічних рішень при будівництві об'єктів, зокрема, мостів і транспортних тунелів. **Наукова новизна.** Доведено, що в умовах ринкових відносин оптимальність організаційно-технологічних рішень може бути досягнута лише при врахуванні ризиків, що виникають у зв'язку зі змінами в організаційно-технологічному середовищі функціонування проектних і будівельних організацій та інших учасників інвестиційно-будівельної діяльності. **Практична значимість.** Розроблено метод імітаційного моделювання, який створює додаткову можливість при оцінці ризику за рахунок того, що робить можливим появу випадкових сценаріїв.

Ключові слова: організаційно-технологічні рішення; імітаційна модель; системотехніка; ризики

Вступ

Будівельний процес починається з підготовки до будівництва, включає етапи виконання комплексів технологічно закінчених робіт при будівництві будівель і споруд, процеси забезпечення фінансами, матеріальними ресурсами, технологічним обладнанням, транспортом та будівельними машинами, забезпечення якості будівельної продукції з урахуванням вимог екології, пожежної безпеки тощо.

Цей процес передбачає управління, завдання якого – при мінімальних затратах ресурсів досягти високих техніко-економічних результатів. При цьому особливе значення має планування організаційно-технологічних заходів, що визначають порядок фінансування та забезпечення

будівництва матеріальними і трудовими ресурсами, розробка відповідних проектних завдань та документації, що визначає організаційно-технічні умови діяльності всіх підрозділів будівельної організації – умови, які необхідні для раціонального використання матеріально-технічних, фінансових і трудових ресурсів і своєчасного завершення будівельних робіт.

Одним з основних документів організаційно-технологічної документації – проект організації будівництва, який, як правило, являє собою окремий розділ проектно-документації, що обґрунтовує затверджений варіант розподілу капіталовкладень, загальну тривалість будівництва об'єкта, найбільш ефективні методи виконання будівельно-монтажних робіт, вста-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

новлює порядок і строки виконання запланованих обсягів та введення об'єкта в експлуатацію.

Мета

Нормативна документація, яка використовується в даний час, має цілий ряд недоліків, обумовлених недосконалістю інформації, вільністю форми представлення даних, до того ж практично не враховує вимог автоматизації. Все це відображається на якості організаційно-технологічної документації – на ступінь її відповідності проектним завданням, технічним умовам, нормам, стандартам, інструкціям. Вивчення оточення будівельних проектів має велике значення для налагодження ефективних комунікацій в регіонах здійснення проектів і в ухваленні рішень з урахуванням дії дестабілізуючих чинників, що впливають на процес реалізації проектів.

Методика

Існуючі численні показники прогресивності, такі як технологічність, збірність, індустріальність і так далі, характеризують лише окремі підсистеми об'єкту, тоді як взаємозв'язки усіх підсистем визначають загальну ефективність об'єкта як системи в цілому.

У результаті техніко-економічних оцінок рішення, прийнятні технічно і економічно для однієї підсистеми, виявляються неефективними для іншої підсистеми або системи в цілому [1-4].

Серед існуючих методів оцінки реалізації будівельного проекту інтерес представляє оцінка за критеріями. В процесі функціонування систем з'являється потреба вибирати з безлічі варіантів ефективніші, такі, що призводять до оптимального рішення, тому виникає необхідність розробки методів оцінки за критерієм оптимальності (рис. 1).

Аналіз наукової літератури [1-14] дозволяє зробити висновок і про те, що низька якість організаційно-технологічної документації обумовлена не тільки недоліками нормативних документів, але і відсутністю комплексних моделей обґрунтування і вибору організаційно-технологічних рішень при розробці проектів організації будівництва та виробництва робіт. В результаті в проектах не визначаються взаємозв'язки між технологічними комплексами

робіт і не приймаються до уваги: можливість впливати на об'ємно-планувальні і конструктивні рішення в проектно-кошторисній документації; стохастичний характер будівельного процесу; необхідність відповідності структури агрегованих робіт реальній структурі спеціалізованих потоків, розрахунок потужностей підрядної організації; ступінь відповідності плану будівельно-монтажних робіт і потужності будівельних організацій та підприємств будівництва і т. п.

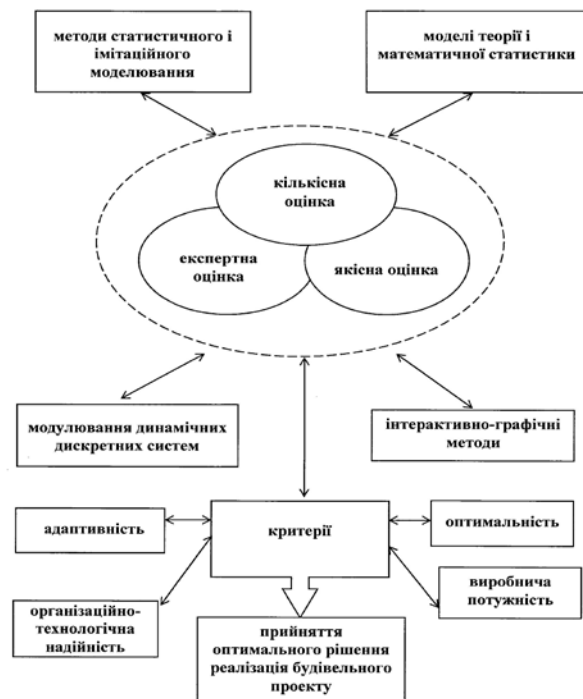


Рис. 1. Методи оцінки прийняття оптимальних рішень за критеріями

Відсутність комплексних моделей обґрунтування і вибору організаційно-технологічних рішень дозволяє забезпечити динамічну ув'язку проектних рішень з планами, графіками, що відображають хід будівництва, спадкоємність організаційно-технологічних рішень проекту організації будівництва і типових технологічних карт [5-8].

Результати

В науковій і технічній літературі більшість робіт за останні роки присвячено методам оптимізації організаційно-технологічних рішень при розробці календарних планів і графіків у складі проектів.

Обґрунтування організаційно-технологічних рішень проводиться, в основному, з використанням методів сітьового планування і управління в поєднанні з евристичними алгоритмами: направленою перебору варіантів за заданими критеріями, а також методів лінійного програмування (симплекс-методу, методу потенціалів, угорського методу, методу «північно-західного кута»). Однак їх використання не дозволяє враховувати багатьох факторів при обґрунтуванні організаційно-технологічних рішень, особливо ступінь ризиків при оптимальних організаційно-технологічних рішеннях, із-за невизначеностей, які виникають в умовах ринку.

За останні десятиліття виконано ряд наукових досліджень, в яких розроблені рекомендації щодо застосування комплексних методів, які дозволяють врахувати сучасні вимоги до моделей і методів. У них намічені шляхи врахування

ризиків при обґрунтуванні і виборі організаційно-технологічних рішень, що дозволяють врахувати фактори, що викликають появу ризиків, і вплив різних заходів на ступінь їх зниження. А так само досліджено проблеми, пов'язані з впливом різних видів ризиків (економічних, фінансових, технологічних, комерційних та інших) на стан систем і обґрунтування рішень.

Аналіз цих праць підтверджує висновок про те, що без урахування ризику неможливо отримати раціональні організаційно-технологічні рішення.

Узагальнена оцінка необхідної відповідності цих моделей і методів обґрунтування і вибору організаційно-технологічних рішень вимогам обліку ризику і іншим вимогам пропонується в табл. 1 (у якій прийняті такі позначення: НВ – не відповідає вимогам; ЧВ – частково відповідає вимогам; ПВ – повністю відповідає вимогам).

Таблиця 1

Аналіз і оцінки відповідності існуючих методів і моделей вимогам обґрунтування та вибору організаційно-технологічних рішень

№ з/п	Вимоги	Оцінка відповідності сучасних вимог при розробці				
		бізнес-планів	тендерної документації	ПОБ	ПВР	управління документації
Загальні вимоги						
1	Оптимізація розподілу однорідних ресурсів по горизонталі та вертикалі	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ПВ
2	Облік багатоваріантності та вибір оптимального варіанту по розподілу одного або декілька видів обмежених та необмежених ресурсів	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ПВ
3	Ув'язка всіх видів ресурсів та робіт в часі та просторі на кожному об'єкті або комплексі об'єктів	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ПВ	ПВ
4	Досягнення мінімального строку будівництва	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ПВ
5	Досягнення мінімізації витрат використання ресурсів при зведенні об'єктів будівництва	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ПВ
6	Можливість використання реальних норм з врахуванням умов будівництва та кваліфікаційного складу будівельників	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ПВ
7	Можливість отримання організаційно-технологічної документації в автоматичному та діалоговому режимі.	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ЧВ	ЧВ

Спеціальні вимоги в умовах ринку

1	Облік впливу на оптимальність ОТР, причини виникнення ризику на основі ринкових відношень	НВ	НВ	НВ	НВ	ЧВ
2	Облік впливу різноманітних заходів з зниження ризику на оптимальність ОТР для кожного його рівня	НВ	НВ	НВ	НВ	НВ
3	Облік впливу системи взаємодії користувача АРМ-ОТР в процесі обґрунтування і вибору ОТР	НВ	НВ	НВ	НВ	НВ
4	Можливість комплексної оцінки и вибору ОТР з урахуванням ризику на основі існуючих та розроблених методів і моделей	НВ	НВ	НВ	НВ	НВ

На жаль, проведений аналіз показав, що розроблені моделі не пов'язані як між собою, так і з існуючими моделями ні за параметрами, ні за критеріями оцінки ефективності.

Отже, необхідно розробляти моделі і методи, що враховують вплив ризиків на обґрунтування і вибір організаційно-технологічних рішень, вносити в них корективи, які дозволяли б здійснювати «входи» і «виходи» при ув'язці їх з моделями управління ризиками, зокрема, при будівництві будинків.

Найбільш широке поширення одержали методи: аналітичний, алгоритмічний, статистичний, імітаційного моделювання [5-7].

Наукова новизна та практична значимість

Імітаційне моделювання по методу Монте-Карло дозволяє побудувати математичну модель продукту з невизначеними значеннями параметрів, і, знаючи ймовірнісні розподіли параметрів продукту, а також зв'язок між змінами параметрів (кореляцію) отримати розподіл результатів критерію.

Метод імітаційного моделювання 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. Імітаційне моделювання – це процедура, за допомогою якої математична модель визначення будь-якого фінансового показника піддається ряду імітаційних прогонів за допомогою програмного комплексу.

В ході процесу імітації будуються послідовні сценарії з використанням вихідних даних, які за змістом проекту є невизначеними, і тому в процесі аналізу покладаються випадковими величинами. Процес імітації здійснюється таким чином, щоб випадковий вибір значень з певних імовірнісних розподілів не порушував існування відомих або передбачуваних відносин кореляції серед змінних. Результати імітації збираються і аналізуються статистично, з тим, щоб оцінити міру ризику. Отже, потенційний інвестор, з допомогою методу «MONTE» буде забезпечений повним набором даних, що характеризують ризик проекту. На цій основі він зможе прийняти зважене рішення про надання коштів.

Висновки

По-перше, в умовах ринкових відносин оптимальність організаційно-технологічних рішень може бути досягнута лише при врахуванні ризиків, що виникають у зв'язку зі змінами в організаційно-технологічному середовищі функціонування проектних і будівельних організацій.

цій та інших учасників інвестиційно-будівельної діяльності. По-друге, аналіз застосовуваних моделей і методів обґрунтування і вибору організаційно-технологічних рішень показує, що вони не в повній мірі відповідають сучасним вимогам.

По-третє, обґрунтування і вибір організаційно-технологічних рішень в будівництві необхідно здійснювати на основі загальної імітаційної моделі, що містить моделі і методи оптимізації організаційно-технологічних рішень і модель управління ризиками, яка дозволяє визначати не лише якісні, але й кількісні параметри ризиків і здійснювати коригування прийнятих рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гусаков, А. А. Системотехника строительства [Текст] / А. А. Гусаков. – Москва : Стройиздат, 1983. – 440 с.
2. Системотехника строительства. Энциклопедический словарь [Текст] / Под редакцией А. А. Гусакова. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 320 с.
3. Информационные модели функциональных систем [Текст] / Под общей редакцией К. В. Судакова, А. А. Гусакова. – Москва : Фонд «Новое тысячелетие», 2004 – 304 с.
4. Завадскас, Э. К. Системотехническая оценка технологических решений строительного производства [Текст] / Э. К. Завадскас. – Ленинград : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1991. – 256 с.
5. Тянь, Р. Б. Управление проектами в производственных системах [Текст] / Р. Б. Тянь, И. Д. Павлов, Л. С. Головкова. – Запорожье : ГУ ЗІДМУ, 2006. – 208 с.
6. Павлов, И. Д. Модели принятия управленческих решений [Текст] / И. Д. Павлов, Г. П. Брехаря, А. В. Радкевич. – Запорожье : ЗНУ, 2005. – 322 с.
7. Научные основы развития строительной отрасли Украины [Текст] / В. А. Банах, И. Д. Павлов, А. В. Радкевич та інші. – Запорожье : ЗДІА, 2017. – 460 с.
8. Пшінько, О. М. Управление логистическими системами функционирования строительного производства на основе поддержки единства моделирующих условий [Текст] / О. М. Пшінько, И. Д. Павлова, А. В. Радкевич, И. А. Арутюнян // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 2. – С. 61-66.
9. Радкевич, А. В. Модели оптимального распределения капитальных вложений на стадии календарного планирования строительства [Текст] / А. В. Радкевич, Т. В. Ткач // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 2. – С. 71-75.
10. Elton, E. J. Modern portfolio theory and investment analysis / E. J. Elton, G. J. Martin. – N.Y.: John Wiley Sons. Inc., 1991. – 736 p.
11. Pike, R. Corporate finance and investment: Decisions and strategies R. Pike, B. Neale. New Jersey: Prentice-Hall, 1993. 612 p.
12. Vanhoucke, M. Maximizing the net present value of a project with linear time-dependent cash flows / M. Vanhoucke, E. Demeulemeester, W. Herroelen // International Journal of Production Research. – 2001. – 39(14). – pp. 3159-3181.
13. Weingartner, H. M. Mathematical programming and the analysis of capital budgeting problems / H. M. Weingartner. – New Jersey: Prentice-Hall, 1963. 200 p.
14. Russel, A. H. Cash flows in networks / A. H. Russel. – Management Science. – 1970. – Vol. 16. – pp. 357-373

А. В. РАДКЕВИЧ^{1*}, И. А. АРУТЮНЯН², Н. А. ДАНКЕВИЧ³

^{1*} Кафедра «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 85, эл. почта anatolij.radkevich@gmail.com, ORCID 0000-0003-4059-2357

² Кафедра «Промышленное и гражданское строительство», Запорожская государственная инженерная академия, Запорожье, пр. Соборный, 226, Запорожье, Украина, 69006, тел. +38 (061) 227 12 38, эл. почта iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-5049-3742

³ Кафедра «Промышленное и гражданское строительство», Запорожская государственная инженерная академия, Запорожье, пр. Соборный, 226, Запорожье, 69006, тел. +38 (061) 227 12 38, эл. почта iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-7146-9303

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Цель. В статье поставлена цель проанализировать методы и модели, которые обосновывают организационно-технологические решения строительства объектов, в частности, мостов и транспортных тоннелей. **Методика.** Нормативная документация, которая используется в настоящее время, имеет целый ряд недостатков, обусловленных несовершенством информации, произвольностью формы представления данных, к тому же практически не учитывает требований автоматизации. В современных условиях строительства объектов на оптимальность организационно-технологических решений влияют различные факторы, часть которых являются причинами возникновения риска, а вторая возникает в качестве мер снижающих влияние риска. Эти обстоятельства обуславливают необходимость разработки эффективной системы, которая минимизирует их влияние на выбор оптимального варианта организационно-технологических решений. Это позволяет минимизировать сроки и стоимость строительства при заданной качества строительно-монтажных работ с учетом выбранных методов организации и технологии производства строительно-монтажных работ. **Результаты.** Создание современной имитационной модели на основе системотехнических принципов, которая позволит создать оптимальные условия решения сложных вопросов надежности организационно-технологических решений при строительстве объектов, в частности, мостов и транспортных тоннелей. **Научная новизна.** Доказано, что в условиях рыночных отношений оптимальность организационно-технологических решений может быть достигнуто лишь при учете рисков, возникающих в связи с изменениями в организационно-технологической среде функционирования проектных и строительных организаций и других участников инвестиционно-строительной деятельности. **Практическая значимость.** Разработан метод имитационного моделирования, который создает дополнительную возможность при оценке риска за счет того, что делает возможным появление случайных сценариев.

Ключевые слова: организационно-технологические решения; имитационная модель; системотехника; риски

A. V. RADKEVICH^{1*}, I. A. ARUTYUNYAN², N. A. DANKEVICH³

^{1*} Department «Construction and surveying» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 85, e-mail anatoij.radkevich@gmail.com, ORCID 0000-0003-4059-2357

² Department of industrial and civil construction, Zaporizhzhya state engineering Academy, 226 Sobornyy Avenue, Zaporozhye, Ukraine, 69006, tel. +38 (061) 227 12 38, e-mail iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-5049-3742

³ Department of industrial and civil construction, Zaporizhzhya state engineering Academy, 226 Sobornyy Avenue, Zaporozhye, Ukraine, 69006, tel. +38 (061) 227 12 38, e-mail iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-7146-9303

ANALYSIS OF EXISTING METHODS AND MODELS WHEN RATIONALE OF ORGANIZATIONAL-TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF CONSTRUCTION OBJECTS

Purpose. A purpose to analyses methods and models, which ground the organization and technology decisions of building of objects, in particular, bridges and transporting tunnels, is put in the article. **Methodology.** A normative document which is used presently has whole row failings, conditioned by imperfection of information, arbitrariness of form of presentation of information, besides practically does not take into account the requirements of automation. In modern conditions of construction on the optimality of organizational and technological solutions to a variety of factors, some of which are the causes of risk, and the second arises as measures to reduce the impact of the risk. These circumstances require the development of an effective system that minimizes their impact on the selection of optimal organizational and technological solutions. To minimize the time and cost of construction for a given quality of construction works based on the selected methods of organization and technology of production of construction works. **Findings.** The creation of modern simulation models based on engineering principles that will allow to create optimal conditions to address the complex issues of the reliability of organizational and technological solutions in the construction of objects, in particular, bridges and transporting tunnels. **Originality.** Has been proved in the conditions of market relations the optimality of organizational and technological solutions can only be achieved at the account of risks arising from changes in the organizational and technological environment of project and construction organizations and other participants of investment and construction activities. **Practical value.** A simulation technique, which creates additional possibility at estimation of risk due to that does possible appearance of casual scenarios, has developed.

Keywords: organizational and technological solution; simulation model; systems engineering; risk

REFERENCES

1. Gusakov A. A. *Sistemotekhnika stroitelstva* [System engineering of construction]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1983. 440 p.
2. Gusakov A. A. *Sistemotekhnika stroitelstva. Entsiklopedicheskiy slovar*. [System engineering of construction. Encyclopedic Dictionary]. Moscow, Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov Publ., 2004. 320 p.
3. Sudakova K. V., Gusakova A. A. *Informatsionnye modeli funktsionalnykh sistem* [Information models of functional systems]. Moscow, Fond «Novoe tysyacheletie» Publ., 2004. 304 p.
4. Zavadskas E. K. *Sistemotekhnicheskaya otsenka tekhnologicheskikh resheniy stroitel'nogo proizvodstva* [System-technical assessment of technological solutions of construction production]. Leningrad, Stroyizdat, Leningradskoe otdelenie Publ., 1991. 256 p.
5. Tian R. B., Pavlov I. D., Holovkova L. S. *Upravlinnia proektamy v vyrobnychkh systemakh* [Project management in production systems]. Zaporizhzhia, HU ZIDMU Publ., 2006. 208 p.
6. Pavlov I. D., Brekharya G. P., Radkevich A. V. *Modeli prinyatiya upravlencheskikh resheniy* [Models of management decision making]. Zaporozhe, ZNU Publ., 2005. 322 p.
7. Banakh V. A., Pavlov I. D., Radkevych A. V. *Naukovi osnovy rozvytku budivelnoi haluzi Ukrainy* [Scientific basis of development of the construction industry of Ukraine]. Zaporizhzhia, ZDIA Publ., 2017. 460 p.
8. Pshinko O. M., Pavlova I. D., Radkevych A. V., Arutiunian I. A. *Upravlinnia lohistychnymy systemamy funktsionuvannya budivelnogo vyrobnytstva na osnovi pidtrymky yednosti modeliuvanykh umov* [Management of logistics systems functioning of construction production on the basis of maintaining the unity of modeling conditions]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 2, pp. 61-66.
9. Radkevych A. V., Tkach T. V. *Modeli optimal'nogo rozpodilu kapitalnykh vkladov na stadii kalendarnoho planuvannya budivnytstva* [Models of optimal distribution of capital investments at the stage of calendar planning of construction]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 2, pp. 71-75.
10. Elton E. J., Martin G. J. *Modern portfolio theory and investment analysis* N.Y., John Wiley Sons. Inc., 1991. 736 p.
11. Pike R., Neale B. *Corporate finance and investment: Decisions and strategies*. New Jersey, Prentice-Hall, 1993. 612 p.
12. Vanhoucke M., Demeulemeester E., Herroelen W. Maximizing the net present value of a project with linear time-dependent cash flows. *International Journal of Production Research*, 2001, 39(14), pp. 3159-3181.
13. Weingartner H. M. *Mathematical programming and the analysis of capital budgeting problems*. New Jersey, Prentice-Hall, 1963. 200 p.
14. Russel A. H. Cash flows in networks. *Management Science*, 1970, Vol. 16, p. 357-373.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., доц. О. Л. Тютькіним (Україна), д.т.н., проф. М. І. Нетесою (Україна).

Надійшла до редколегії 15.08.2017.

Прийнята до друку 25.09.2017.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.137.2-026.564

О. Л. ТЮТЬКІН^{1*}, О. І. ДУБІНЧИК², В. Р. КІЛЬДСЄВ³

^{1*} Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський 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

² Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, ел. пошта olga_dubinchik@i.ua, ORCID 0000-0003-4059-2357

³ Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, ORCID 0000-0003-2803-8150

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ УКОСІВ ЗЕМЛЯНИХ СПОРУД

Мета. Провести оглядовий аналіз методів оцінки стійкості схилів і укосів, які використовуються в теперішній час. Оцінка стійкості схилів і укосів може бути здійснена тільки на основі комплексного вивчення з використанням різних методів. **Методика.** Теоретичні дослідження. Розрахунок стійкості укосів при проектуванні ведеться за різними напівемпіричними методами. Постановка плоскої задачі обумовлює залишковий запас стійкості укосу. Застосування варіаційного обчислення дозволяє враховувати просторову схему схилу. **Результати.** Виконаний у рамках цього дослідження аналіз визначення характеристики стійкості зсувних схилів дає підставу твердити, що коефіцієнт стійкості безпосередньо залежить від характеру, крутизни та геологічної будови схилу. **Наукова новизна.** Від вибраних методів напівемпіричними методами. **Практична значимість.** Використання кожного із розглянутих методів передбачає виконання ряду спеціальних геотехнічних вишукувань і вибору розрахункової моделі шляхом порівняння переваг і недоліків.

Ключові слова: природний схил; зсувна ділянка; коефіцієнт стійкості укосу; поверхня ковзання; варіаційний метод рішення задач стійкості ґрунту; міцність та стійкість порід

Вступ

Стійкістю земляних споруд називається їх здатність зберігати проектну форму і розміри і обумовлюється рівновагою мас під дією зовнішніх і внутрішніх сил. Стійкість залежить від кута природного укосу ґрунту, який утворює площину укосу з горизонтальною площиною поверхні ґрунту.

Стійкість земляних споруд відноситься до першої групи граничних станів. Тому стійкість визначається напруженим станом і міцністю ґрунтів земляної споруди. Міцність ґрунтів в свою чергу характеризується міцністими характеристиками – питомим зчепленням і кутом внутрішнього тертя.

Сьогодні в якості будівельних площадок нерідко використовують території, які безпосередньо примикають до діючих зсувів або розміщені на берегових схилах річок, ярів, балок. Це значить, що в якості основ будівель і споруд використовують ґрунтові масиви, які знаходяться в складних інженерно-геологічних умо-

вах. В цих випадках стає необхідним проводити аналіз стійкості зсувних схилів з залученням розрахункових методів, що є частиною комплексної інженерно-геологічної оцінки і прогнозу стійкості природних зсувних схилів.

Мета

Оцінка стійкості укосів і схилів є актуальною проблемою в зв'язку з дефіцитом вільних земельних площ, освоєнням зсувонебезпечних територій під будівництво, а також активізацією і появою нових зсувів, обумовлених втручанням людини в навколишнє середовище. Порушення стійкості схилів пов'язане з великими матеріальними збитками. Тому контроль над цими процесами дуже важливий в ході зведення і експлуатації висотних житлових будівель і споруд.

Методика

Розрахунок стійкості укосів і схилів, оснований на припущенні ковзання частини масиву нескількох порід відносно його основи по ко-

лоциліндричній поверхні, був вперше запропонований С. Хультіном і К Петерсенем під час аналізу зсуву набережної Стігберга в Гетерборзі у 1916 році [1].

В цьому розрахунку сповзаючий масив був розбитий на вертикальні відсіки, причому припускалося, що кожний відсік чинить на сусідній, нижче розташований, горизонтально направлений тиск. Реактивний тиск по підшві кожного відсіку приймався як спрямований по дотичній до кола тертя.

В подальшому К. Терцагі [2] спростив спосіб відсіків, запропонувавши знехтувати взаємодією між відсіками, що йшло в запас стійкості.

Намагаючись поліпшити спосіб розрахунку стійкості, Д. Тейлор у 1934 році запропонував використовувати спосіб кола тертя, розглядаючи весь сповзаючий клин у цілому [3]. Однак для спрощення задачі йому прийшлося допустити, що рівнодіюча тиску по поверхні ковзання проходить по дотичній до кола тертя. При цьому сам Тейлор вказував на приблизність цього допущення.

Використовувати «коло тертя» вперше запропонував Кулон в 1785 році для розрахунку зусиль, які виникають при ковзанні канату по шпилью в умовах неповного обхвату останнього або при котінні вала по циліндричній поверхні [1].

Н. С. Ніколайчук у 1976 році використав цю схему кінетичної пари для швидкої оцінки стійкості укусу [1]. Власна вага клина сповзання прикладена в центрі його ваги, рівнодіюча сил зчеплення проходить, як це показав Тейлор, паралельно хорді кривої ковзання. Зсуваючий момент може бути урівноважений тільки моментом реакції основи. В стані граничної рівноваги ця реакція повинна проходити в відповідності зі зміною кінетичної пари по дотичній до кола тертя.

Отже, якщо рівнодіюча сил власної ваги і сил зчеплення проходить по дотичній до кола тертя, тобто збігається по положенню реакцій основи по поверхні ковзання, коефіцієнт стійкості укусу рівняється 1. Якщо вона проходить правіше кола тертя, коефіцієнт стійкості менше 1 і якщо рівнодіюча проходить всередині кола тертя, коефіцієнт стійкості більше 1. Можна приблизно вважати, що стійкість укусу відповідає вимогам, якщо плече рівнодіючої відносно центра кола тертя в 1,5 і більше разів менше радіуса кола тертя.

Вивчення стійкості земляного полотна розглядається першою групою граничних станів, в основі якого лежить рівняння Кулона – Мора, яке відображає рівновагу зсуваючих і утримуючих сил

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

де τ – дотичне напруження в будь-якій точці масиву; σ – нормальне напруження; c і φ – параметри міцності ґрунту, відповідно питоме зчеплення і кут внутрішнього тертя.

Розрахунок стійкості зводиться до пошуку розташування поверхні ковзання в ґрунтовому масиві, на якому реалізуються максимальні зсувні напруження і це відповідає мінімальному коефіцієнту стійкості, який виражається відношенням сумарних утримуючих сил до сумарних зсуваючих сил.

Поверхня по якій проходить зміщення має циліндричну форму. При точному аналітичному рішенні для однорідних глинястих ґрунтів вона близька до логарифмічної [4]. Розміщення центру обертання, який відповідає мінімальному коефіцієнту стійкості масиву, знаходиться методом спроб.

Для полегшення цього пошуку на основі численних розрахунків рядом авторів (Феленіус, Бішоп, Хуан, Евері, Янбу, М. Н. Гольдштейн, Н. Н. Маслов та ін.) [5] розроблені прості допоміжні прийоми. По геометричним співвідношенням елементів укусу і характеристикам ґрунту з використанням розрахункових формул або номограм знаходяться безрозмірні коефіцієнти, за якими розраховуються координати центру обертання.

В усіх перерахованих способах розрахунок стійкості укусів ведеться за допомогою різних напівемпіричних методів і задача вирішується як плоска, що не завжди відповідає природі явища, так як не враховує вплив тертя на торцях клина ковзання.

Постановка плоскої задачі обумовлює надмірний запас стійкості укусу, який проектується. Бажано розглядати задачу як просторову.

У 1972 році У. Х. Магдеев [6] запропонував поверхню сковзання розбивати на сферичні і циліндричні ділянки. Такі поверхні сковзання дозволяють відносно просто, хоч і приблизно, враховувати просторовість явища і використовувати принцип розрахунку колових повер-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

хонь, застосований в випадку плоскої задачі. При цьому коефіцієнт стійкості укосу оцінюється як відношення моментів утримуючих зусиль до моменту зсувних зусиль.

$$k_{cm} = M_{ytp} / M_{zc} = \gamma \sum_{i=1}^n (S_i b + N_i) \times \cos \alpha_i \times \operatorname{tg} \phi + c (F_i + l_i L_i) / \gamma \sum_{i=1}^n (S_i + N_i) \sin \alpha_i, \quad (2)$$

де γ – питома вага ґрунту укосу; n – кількість відсіків; S_i – площа сегменту кола i -го відсіку; N_i – елементарний об'єм циліндричної частини відсіку; b – ширина елементарного відсіку; l_i – довжина дуги кругового сегменту; L_i – довжина дуги ковзання вставки; F_i – бокова поверхня ковзання вертикального відсіку.

Як показали розрахунки, знехтування просторовістю при розрахунках стійкості укосів в ряді випадків надто суттєво знижує запас стійкості в порівнянні з дійсністю (до 30 %).

М. М. Герсеванов був першим винахідником, який застосував варіаційне обчислення для вирішення проблеми стійкості основи: для визначення мінімального значення горизонтального навантаження, яке може сприйняти стінка набережної.

М. М. Герсеванов ввів допущення про деякий гіпотетичний ґрунт, який має властивість відсутності тертя і зчеплення по вертикальним перерізам елементарних відсіків, тоді як по інших площинах, цей ґрунт має ті ж самі значення кута внутрішнього тертя і зчеплення, що і реальний ґрунт. Цей метод не отримав широкого використання на практиці. Однак сама ідея використання варіаційного обчислення для рішення задач стійкості основи була важливим кроком в розвитку теорії механіки ґрунтів.

К Терцагі в своєму методі розрахунку стійкості укосів використав, практично, ту ж гіпотезу про властивості ґрунту, що була прийнята М. М. Герсевановим. Він звів цю варіаційну задачу до звичайної задачі на екстремум, яку вирішив шляхом ділення укосу вертикальними перерізами на блоки скінченної ширини. К. Терцагі запропонував знаходити коефіцієнт стійкості як відношення моменту сил утримуючих до моменту сил зсуваючих

$$k_i = M_{ytp} / M_{zc}. \quad (3)$$

К. Терцагі запропонував рахувати k_i для декількох взятих наздогад положень поверхонь ковзання і вибрати з них k_{min} .

Ю. І. Солов'єв в 1962 році запропонував при розрахунках стійкості укосів поверхню ковзання розглядати як поверхню контакту між клином зрушення і ґрунтом основи, по якій на клин діють односторонні сили зв'язку і зовнішні дотичні сили зчеплення і тертя. Функціонал являє собою відношення роботи сил які утримують до роботи сил які здвигують на переміщенні, яке має однакову горизонтальну складову в усіх точках поверхні ковзання гіпотетичного ґрунту.

Принцип варіаційного методу, запропонованого А. Г. Дорфманом полягає в пошуку мінімальної роботи сил на критичній поверхні ковзання. Коефіцієнт стійкості представлений функціоналом виду [5, 7, 8]:

$$k_{ст} = \int_{x_0}^{x_n} F(x, y, y') dx / \int_{x_0}^{x_n} \Phi(x, y, y') dx, \quad (4)$$

де

$$F = (\tilde{y} - y) \operatorname{tg} \phi + c / \rho (1 + y'^2), \quad (5)$$

$$\Phi = (\tilde{y} - y) y', \quad (6)$$

x, y – координати точки в площині ковзання; x_0, x_n і y_0, y_n – абсциси і ординати початку і кінця лінії ковзання; $y = \tilde{y}(x)$ і $y = y(x)$ – відповідно рівняння контуру укосу і денної поверхні; ρ – щільність ґрунту.

Числове рішення системи диференційних, інтегральних і кінцевих рівнянь варіаційних задач дуже громіздкі та трудомісткі. А. Г. Дорфман запропонував використовувати метод згладжування та метод лінеаризації для скорочення обчислювальних робіт [9, 10, 11].

Результати

Визначення міцності та стійкості порід схилу при зсувоутворенні базується на вимогах теорії граничної рівноваги, яка у свою чергу, має два різновиди – «строга» та «спрошена». «Строга» теорія граничної рівноваги базується на побудові диференційних рівнянь рівноваги сипкого середовища із знаходженням граничної умови в кожній точці досліджуваної області. На

відміну від «строгої», «спрощена» теорія граничної рівноваги базується на гіпотезі, що умова граничної рівноваги задовольняється на внутрішній межі лінії ковзання схилу в результаті одночасного вичерпання опору порід зсуву в межах усієї потенціальної поверхні [12-15].

Вважається, що в домежевому стані схил може знаходитись в чисто пружному стані деформування. Відповідно, диференціальні рівняння рівноваги в напруженнях мають наступний вигляд [7]:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = \rho g \sin \alpha + k_s \rho g \cos(\beta + \alpha), \quad (7)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = \rho g \cos \alpha + k_s \rho g \sin(\beta + \alpha), \quad (8)$$

де σ_x і σ_y – нормальні напруження відносно вісей x та y ; τ_{xy} – дотичне напруження; g – прискорення вільного падіння; α – кут нахилу зсувного схилу до горизонту; β – кут атаки сейсмічної сили; k_s – сейсмічний коефіцієнт, який визначається

$$k_s = a_s / g, \quad (9)$$

де a_s – сейсмічне прискорення.

Якщо дією крайових ефектів на напружений стан масиву знехтувати, можна вважати, що напруження не залежить від координати x , і тоді вирази (7) та (8) перетворюються на вирази

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = \rho g \sin \alpha + k_s \rho g \cos(\beta + \alpha), \quad (10)$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = \rho g \cos \alpha + k_s \rho g \sin(\beta + \alpha). \quad (11)$$

Граничні умови для напружень будуть мати вигляд

$$\tau_{xy} = 0 \text{ при } y = 0, \quad (12)$$

$$\sigma_y = 0 \text{ при } y = 0. \quad (13)$$

Інтегруючи рівняння (10) та (11) з урахуванням граничних умов (12) і (13) отримуємо

$$\tau_{xy} = [\rho g \sin \alpha + k_s \rho g \cos(\beta + \alpha)]y, \quad (14)$$

$$\sigma_y = [\rho g \cos \alpha + k_s \rho g \sin(\beta + \alpha)]y. \quad (15)$$

Умова домежевого стану ґрунту схилу має вигляд умови Кулона

$$\tau_{xy} \leq \sigma_y \operatorname{tg} \varphi + c. \quad (16)$$

Підставивши вирази (14) і (15) до (16), отримуємо

$$[\rho g \sin \alpha + k_s \rho g \cos(\beta + \alpha)]y \leq y[\rho g \cos \alpha + k_s \rho g \sin(\beta + \alpha)] \operatorname{tg} \varphi + c. \quad (17)$$

Звідки

$$\rho g [\sin \alpha + k_s \cos(\beta + \alpha)] - \rho g \operatorname{tg} \varphi \times [\cos \alpha + k_s \sin(\beta + \alpha)] y \leq c. \quad (18)$$

При визначенні міцності та стійкості схилів основними чинниками, які на них впливають, є рельєф і гравітаційна сила [8, 16, 17]. Тому від сейсмічного складника напружень можна відмовитися і основні рівняння стають простішими [9]:

$$\tau_{xy} = \rho g y \sin \alpha, \quad (19)$$

$$\sigma_y = \rho g y \cos \alpha, \quad (20)$$

$$\rho g y [\sin \alpha - \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha] \leq c. \quad (21)$$

Критична висота, при якій виникає межовий стан зсувного схилу без урахування сейсмічності визначається залежністю

$$H_{кр} = c / \rho g [\cos \alpha (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi)]. \quad (22)$$

При виконанні умови $H_{кр} < H$, зсувний схил може перейти у замежовий стан, тобто

$$\tau_{xy} \geq \sigma_y \operatorname{tg} \varphi + c. \quad (23)$$

В результаті зволоження ґрунту, який складає схил, кут внутрішнього тертя та питоме зчеплення різко зменшуються і пересування ґрунту зсувного схилу стає лавиноподібним і для нього слід визначати кінематичні та динамічні характеристики [18, 19]. При цьому задача стійкості схилу переходить від «строгої» теорії граничної рівноваги до теорії дрібної води із урахуванням сухого тертя.

Для розрахунку стійкості схилів на основі «спрощеної» теорії граничної рівноваги існує два підходи: інтегральний та диференціальний [9, 20, 21].

До першого з них відносяться методи, при застосуванні яких вважають, що особливої точ-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

ності у визначенні розподілу напружень по поверхні ковзання на потрібно і достатньо знати лише загальну вагу сповзаючої маси. Вважається також, що результати розрахунку стійкості мало змінюються при невеликих відхиленнях, тому можна для спрощення приймати найпростіші геометричні описи цієї поверхні. Подібні наближені методи називаються інтегральними, оскільки умови рівноваги в них складаються відразу для усього зрушеного масиву.

В більш відповідальних випадках – при значних висотах укосів, складній геологічній будові і наявності будівель нижче укосів і зверху біля бровки, застосовують більш точні методи розрахунку, які ґрунтуються на дослідженні розподілу напружень в укосі. В цих методах потрібно забезпечити умову рівноваги в усіх точках масиву ґрунту. І, крім того, в кожній точці поверхні ковзання повинна виконуватися умова Кулона. Ці методи розрахунку приводять до необхідності складання та інтегрування диференціальних даних, тому їх називають диференціальними.

Висновки

При проведенні інженерно-геологічних вишукувань на територіях, які примикають до діючих зсувів або до нестійких схилів, виникає необхідність розрахунку коефіцієнта стійкості. Із багатьох існуючих сьогодні методів розрахунку важливим є вибір того методу, який в кожному конкретному випадку допоможе отримати найбільш вірний результат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Николайчук, Н. С. Применение теории кинематической пары к расчету устойчивости откосов [Текст] / Н. С. Николайчук // Вопросы геотехники. – 1976. – Вып. 25. – С. 79-81.
2. Терцаги, К. Теория механики грунтов [Текст] / К. Терцаги. – Москва. – 1961. – 507 с.
3. Тейлор, Д. Основы механики грунтов [Текст] / Д. Тейлор. – Москва : Стройиздат, 1960. – 588 с.
4. Соколовский, В. В. Теория пластичности [Текст] / В. В. Соколовский. – Москва : «Высшая школа», 1969. – 608 с.
5. Смоляницкий, Л. А. Оценка устойчивости земляных сооружений [Текст] / Л. А. Смоляницкий // Весник ВГУ. – 2006. – Вып. 2. – С. 225-239.
6. Магдеев, У. Х. Расчет устойчивости откосов с учетом пространственности [Текст] / У. Х. Магдеев // Прочность и устойчивость грунтов. – 1972. – Вып. 20. – С. 86-91.
7. Маслов, Н. Н. Механика грунтов в практике строительства [Текст] / Н. Н. Маслов. – Москва : Стройиздат, 1977. – 320 с.
8. Ухов, С. Б. Механика грунтов, основания и фундаменты [Текст] / С. Б. Ухов, В. В. Семенов, В. В. Знаменский, З. Г. Тер-Мартirosян, С. Н. Чернышев. – Москва : АСВ, 1994. – 577 с.
9. Гольдштейн, М. Н. Механические свойства грунтов. Основные компоненты грунта и их взаимодействие [Текст] / М. Н. Гольдштейн. – Москва : Стройиздат, 1971. – 375 с.
10. Петренко, В. Д. Оцінка стійкості природних схилів методами математичного моделювання в програмі «ОТКОС» [Текст] / В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін, О. І. Дубінчик, В. Р. Кільдєєв // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2015. – Вып. 8. – С. 23-32.
11. Петренко, В. Д. Результаты исследований стійкості укосів земляного полотна високих насипів за допомогою програми «ОТКОС» [Текст] / В. Д. Петренко, О. Л. Тютюкін, О. І. Дубінчик, В. Р. Кільдєєв // Українська залізниця. – 2017. – Вып. 03-04. – С. 44-47.
12. Баранов, И. В. Определение момента потери устойчивости при расчетах склонов и откосов [Текст] / И. В. Баранов, Ш. Р. Незамутдинов, А. И. Сапожников. – Москва : 1989. – 254 с.
13. Ковров, О. С. Оцінка впливу гідрогеологічних характеристик ґрунтів на стійкість природних схилів для прогнозу зсувів [Текст] / О. С. Ковров // Екологічна безпека. – 2003. – №1/(15). – С. 72-76.
14. Оползни. Исследование и укрепление [Текст]/ Под ред. Шустера Р. и Кризека Р. – Москва : Мир, 1981. – 368 с.
15. Федоровский, В. Г. Метод расчета устойчивости откосов и склонов [Текст] / В. Г. Федоровский, С. В. Курилло. // Геоэкология, 1997. – № 6. – С. 95-106.
16. Хуан, Я. Х. Устойчивость земляных откосов [Текст] / Я. Х. Хуан. – Москва : Стройиздат, 1988. – 240 с.
17. Шаповал, А. В. Полевой метод определения упругих и реологических свойств грунта [Текст] / А. В. Шаповал, В. В. Крысан, В. Г. Шаповал, Е. В. Нестерова // Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вып. 3. – С. 229-233.
18. Дорфман, А. Г. Исследование устойчивости склонов [Текст] / А. Г. Дорфман, А. Я. Туровская // Вопросы геотехники: Межвуз. сб. научн. трудов. Днепропетровск, 1975. – № 24. – С. 132-156.
19. Малышев, М. В. Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений [Текст] / М. В. Малышев. – Москва : Стройиздат, 1980. – 136 с.

20. Abramson L. W., Lee T. S., Sharma S., Boyce G. M. Slope Stability and Stabilization Methods. John Wiley & Sons. New York, 2002, 216 p.
21. Huang Ching-Chuan, Lo Chien-Li, Jang Jia-Shiun, Hwu Lih-Kang. Internal soil moisture response to rainfall-induced slope failures and debris discharge. Engineering Geology, no. 101, 2008, pp. 134-145.

А. Л. ТЮТЬКИН^{1*}, О. И. ДУБИНЧИК², В. Р. КИЛЬДЕЕВ³

^{1*} Кафедра «Мости и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, эл. почта alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

² Кафедра «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 olga_dubinchik@i.ua, ORCID 0000-0003-4059-2357

³ Кафедра «Мости и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 53, ORCID 0000-0003-2803-8150

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Цель. Провести обобщенный анализ методов оценки устойчивости склонов и откосов, которые используются в настоящее время. Оценка устойчивости склонов и откосов может быть осуществлена только на основании комплексного изучения с использованием различных методов. **Методика.** Теоретические исследования. **Результаты.** Проведенный в рамках этого исследования анализ определения характеристики устойчивости оползневых склонов дает основание утверждать, что коэффициент устойчивости непосредственно зависит от характера, крутизны и геологического строения склона. **Научная новизна.** От выбранных методов напрямую зависит расчетная схема для определения коэффициента устойчивости. Расчет будет достоверным в том случае, когда точнее и детальнее будет построена соответствующая схема. **Практическая значимость.** Использование каждого из рассмотренных методов предусматривает использование ряда специальных геотехнических изысканий и выбора расчетной модели путем сравнения преимуществ и недостатков.

Ключевые слова: природный склон; оползневой участок; коэффициент устойчивости откоса; поверхность скольжения; вариационный метод решения задач устойчивости грунтов; прочность и устойчивость пород

О. Л. ТИУТКИН^{1*}, О. И. ДУБИНЧИК², В. Р. КИЛЬДЕЕВ³

^{1*} Department «Bridges and tunnels» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (066) 290 45 18, e-mail alexeytutkin@gmail.com, ORCID 0000-0003-4921-4758

² Department «Bridges and tunnels» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 53, e-mail olga_dubinchik@i.ua, ORCID 0000-0003-4059-2357

³ Department «Bridges and tunnels» of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, 2 Lazaryan Str., Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 53

METHODS FOR THE DETERMINATION OF THE STABILITY OF THE EARTH CONSTRUCTION DEVICE

Purpose. Conduct a generalized analysis of methods for assessing the stability of slopes and slopes, which are currently used. An assessment of the stability of slopes and slopes can be carried out only on the basis of a comprehensive study using different methods. **Methodology.** Theoretical research. **Findings.** The analysis carried out in the framework of this study to determine the stability characteristics of landslide slopes suggests that the coefficient of stability depends directly on the nature, steepness and geological structure of the slope. **Originality.** The calculation scheme for determining the coefficient of stability directly depends on the methods chosen. The calculation will be reliable in the event that the corresponding scheme is more accurately and more detailed. **Practical value.** The use of each of the methods considered provides for the use of a number of special geotechnical surveys and the selection of a calculation model by comparing advantages and disadvantages.

Keywords: natural slope; landslide area; coefficient of slope stability; sliding surface; Variational method for solving problems of soil stability; strength and stability of rocks

REFERENCES

1. Nikolaychuk N. S. Primenenie teorii kinemacheskoy pary k raschetu ustoychivosti otkosov [Application of the theory of the kinematic pair to the calculation of the stability of slopes]. *Voprosy geotekhniki – Questions of geotechnics*, 1976, issue 25, pp. 79-81.
2. Tertsagi K. *Teoriya mekhaniki gruntov* [Theory of Soil Mechanics]. Moscow, 1961. 507 p.
3. Teylor D. *Osnovy mekhaniki gruntov* [Fundamentals of soil mechanics]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1960. 588 p.
4. Sokolovskiy V. V. *Teoriya plastichnosti* [Theory of plasticity]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1969. 608 p.
5. Smolyanitskiy L. A. Otsenka ustoychivosti zemlyanykh sooruzheniy [Estimation of stability of earthworks]. *Vesnik VGU – Bulletin of VSU*, 2006, issue 2, pp. 225-239.
6. Magdeev U. Kh. Raschet ustoychivosti otkosov s uchetoм prostranstvennosti [Calculation of the stability of slopes taking into account the spatiality]. *Prochnost i ustoychivost gruntov – Strength and stability of soils*, 1972, issue 20, pp. 86-91.
7. Maslov N. N. *Mekhanika gruntov v praktike stroitelstva* [Soil mechanics in construction practice]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1977. 320 p.
8. Ukhov S. B., Semenov V. V., Znamenskiy V. V., Ter-Martirosyan Z. G., Chernyshev S. N. *Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenti* [Soil mechanics, foundations and foundations]. Moscow, ASV Publ., 1994. 577 p.
9. Goldshteyn M. N. *Mekhanicheskie svoystva gruntov. Osnovnyye komponenty grunta i ikh vzaimodeystvie* [The mechanical properties of soils. The main components and their interaction soil]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1971. – 375 p.
10. Petrenko V. D., Tiutkin O. L., Dubinchyk O. I., Kildieiev V. R. Otsinka stiikosti pryrodnykh skhyliv metodamy matematychnoho modeliuвання v prohrami «OTKOS» [Estimation of stability of natural slopes by methods of mathematical modeling in the program "OTKOS"]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2015, issue 8, pp. 23-32.
11. Petrenko V. D., Tiutkin O. L., Dubinchyk O. I., Kildieiev V. R. Rezultaty doslidzhen stiikosti ukosiv zemlianooho polota vysokyykh nasypiv za dopomohoiu prohramy «OTKOS» [Results of studies on the stability of the slopes of the earthen cloth of high embankments using the program "OTKOS"]. *Ukrainska zaliznytsia – Ukrainian railway*, 2017, issue 03-04, pp. 44-47.
12. Baranov I. V., Nezamutdinov Sh. R., Sapozhnikov A. I. *Opredelenie momenta poteri ustoychivosti pri raschetakh sklonov i otkosov* [Defining moment of loss of stability in calculations of slopes and slopes]. Moscow, 1989. 254 p.
13. Kovrov O. S. Otsinka vplyvu hidroheolohichnykh kharakterystyk gruntiv na stiikist pryrodnykh skhyliv dlia prohnozu zsuвiv [Assessing the impact of geological characteristics of the soil on the stability of natural slopes for landslide-gnosis]. *Ekolohichna bezpeka – Ecological safety*, 2003 (15), issue 1, pp. 72-76.
14. Shuster R., Krizek R. *Opolzni. Issledovanie i ukreplenie* [Landslides. Research and strengthening.]. Moscow, Mir Publ., 1981. 368 p.
15. Fedorovskiy V. G., Kurillo S. V. Metod rascheta ustoychivosti otkosov i sklonov [The method of calculating the stability of slopes and slopes] *Geoekologiya – Geoecology*, 1997, issue 6, pp. 95-106.
16. Khuan Ya. Kh. Ustoychivost zemlyanykh otkosov [The stability of earth slopes]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988. 240 p.
17. Shapoval A. V., Krysan V. V., Shapoval V. G., Nesterova Ye. V. Polevoy metod opredeleniya uprugikh i reologicheskikh svoystv grunta [Field method for determining the elastic and rheological properties of soil]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 229-233.
18. Dorfman A. G., Turovskaya A. Ya. Issledovanie ustoychivosti sklonov [Research of stability of slopes]. *Voprosy geotekhniki – Geotechnics questions*, 1975, issue 24, pp. 132-156.
19. Malyshev M. V. *Prochnost gruntov i ustoychivost osnovaniy sooruzheniy* [Durability of soil and stability of the bases of constructions]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980. 136 p.
20. Abramson L. W., Lee T. S., Sharma S., Boyce G. M. *Slope Stability and Stabilization Methods*. John Wiley & Sons, New York, 2002, 216 p.
21. Huang Ching-Chuan, Lo Chien-Li, Jang Jia-Shiun, Hwu Lih-Kang. Internal soil moisture response to rainfall-induced slope failures and debris discharge. *Engineering Geology*, 2008, issue 101, pp. 134-145.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна), д.т.н., проф. А. І. Лантухом-Лященко (Україна).

Надійшла до редколегії 18.08.2017.

Прийнята до друку 25.09.2017.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21.095.2.014.: [625.1:629.4.016.5]

A. YU. RESHETNOV^{1*}, V. I. SOLOMKA², P. A. OVCHYNNYKOV³

^{1*} Department «Bridges and tunnels», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (098) 936 59 76, e-mail artemresh22@gmail.com, ORCID 0000-0002-8524-5060

² Department «Bridges and tunnels», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 584 9735, e-mail solomkav1966@gmail.com, ORCID 0000-0003-0567-6483

³ Department «Bridges and tunnels», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (099) 452 15 02, e-mail pavlovchinnikov@gmail.com, ORCID 0000-0003-1046-803X

PARAMETERS OF TYPICAL CONTINUOUS STEEL TRUSS SPANS UNDER A HIGH-SPEED MOVEMENT

Purpose. Determination of the stress-strain state of a typical continuous steel truss span by calculation according to national norms and computer simulation in the conditions of passage of high-speed passenger trains. **Methodology.** In this work, the stress-strain state of a continuous truss span of the typical project No. 3 501.2-166 for the possibility of its application in areas with perspective high-speed railway traffic was investigated. Calculation of the specified span structure for DBN V.2.3-14-2006 «Constructions of transport. Bridges and pipes. Design rules» for railroad loading C14 was executed. The cross-sections of the elements of a continuous truss span were calculated and the necessary checks performed. For the given span structure in the software complex a model was developed and the stress-strain state at various speeds of railway transport according to European and national norms was investigated. The acceleration and deflection of a continuous steel truss span were determined and their comparison with normative requirements was performed. **Findings.** As a result of simulation in the software complex for a continuous steel truss span, acceleration and deflection under the action of cargo and passenger load at different speeds of movement were determined. The cross-sections of the elements of a continuous steel truss span were calculated. **Originality.** The results of the study can be applied in the development of national regulatory documents on high-speed rail transport and in the design of bridge structures with continuous truss spans in areas with high and higher-speed railway traffic. **Practical value.** The obtained results of the research will allow to effectively use continuous steel truss spans of typical designs in areas with high- and higher-speed railway traffic.

Keywords: high-speed movement; high speed line; bridge construction; continuous truss span; acceleration; deflection; span; metal bridge; model; railway load; finite element method

Introduction

Today, the topic of high-speed and higher-speed railway traffic is relevant as high-speed trains [1] play an important role in improving the competitiveness of railways compared to automobile and aviation transport [2-5]. Every year, the speed of passenger trains increases, as this is a general need of society. For example, in Europe and Asia, the speed of passenger transportation has increased significantly over recent times and has reached more than 500 km/h in some areas. European and international standards recognize that high-speed traffic is a movement that provides trips between two points with speeds in the intervals of 141...160 and 161...200 km/h. Ukrainian departmental standards represent the high-speed

movement of passenger trains, as the movement of passenger trains with velocities in given intervals [4]:

- 141...160 km/h – accelerated movement;
- 161...200 km/h – high-speed traffic;
- over 200 km/h – higher-speed traffic.

At present, many new high-speed railway lines are being designed and built around the world (or existing networks are being upgraded). And bridges are an integral part of the high-speed highway. Thus, they require the attention of engineers in terms of their design and their technical maintenance.

For bridges with spans of more than 100 m metal truss structures are being used. These are complex structures, which require a separate ap-

proach to the solution of the tasks for their application for high-speed and higher-speed motion. The main task in designing such structures is to find optimal geometric sizes, including elements' cross-sections, layout and design solutions.

Analysis of foreign experience in the design of bridges on the HSR and developments of domestic designers shows the feasibility of the following constructive technological solutions:

- for small bridges and overpasses with spans up to 15 m – prefabricated slab and ribbed simple beam spans;
- for multi-sectional beam bridges with spans of 15...33 m spans – slab-girder spans made of monolithic pre-stresses reinforced concrete;
- for bridges with spans 33...55 m – box structures of monolithic pre-stressed reinforced concrete;
- in bridges with spans of more than 55 m – metal two-track structures with main trusses or arch systems with massive concrete and reinforced concrete supports [11].

On bridges, only a non-junction track is used, which reduces the dynamic impact of rolling stock on the bridge, reducing noise and vibration of elements. However, the work of the non-junction track on the bridge is significantly different from the work on the soil, because of the deformability of the bridge when changes in air temperature occur and of the train vertical and horizontal actions. In this connection, additional stresses arise in the rails that are elements of a coupled system «bridge – a non-junction track». Their size depends, in particular, on the type of bridge deck. In foreign practice, both ballast and non-ballast bridge decks are used. [9, 10, 7, 11].

In Ukraine, nowadays there are no high-speed and higher-speed tracks for railway transport. Trains are driven at speeds up to 160 km/h by railways of general use. At the same time, all bridge structures operated in areas where accelerated traffic of passenger rail transport is being carried out are calculated and constructed in accordance with the existing regulatory documents under the railway load C14.

There are no separate normative documents for designing bridge structures in areas with high-speed and higher-speed traffic in Ukraine. Therefore, today the detailed study of the foreign experience of introducing high-speed traffic and design of bridge structures according to European norms

and norms of other countries of the world and adaptation of foreign normative documents to Ukrainian conditions will allow to develop national standards for designing and building bridges for perspective high-speed and higher-speed highways, which will eventually be introduced in Ukraine.

Purpose

Determination of the stress-strain state of a typical simple metal span structure with bearing trusses by calculation according to national norms and computer simulation method.

Methodology

In this work, the stress-strain state of a continuous truss span by the typical design No. 3 501.2-166 for the possibility of using it in areas under perspective high-speed railway traffic is researched. Calculation of the specified span structure for [12] for railroad loading C14 was executed. The cross-sections of the elements of a continuous truss span were calculated and the necessary checks performed. For the given span structure in the software complex a model was developed and the stress-strain state at various speeds of railway transport according to European and national norms was investigated. The acceleration and deflection of a continuous steel truss span were determined and their comparison with normative requirements was performed.

Particular attention should be paid to ensuring high rigidity of spans – vertical, horizontal and twisting (significant reduction of permissible deflections). The values of permissible deflections, angles of the profile fracture and displacement of the top of the supports on the bridges of VSM at speeds up to 350 km/h are standardized.

When designing bridges, it is necessary to pay special attention to the dynamic calculations of bridge structures, including control of resonant phenomena, as well as the influence of flaws of wheels and rails. The peculiarity of the force influence of rolling stock on the bridge is related to the so-called speed effect, or kinematic excitation. The essence of this interaction mode of the bridge and the train is the transfer of variable force influence on the span structure by the cars of the trains through the wheel pairs as a result of moving the temporary load on the bridge. Hazardous resonance oscillations of bridge structures arise when

the period of power influence of the train coincides with the period of the natural oscillations of the train loaded span structure, while the value of the dynamic index to the temporary load from the rolling stock increases significantly. It should be noted that it is dynamic calculations that are key in the design of bridges on the HSR.

According to the results of dynamic calculations, the main dimensions, parameters and dynamic characteristics of span structures are determined. Rational design allows avoiding excessive adverse dynamic responses during operation, as well as ensuring the safety of high-speed trains and the reliability of the work of the structure.

For calculations of slab, box and ribbed simple beams up to 60 m span, the dynamic effect can be represented as a set of lumped forces that travel along a bridge at a given speed. For truss, arch and frame structures, a dynamic calculation is made taking into account the vehicle-bridge interaction. In order to ensure the stability of the bridge deck, which guarantees the stability of the rail track as a requirement for safety of movement on the railroad, on the HSR bridges the maximum vertical peak acceleration of the span structure at the level of the topside of the track is limited [6, 7]:

- with ballast track – 0,35 g m/s²;
- with rigid base (ballastless track) – 0,50 g m/s².

In the dynamic calculation of the «vehicle – bridge» system, the acceleration at the level of passengers seating in the car, to ensure the comfort of travel should not exceed:

- vertical – 0,15 g m/s²;
- horizontal – 0,1 g m/s².

Eurocode 1990 also defines the limits of maximum vertical displacement from the standpoint of passenger comfort. Passenger comfort during the movement of a car depends on the vertical acceleration [8]. Listed in table 1.

Table 1

Recommended levels of passenger comfort

Comfort levels	Vertical acceleration b_v , m/s ²
Very good	1,0
Good	1,3
Acceptable	2,0

When designing long-span structures, the issues of aerodynamic interaction of high-speed train and structural elements, as well as wind influence, are taken into account. For small and medium bridges, unified design and technological solutions that are specially developed at the initial design stage should be used.

The optimal structural solutions of a unified series of spans should be developed taking into account the results of dynamic calculations on the load from high-speed trains, depending on the track topside on the stage being designed and based on a technical and economic comparison of options.

Individual design is permissible when designing large and extracurricular bridges with large spans, when bridges are located in areas with a complex longitudinal profile, as well as in other justified cases.

The technical conditions for the design and construction of artificial structures on the HSR have their own features [11]:

- to ensure smoothness of trains and comfortable conditions for passengers, the value of the elastic deflection of spans from the static temporary load is limited to a length of 1/2200 span length (on regular railways – 1/600);
- to ensure the rigidity of runways on the HSR in a horizontal plane, it is recommended to limit the elastic deformation to 1/4000 of span lengths, with the maximum relative torsion of the runway structure limited to 1 mm per 1 m of span length (table 2).

In order to assess the impact of the heterogeneity of rolling stock, speed, eccentricity and other factors, additional theoretical and practical tests are required.

Despite the significant achievements of science in the field of computer modeling, the problem is the refinement of the spatial model of the vehicle-bridge interaction system, the possibilities of which would allow a comprehensive assessment of the reliability of artificial structures and the safety of traffic on it.

For further calculation continuous truss span structure with 110+132+110 scheme was selected (shown in fig. 1).

The material of the span structure is D40 steel.

The value of the elastic deflection of spans

Regulatory requirements	Limit values of high-speed trains
Maximum deflections	At a speed of 350 km/h: $\delta \leq 1/1500 L$ at $L \leq 27$ m; $\delta \leq 1/2600 L$ at $L = 65$ m; $\delta \leq 1/2000 L$ at $L \geq 100$ m
	At a speed of 200 km/h: $\delta \leq 1/1000 L$ at $L \leq 15$ m; $\delta \leq 1/1500 L$ at $L = 38$ m; $\delta \leq 1/600 L$ at $L \geq 90$ m

The calculation was performed according to [12] for C14 load. Forces in the elements of the main trusses from wind and braking were determined. Optimal cross sections were selected and

their checks for load C14 were performed. The sections of the main truss elements are shown in fig. 2.

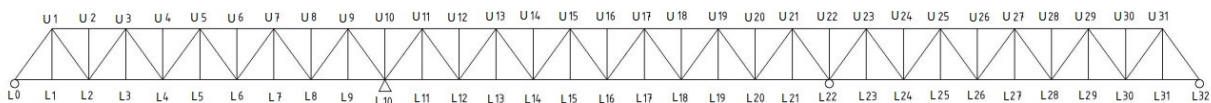


Fig. 1. Calculation scheme

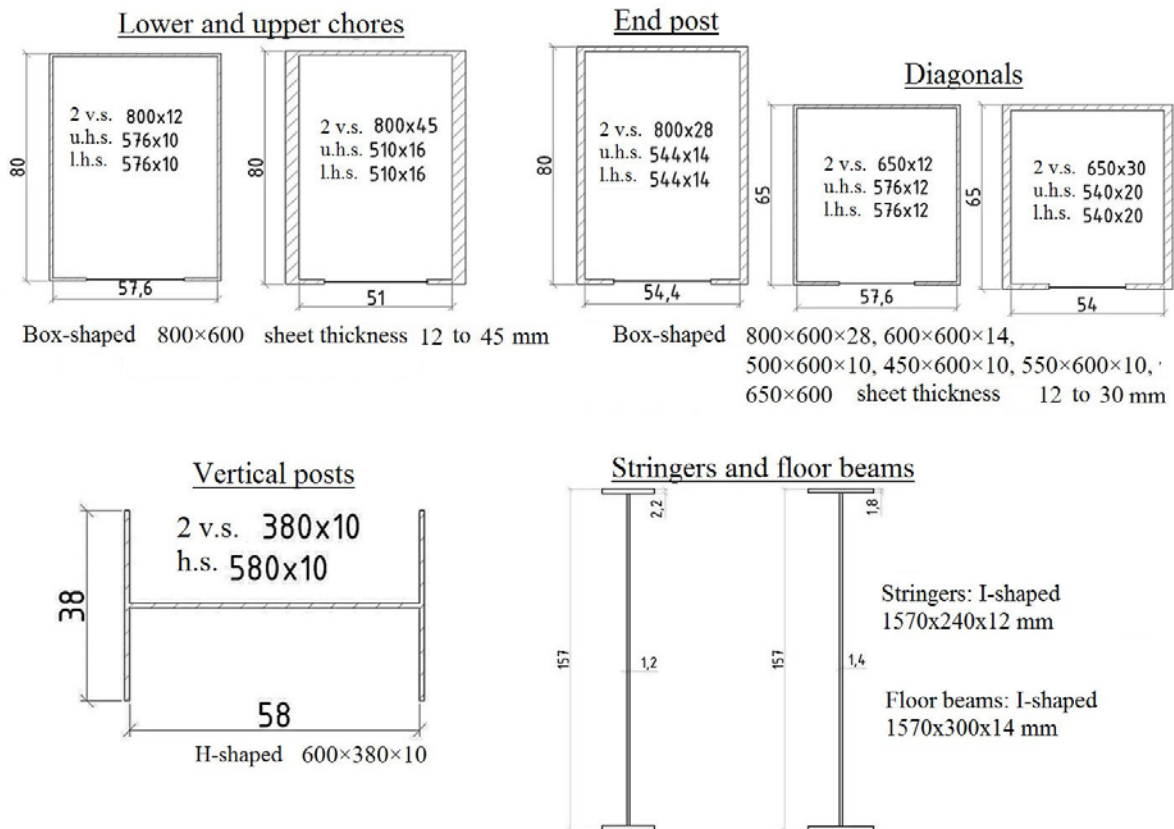


Fig. 2. Main truss elements' cross-section. Results of calculation by [12]

For the software complex calculation, a spatial model of a continuous truss structure with scheme 110+132+110 was constructed, shown in fig. 3, 4. Cross sections for each element according to the

performed calculations were applied:

- truss elements (top chord, bottom chord, diagonals, hip verticals and intermediate posts);
- stringers and floor beams;

– ballastless deck slab.

Following this transient loads of load models: C14, HSLM-A1, SW/0, SW/2 were given with corresponding dynamic speed functions (shown in

Fig. 5, 6). For models SW/0, SW/2 and C14 – 80, 90, 100 km/h, for HSLM-A1 – 200, 215, 225, 235, 250, 265, 275, 290, 300, 315, 325, 335, 350 km/h.

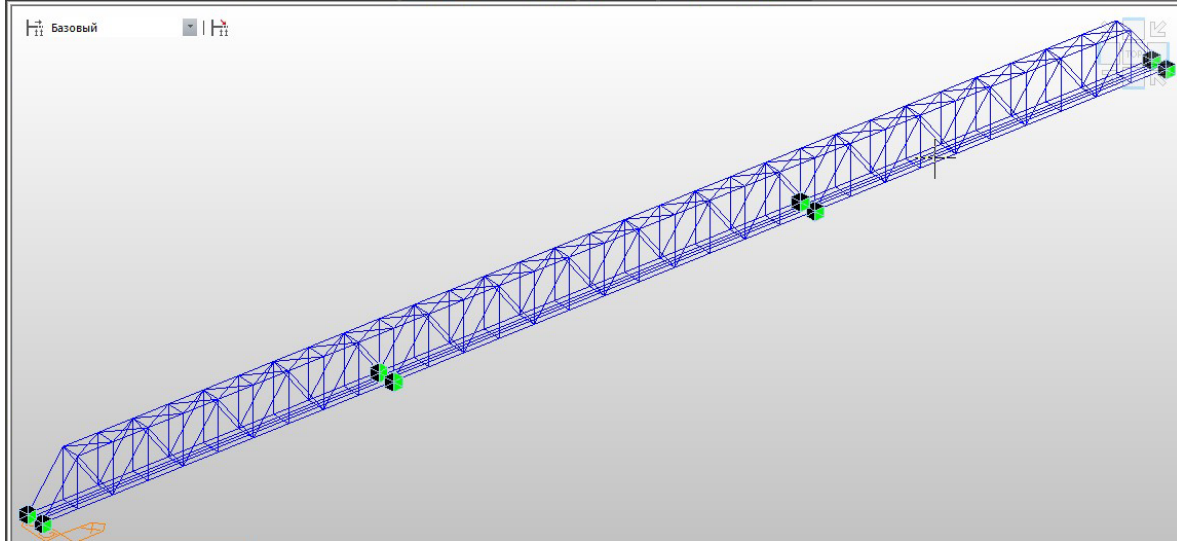


Fig. 3. Schematic of span structure

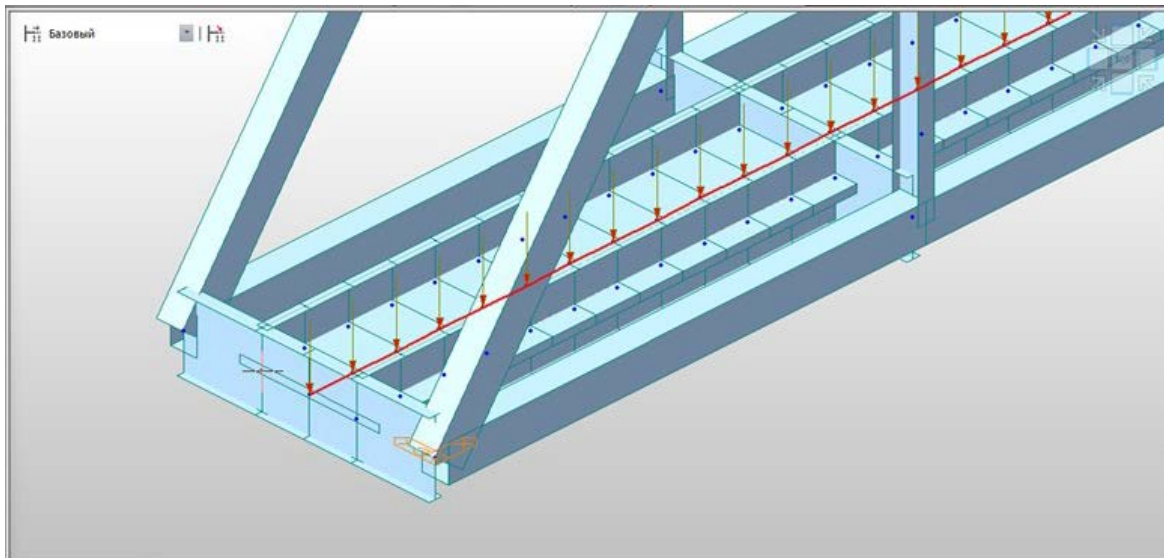
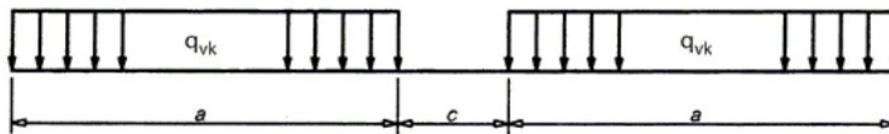


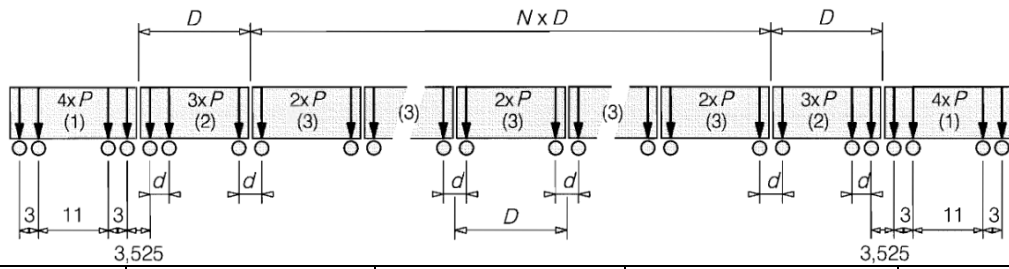
Fig. 4. Schematic of span structure



Load model	mq_{vk} , kN/m	a, m	c, m
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Fig. 5. Load models SW/0 and SW/2

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА



Universal train	Number of intermediate passenger cars N	The length of the passenger car D, м	The distance between the axles of the trolleys d, м	Force P, kN
A1	18	18	2,0	170
A2	17	19	3,5	200
A3	16	20	2,0	180
A4	15	21	3,0	190
A5	14	22	2,0	170
A6	13	23	2,0	180
A7	13	24	2,0	190
A8	12	25	2,5	190
A9	11	26	2,0	210
A10	11	27	2,0	210

Fig. 6. Load model HSLM-A

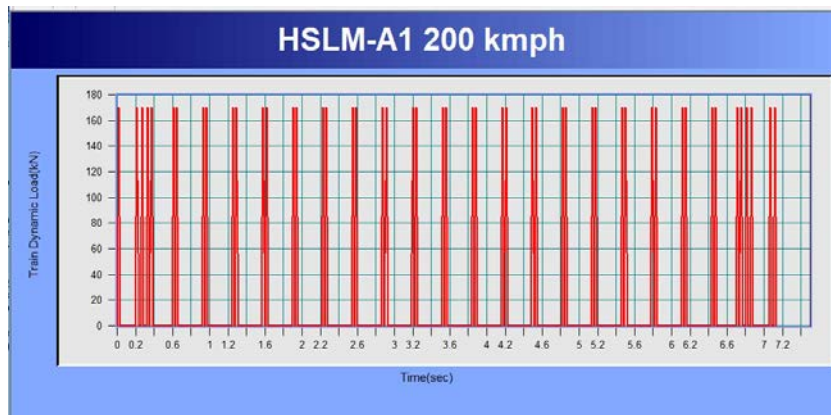


Fig. 7. Dynamic loading function from the load model HSLM-A1 200 km/h

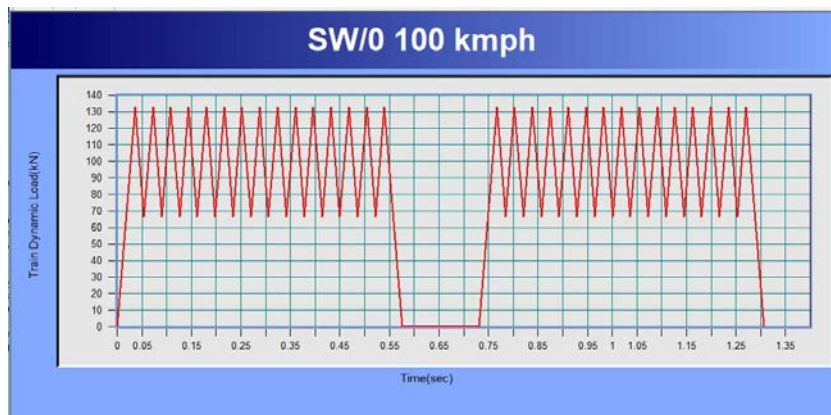


Fig. 8. Dynamic loading function from the load model SW/0 100 km/h

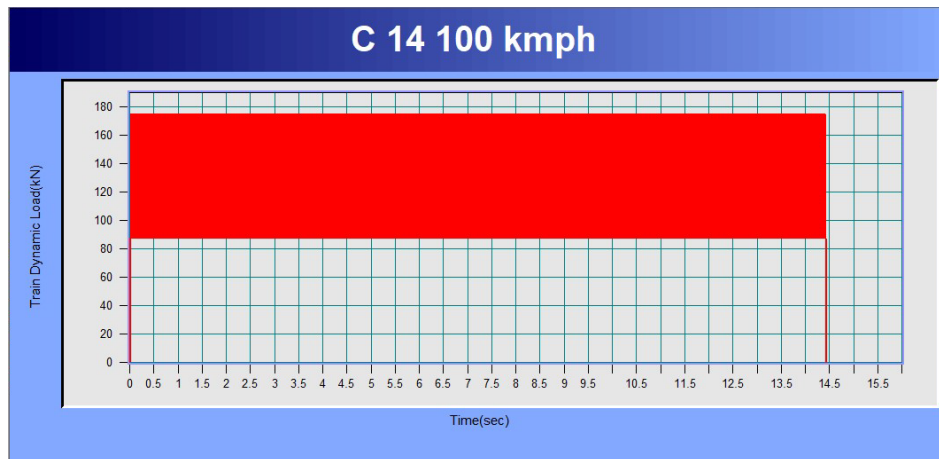


Fig. 9. Dynamic loading function from the load model C14 100 km/h

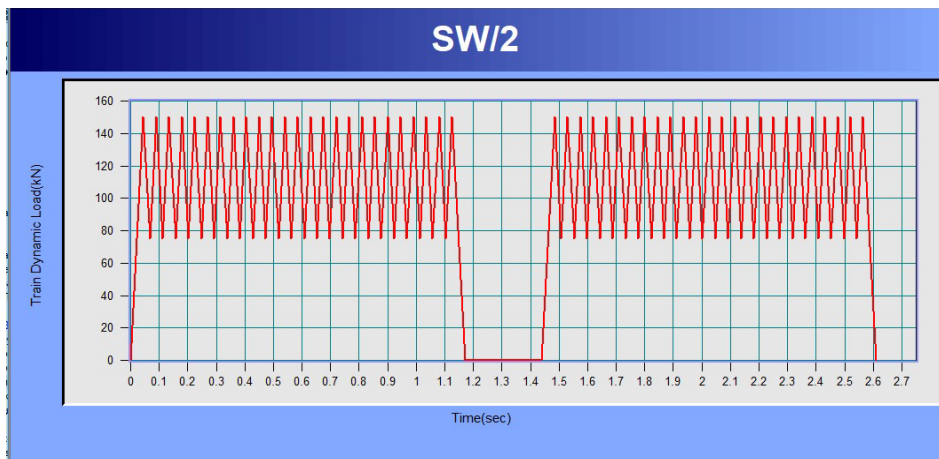


Fig. 10. Dynamic loading function from the load model SW/2 100 km/h

Results

After calculating the system in the software complex, stress values were obtained in the elements of the truss, Acceleration and displacement were determined for the elements of the truss: at the beginning, at 1/4, at 1/2 parts of each span, and

in the middle parts along the axis of the carriage-way – at nodes 56, 177, 298 (shown in fig. 11, 12). Graphs of displacements and accelerations are shown on fig. 13, 14.

Figures 15, 16, 17 show the comparison of acceleration and displacement in the elements of the farms with various speed trains.

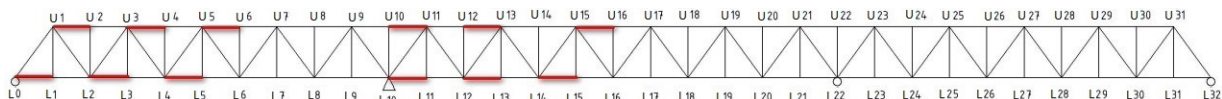


Fig. 11. Truss elements, that need determination of maximum displacements and accelerations



Fig. 12. Middle parts along the axis of the carriage-way (nodes 56, 177, 298)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

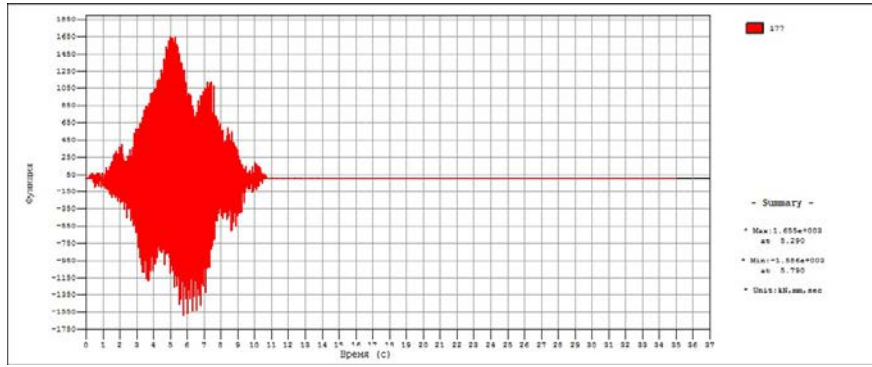


Fig. 13. Maximum acceleration of node 177 for model HSLM-A1 with movement speed of 250 km/h

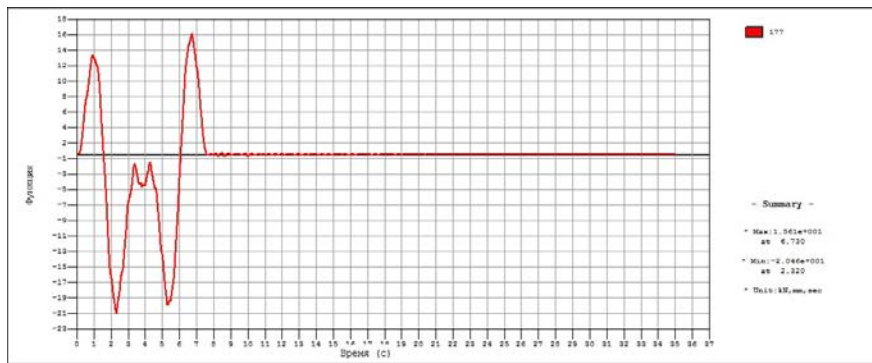


Fig. 14. Maximum displacement in 177 for model HSLM-A1 with movement speed of 350 km/h

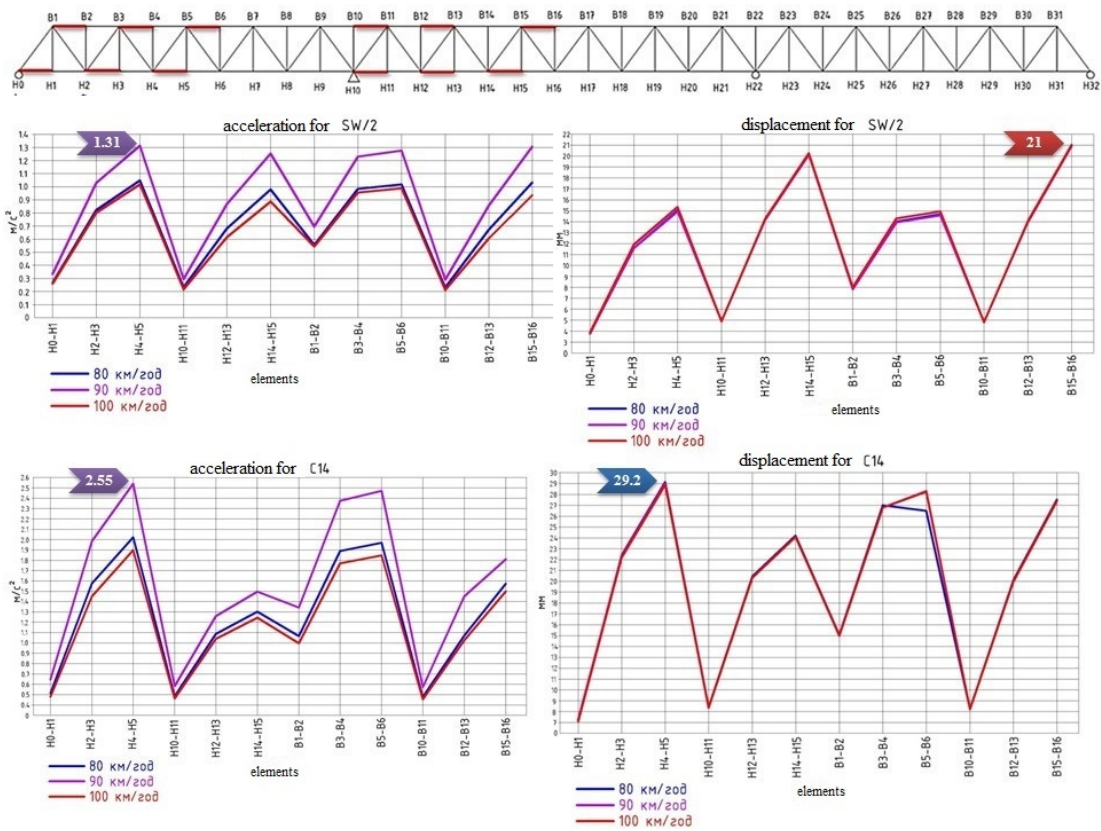


Fig. 15. Graphs of acceleration and displacement in the elements of the trusses at different traffic speeds

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

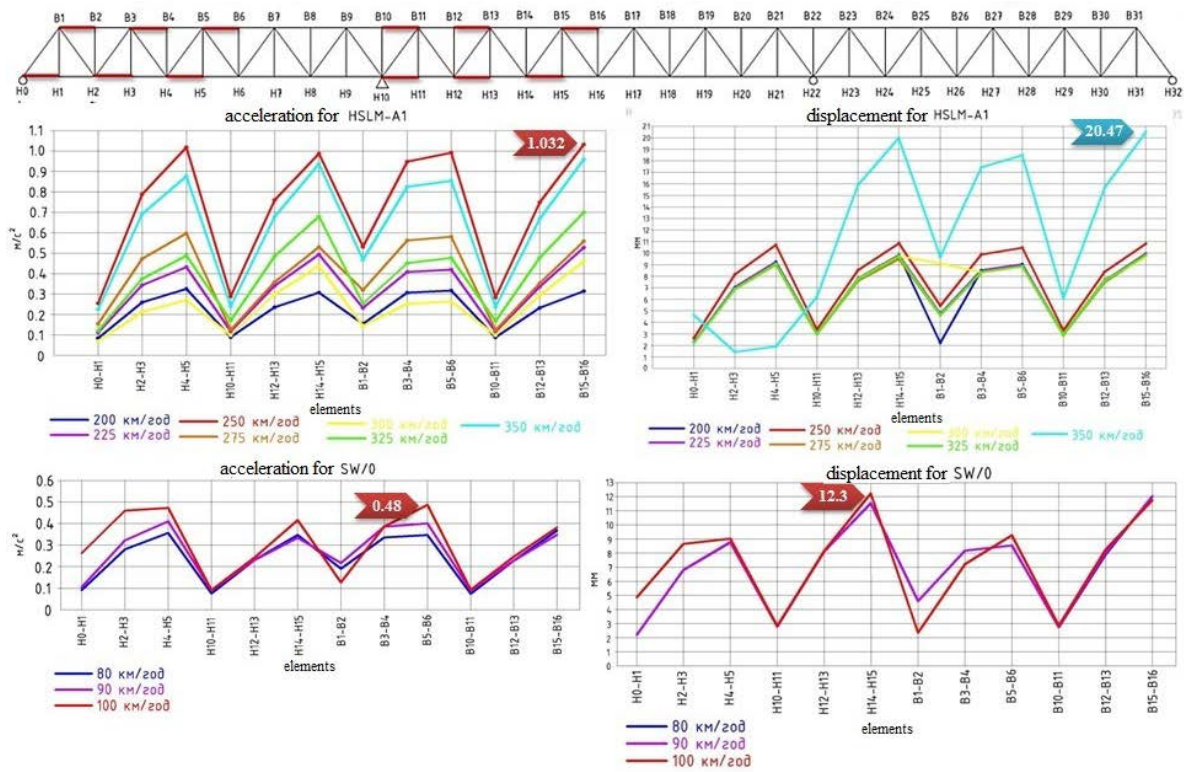


Fig. 16. Graphs of acceleration and displacement in the elements of the trusses at different traffic speeds

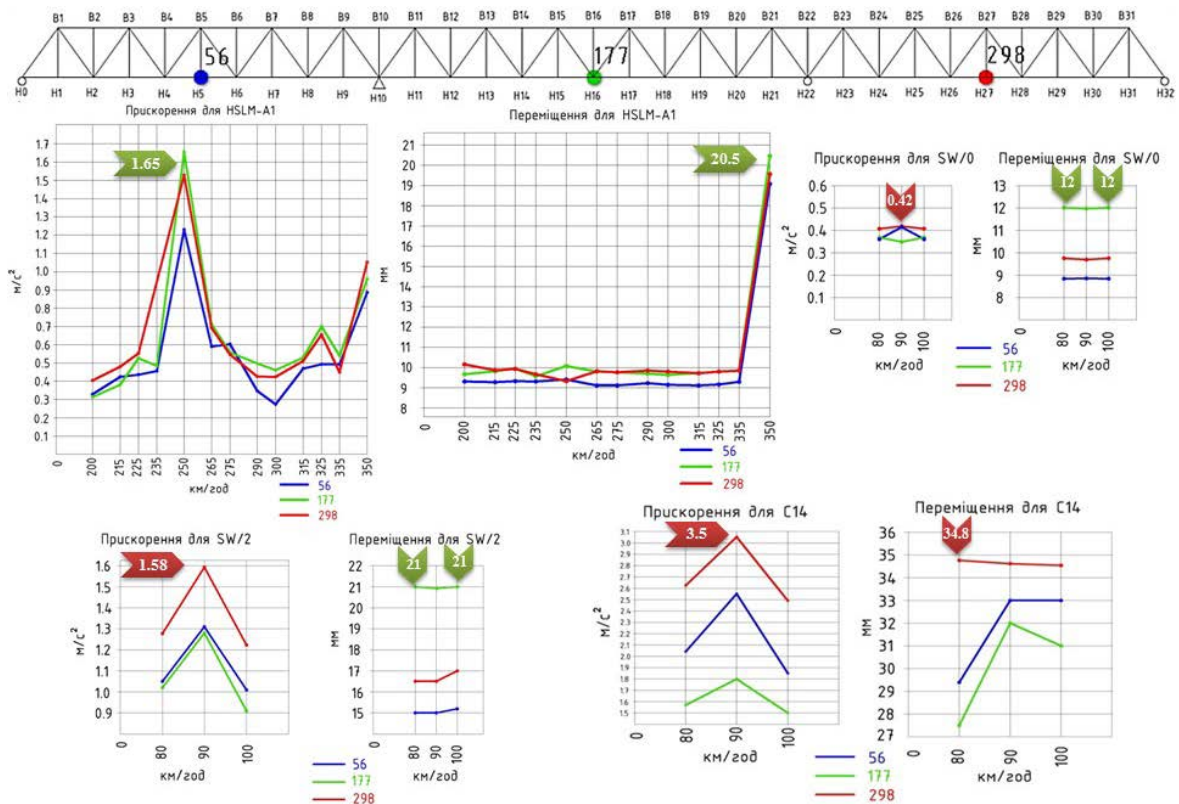


Fig. 17. Graphs of acceleration and displacement in the elements of the trusses at different traffic speeds at nodes 56, 177, 298

Originality and practical value

The results of the study can be applied in the development of national regulatory documents on high-speed rail transport and in the design of bridge structures with continuous truss spans in areas with high- and higher-speed railway traffic. The obtained results of the research will allow to effectively use continuous steel truss spans of typical designs in areas with high- and higher-speed railway traffic.

Conclusions

On the basis of the performed research of the stress-strain state of a continuous steel truss span and the possibility of its application on stages with high-speed and higher-speed railway traffic, the following results were obtained:

1. When designing bridges at high-speed railways, special attention should be paid to ensuring high rigidity of runways – vertical, horizontal and torsion (significant reduction of permissible deflections). Therefore, in high speed bridges, massive elements must be applied that would satisfy the conditions of high rigidity. It is necessary to pay special attention to the dynamic calculations of bridge structures, including control of resonant phenomena, as well as the influence of flaws in wheels and rails. When designing large-span structures, the issues of aerodynamic interaction of high-speed train and structural elements, as well as wind influence, are taken into account.

2. Methods that use the results of calculating the static load multiplied by the dynamic coefficient F can not predict the resonant effects that arise when the train is passing at high speed. For forecasting of dynamic effects at resonance, methods of dynamic analysis are needed which take into account the load-time dependence within the model loaded with high speed HSLM and real trains. Dynamic factor F is not taken into account for the load caused by real trains; load caused by trains to calculate endurance; load model HSLM; load model «unloaded train». The dynamic effect of the real train can be represented by a set of concentrated forces that are moving.

3. As a result of the calculation of continuous steel truss span according to [12] optimal cross sections were and their checks for load C14 were performed. For truss chors the box cross-section was selected of 600×800 mm with sheet thickness

of 12...45 mm, for end post the box cross-section 600×800×28 mm, for diagonals the box cross-section 600×600×14 mm, 600×500×10 mm, 600×450×10 mm, 600×550×10 mm, 600×650 mm with sheet thickness of 12...30 mm, for hip verticals and vertical posts – H-shaped cross-section 600×380×10 mm, for stringers – the I-shaped one 1570×240×12 mm, for floor beams – I-shaped one 1570×300×14 mm.

4. As a result of modeling in the software complex for a continuous steel truss span, accelerations and deflections under the action of freight and passenger load at different speeds of traffic were determined. For freight trains – with a speed of 80 km/h, 90 km/h, 100 km/h. For passenger trains – 200 km/h, 215 km/h, 225 km/h, 235 km/h, 250 km/h, 265 km/h, 275 km/h, 290 km/h, 300 km/h, 315 km/h, 325 km/h, 335 km/h, 350 km/h. All received values of acceleration and deflections are within the established limits. According to EN 1990: Eurocode: Basis of Structural Design, limit values of maximum acceleration from the standpoint of passenger comfort are as follows: 1 m/s² – very good; 1,3 m/s² – good; 2 m/s² – acceptable. And according to EN 1991-2 (2003): Eurocode 1: Actions on structures. P. 2: Traffic loads on bridges, vertical acceleration should not exceed 0,15g m/s². According to EN 1990: Eurocode: Basis of Structural Design, vertical displacements to ensure the smoothness of the movement of high-speed trains should not exceed 1/2200 of span length, and for conventional lines, the value of elastic deflection is limited to 1/600 of span length.

5. The deflection of the span structure obtained by calculating the simulation method is:

1) In the middle of the carriageway:

- at movement speed of 350 km/h for load model HSLM-A1 – 2,05 cm;
- at movement speed of 80 and 100 km/h for load model SW/0 – 1,21 cm;
- at movement speed of 80 and 100 km/h for load model SW/2 – 2,1 cm;
- at movement speed of 80 km/h for load model C14 – 3,48 cm;

2) For truss elements:

- at movement speed of 350 km/h for load model HSLM-A1 – 2,047 cm;
- at movement speed of 100 km/h for load model SW/0 – 1,23 cm;
- at movement speed of 80, 90, 100 km/h for load model SW/2 – 2,1 cm;

– at movement speed of 80 km/h for load model C14 – 2,92 cm.

6. Acceleration of the span structure obtained by calculating with the simulation method is:

1) In the middle of the carriageway:

– at movement speed of 250 km/h for load model HSLM-A1 – 1,65 m/s²;

– at movement speed of 90 km/h for load model SW/0 – 0,41 m/s²;

– at movement speed of 90 km/h for load model SW/2 – 1,6 m/s²;

– at movement speed of 90 km/h for load model C14 – 3,05 m/s².

2) For truss elements:

– at movement speed of 250 km/h for load model HSLM-A1 – 1,032 m/s²;

– at movement speed of 100 km/h for load model SW/0 – 1,21 m/s²;

– at movement speed of 90 km/h for load model SW/2 – 1,3 m/s²;

– at movement speed of 90 km/h for load model C14 – 2,91 m/s².

7. The calculations do not take into account the effect of the wind and natural oscillations of the span structure. Therefore, taking into account these factors, the cross-sections of the span structure should have greater rigidity to counteract the fluctuations and prevent the occurrence of resonant phenomena that can lead to the destruction of the structure.

REFERENCES

1. Dr. Jean-Paul Rodrigue, High Speed Rail Systems [Virtual resource] / Dr. Jean-Paul Rodrigue // people.hofstra.edu. – 2017. – Access mode: URL: <https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/appl3en/ch3a1en.html>.
2. Підтримка інтеграції України до Трансевропейської транспортної мережі ТЕМ-Т: РК.2 Швидкісний залізничний транспорт. Заключний звіт 2.1, 2010 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ten-t.org.ua/ua/>
3. Не по дорозі: що заважає розвитку швидкісного руху в Україні [Електронний ресурс] // news.finance.ua. — Режим доступу: <https://news.finance.ua/ua/news/-/304614/ne-podorozi-shho-zavazhaye-rozvytku-shvydkisnogo-ruhu-v-ukrayini>.
4. ВНД 32.1.07.000-02. Тимчасова інструкція з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу. Державна адміністрація залізничного транспорту України [Електронний ресурс]. Київ : Укрзалізниця, 2002. – 51 с. Режим доступу: <https://studopedia.info/1-31887.html>
5. Бараш, Ю. С. Аналіз роботи швидкісного руху в Україні [Текст] / Ю. С. Бараш, О. М. Гненний, А. В. Момот // Залізничний транспорт. – 2014. – С. 53-62.
6. EN 1991-2 (2003) : Eurocode 1 : Actions on structures. P. 2 : Traffic loads on bridges.
7. Бенин, А. В. Особенности проектирования и строительства мостов высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва – Казань» [Текст] / А. В. Бенин, Л. К. Дьяченко, В. Н. Смирнов // St. Petersburg state un-ty of the way of communication. – Proceedings of Petersburg Transport University. – 2015. – v. 4 – pp. 15-20.
8. EN 1990: Eurocode: Basis of Structural Design
9. Смирнов, В. Н. Динамическая работа мостов высокоскоростных железнодорожных магистралей при продольных воздействиях поездной нагрузки [Текст] : монография / В. Н. Смирнов. – СПб. Петербург, Гос. ун-т путей сообщения, 2013. – 65 с.
10. Смирнов, В. Н. Расчёт мостов высокоскоростных железнодорожных магистралей на продольные силы [Текст] : монография / В. Н. Смирнов. – СПб. Петербург, Гос. ун-т путей сообщения, 2013. – 65 с.
11. Новые технологии в мостостроении: мосты на высокоскоростных железнодорожных магистралях [Текст]: сб. трудов / Под ред. В. Н. Смирнова - СПб. Петербург, Петербургский государственный университет путей сообщения, 2013. – 61 с.
12. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]. – Надано чинності 2007-02-01. – Київ : Мін. буд., архіт. та житл.-комун. госп-ва, 2006. – 359 с.

А. Ю. РЕШЕТНЬОВ^{1*}, В. І. СОЛОМКА², П. А. ОВЧИННИКОВ³

^{1*} Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (098) 936 59 76, ел. пошта artemresh22@gmail.com, ORCID 0000-0002-8524-5060

² Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (067) 584 9735, ел. пошта solomkav1966@gmail.com, ORCID 0000-0003-0567-6483

© A. Yu. Reshetnov, V. I. Solomka, P. A. Ovchynnykov, 2017

³ Кафедра «Мости і тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (099) 452 15 02, e-mail: pavlovchinnikov@gmail.com, ORCID_0000-0003-1046-803X

ПАРАМЕТРИ ТИПОВИХ МЕТАЛЕВИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ ІЗ НАСКРІЗНИМИ ФЕРМАМИ НЕРОЗРІЗНОГО ТИПУ ПІД ШВИДКІСНИЙ РУХ

Мета. Визначення напружено-деформованого стану типової нерозрізної металеві прогонової будови із наскрізними фермами шляхом розрахунку за національними нормами та методом комп'ютерного моделювання в умовах пропуску швидкісних пасажирських потягів. **Методика.** В роботі досліджується напружено-деформований стан нерозрізної прогонової будови з наскрізними фермами за типовим проектом серії № 3.501.2-166 для можливості застосування його на ділянках під перспективний високошвидкісний рух залізничного транспорту. Виконати розрахунок вказаної прогонової будови за ДБН В.2.3-14-2006. «Споруди транспорту. Мости і труби. Правила проектування» під залізничне навантаження С14. Підібрати перерізи елементів нерозрізної металеві прогонової будови з наскрізними фермами та виконати необхідні перевірки. Для вказаної прогонової будови у програмному комплексі розробити модель і дослідити напружено-деформований стан при різних швидкостях залізничного транспорту за Європейськими та національними нормами. Визначити прискорення та прогини нерозрізної металеві прогонової будови з наскрізними фермами і виконати їх порівняння із нормативними вимогами. **Результати.** В результаті моделювання в програмному комплексі для нерозрізної металеві прогонової будови із наскрізними фермами визначено прискорення і прогини під дією вантажного і пасажирського навантаження при різних швидкостях руху. Підібрані перерізи елементів нерозрізної металеві прогонової будови з наскрізними фермами. **Наукова новизна.** Результати дослідження можуть бути застосовані при розробці національних нормативних документів по високошвидкісному руху залізничного транспорту та при проектуванні мостових споруд із нерозрізними металевими прогонними будовами з наскрізними фермами на ділянках із прискореним та високошвидкісним рухом залізничного транспорту. **Практична значимість.** Отримані результати дослідження дозволять ефективно застосовувати нерозрізні металеві прогонові будови з наскрізними фермами за типовими проектами на ділянках із прискореним та високошвидкісним рухом залізничного транспорту.

Ключові слова: високошвидкісний рух; високошвидкісна магістраль; мостобудування; нерозрізна прогонова будова з наскрізними фермами; прискорення; переміщення; прогонова будова; металевий міст; модель; залізничне навантаження; метод скінченних елементів

А. Ю. РЕШЕТНЁВ^{1*}, В. И. СОЛОМКА², П. А. ОВЧИННИКОВ³

^{1*} Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (098) 936 59 76, эл. почта artemresh22@gmail.com, ORCID 0000-0002-8524-5060

² Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (067) 584 9735, эл. почта solomkav1966@gmail.com, ORCID 0000-0003-0567-6483

³ Кафедра «Мосты и тоннели», Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (099) 452 15 02, эл. почта pavlovchinnikov@gmail.com, ORCID 0000-0003-1046-803X

ПАРАМЕТРЫ ТИПОВЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ СО СКВОЗНЫМИ ФЕРМАМИ НЕРАЗРЕЗНОГО ТИПА ПОД СКОРОСТНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Цель. Определение напряженно-деформированного состояния типового неразрезного металлического пролетного строения со сквозными фермами путем расчета по национальным нормам и методом компьютерного моделирования в условиях пропуска скоростных пассажирских поездов. **Методика.** В работе исследуется напряженно-деформированное состояние неразрезного пролетного строения со сквозными фермами по типовому проекту серии № 3.501.2-166 на возможность применения его на участках под перспективное

высокоскоростное движение железнодорожного транспорта. Выполнен расчёт указанного пролетного строения по ДБН В.2.3-14-2006. «Сооружения транспорта. Мосты и трубы. Правила проектирования» под железнодорожную нагрузку С14. Подобраны сечения элементов неразрезного металлического пролетного строения со сквозными фермами и выполнены необходимые проверки. Для указанного пролетного строения в программном комплексе разработана модель и исследовано напряженно-деформированное состояние при различных скоростях железнодорожного транспорта по Европейским и национальным нормам. Определены ускорение и прогибы неразрезного металлического пролетного строения со сквозными фермами и выполнены их сравнение с нормативными требованиями. **Результаты.** В результате моделирования в программном комплексе для неразрезного металлического пролетного строения со сквозными фермами определены ускорения и прогибы под действием грузовой и пассажирской нагрузок при различных скоростях движения. Подобраны сечения элементов неразрезного металлического пролетного строения со сквозными фермами. **Научная новизна.** Результаты исследования могут быть применены при разработке национальных нормативных документов по высокоскоростному движению железнодорожного транспорта и при проектировании мостовых сооружений с неразрезными металлическими пролетными строениями со сквозными фермами на участках с ускоренным и высокоскоростным движением железнодорожного транспорта. **Практическая значимость.** Полученные результаты исследования позволят эффективно применять неразрезные металлические пролетные строения со сквозными фермами по типовым проектам на участках с ускоренным и высокоскоростным движением железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: высокоскоростное движение; высокоскоростная магистраль; мостостроение; неразрезное пролетное строение со сквозными фермами; ускорение; перемещение; пролетное строение; металлический мост; модель; железнодорожная нагрузка; метод конечных элементов

REFERENCES

1. Dr. Jean-Paul Rodrigue. High Speed Rail Systems [Electronic resource]. Available at: people.hofstra.edu. – 2017. – Access mode: URL: <https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/appl3en/ch3a1en.html>.
2. Pidtrymka integraciji Ukrainy do Transjevropijskoho transportnoji merezhi TJeM-T: RK.2 Shvydkisnyj zaliznychnyj transport. Zakljuchnyj zvit 2.1, 2010 rik [Support for the integration of Ukraine into the Trans-European Transport Network TEN-T: RK.2 High-speed rail transport. Final Report 2.1, 2010]. pik [Electronic resource]. Available at: <http://www.ten-t.org.ua/ua/>.
3. Ne po dorozh: shho zavazhaje rozvytku shvydkisnogho rukhu v Ukraini [Not on the road: it hinders the development of high-speed traffic in Ukraine]. [Electronic resource]: <https://news.finance.ua>. Available at: <https://news.finance.ua/ua/news/-/304614/ne-po-dorozh-shho-zavazhaje-rozvytku-shvydkisnogho-ruhu-v-ukraini>.
4. VND 32.1.07.000-02. Tymchasova instrukcija z orghanizaciji shvydkisnogho rukhu pasazhyrsjkykh pojizdiv. Vymoghy do infrastruktury ta rukhomogho skladu. Derzhavna administracija zaliznychnogho transportu Ukrainy [GNI 32.1.07.000-02. Temporary instruction on organization of high-speed passenger trains. Requirements for infrastructure and rolling stock. State Administration of Railway Transport of Ukraine]. Kyjiv, Ukrzaliznycja, 2002. 51 p. [Electronic resource]. Available at: <https://studopedia.info/1-31887.html>
5. Barash Ju. S., Ghennnyj O. M., Momot A. V. Analiz roboty shvydkisnogho rukhu v Ukraini [Analysis of the operation of high-speed traffic in Ukraine]. *Zaliznychnyj transport – Railway transport*, 2014, pp. 53-62.
6. EN 1991-2 (2003). Eurocode 1. Actions on structures. P. 2. Traffic loads on bridges.
7. Benyn, A. V. Djjachenko L. K., Smyrnov V. N. Osobennosty proektyrovanyja y stroyteljstva mostov vysokoskorostnoj zheleznodorozhnoj maghystraly «Moskva-Kazan» [Features of designing and building bridges of high-speed railway "Moscow-Kazan"]. *Peterburg. gos. un-t putej soobshhenija – St. Petersburg state un-ty of the way of communication*, 2015, v. 4, – pp. 15-20.
8. EN 1990: Eurocode: Basis of Structural Design
9. Smirnov V. N. *Dinamicheskaja rabota mostov vysokoskorostnyh zheleznodorozhnyh magistralej pri prodol'nyh vozdejsťvijah poezdnoj nagruzki* [Dynamic work of bridges of high-speed railway magistralj with longitudinal effects of train load], monografija [monograph]. SPb. Peterburg, Gos. un-t putej soobshhenija, 2013. 65 p.
10. Smirnov V. N. *Raschjot mostov vysokoskorostnyh zheleznodorozhnyh magistralej na prodol'nye sily* [Calculation of bridges of high-speed railways on longitudinal forces], monografija [monograph]. SPb. Peterburg, Gos. un-t putej soobshhenija, 2013. 65 p.
11. *Novye tehnologii v mostostroenii: mosty na vysokoskorostnyh zheleznodorozhnyh magistraljah*, sb. trudov. Pod red. V. N. Smirnova [New technologies in bridge construction: bridges on high-speed railways, Sat. Works. Ed. V. N. Smirnov]. SPb. Peterburg, Gos. un-t putej soobshhenija, 2013. 61 p.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

12. *DBN V.2.3-14-2006. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektivannya* [State Standard V.2.3-14-2006. Transport constructions. Bridges and pipes. Design rule]. Kyjiv, Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury i zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Publ., 2006. 359 p.

Статтю рекомендовано до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна), д.т.н., проф. М. М. Біляєвим(Україна).

Надійшла до редколегії 20.08.2017.

Прийнята до друку 25.09.2017.

Наукове видання

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

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

Випуск 11

(українською, російською та англійською мовами)

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
КВ № 17811-6661Р від 27.04.2011 р. видане Міністерством юстиції України*

Відповідальні за випуск *В. Д. Петренко, О. Л. Тютькін*
Комп'ютерне верстання *В. Л. Рикіна*

Статті в збірнику друкуються в авторській редакції

Формат 60 × 84 ¹/₈. Ум.друк.арк. 7,58. Тираж 50 пр. Зам. № 51.

Видавництво ПП «Крос-Принт»
49047, м. Дніпро, пров. Верстакобудівельний, 3/4
Свідоцтво ДК №2804 від 26.03.2007 р.

Віддруковано: ФОП Удовиченко О. М. 49080, м. Дніпро,
вул. Донецьке шосе, 15, кв. 531. Тел.: (056) 785-22-31.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру ДК №3660 від 28.12.2009 р.



ISSN 2413-6212 (Online); ISSN 2227-1252 (Print). Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика : Зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2016. Випуск 10. 1–125.