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 12

2017

20946

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 12

НТБ ДІІТу
000866422
ВНЛ

Дніпропетровськ
2017

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В.Лазаряна

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 30.10.2017 р., протокол № 3

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 Дніпропетровсь-
Д 54 кого національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 12. – Дніпропетровськ, 2017. – 103 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

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

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

866422-866423 = (2)

ЗМІСТ

О. О. БОРИСОВ, І. М. БАБІЙ, С. В. КИРИЛЮК, Л. Е. ЛУКАШЕНКО
ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ПО ВИЗНАЧЕННЮ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАХИСНОГО ЕКРАНУ 4

О. О. ДАВИДЕНКО
ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ДЕГРАДАЦІЇ НА ОЦІНКУ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ УКРАЇНИ 10

В. Є. КІСТІОН
ІННОВАЦІЙНІ МОДЕЛІ РЕСТРУКТУРИЗАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ
ІНФРАСТРУКТУРНИХ ПІДПРИЄМСТВ 19

С. В. КЛЮЧНИК
АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ
МЕТАЛЕВИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ 29

В. П. КУПРІЙ, О. Л. ТЮТЬКІН, П. Є. ЗАХАРЧЕНКО
АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРИКЛАДНОЇ ПРОГРАМИ «ЛІРА»
ПРИ РОЗРАХУНКАХ ОПРАВ ТУНЕЛІВ НЕКОЛОВОГО ОКРЕСЛЕННЯ 41

О. О. МАРТИШ, О. П. МАРТИШ, Ф. І. ПАВЛОВ, Н. С. РИНКЕВИЧ, І. О. МИХАЙЛОВА
ПІДВИЩЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ
КАЛЕНДАРНИХ ПЛАНІВ БУДІВНИЦТВА 51

М. В. МИКИТАСЬ, П. П. ТЕСЛЕНКО, С. І. КУШНІР
ЗАГАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ 63

В. О. ПЛОСКИЙ, М. В. МИКИТАСЬ, П. П. ТЕСЛЕНКО, С. І. КУШНІР
СИСТЕМНА ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ:
ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ КЛАСТЕРНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ 70

А. В. РАДКЕВИЧ, І. А. АРУТЮНЯН, Н. О. ДАНКЕВИЧ, Д. В. САЙКОВ
ДЕТЕРМІНАЦІЯ КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ПІДХОДІВ ЩОДО ОБЛІГАТОРНОСТІ
ВПРОВАДЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА
ДЛЯ ВІТЧИЗНЯНИХ ПІДРЯДНИХ ПІДПРИЄМСТВ 78

В. С. СИДОРЕНКО, Є. М. ФЕДОРЕНКО, О. В. ГУБАР, М. А. АРБУЗОВ, В. С. АНДРЄЄВ
РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ВУЗЛА
КОРЕНЕВОГО СКРІПЛЕННЯ СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ 87

С. Д. СИНЧУК
К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ 97

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.131.1:[622.23.054.5:519.872]

О. О. БОРИСОВ[1*], І. М. БАБІЙ[2], С. В. КИРИЛЮК[3], Л. Е. ЛУКАШЕНКО[4]

[1*] Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029, тел. +38 (094) 949 20 83, ел. пошта etinvest@gmail.com, ORCID 0000-0001-6930-3243
[2] Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029, тел. +38 (094) 997 09 69, ел. пошта igor7617@gmail.com, ORCID 0000-0001-8650-1751
[3] Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029, тел. +38 (095) 202 48 07, ел. пошта kirilstani@ukr.net, ORCID 0000-0002-8871-8302
[4] Кафедра технології будівельного виробництва, Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідріхсона, 4, Одеса, Україна, 65029, тел. +38 (048) 723 61 51, ел. пошта larysa.od1946@gmail.com, ORCID 0000-0001-8232-1245

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАХИСНОГО ЕКРАНУ

Мета. Метою даної роботи є складання методики досліджень, на основі якої можливо виконати підбір складу розчину з визначенням фізико-механічних характеристик як тиксотропного, так і затверділого розчину, а також визначення впливу кількості окремих складових на властивості розчинної суміші і захисного екрану на її основі. **Методика.** Методика дослідження полягає в використані адаптованого плану в експериментально-статистичному моделюванні для вирішення конкретних задач, а саме при створенні всередині піщаного масиву міцного протифільтраційного екрану з ухилом в умовах, коли змінюються технологічні параметри. Метод проведення технологічних досліджень: аналітично-експериментальний. **Результати.** Для вирішення завдань аналізу та оптимізації досліджуваних факторних систем в роботі використана теорія математичного моделювання. При цьому розглянуті експериментально-статистичні регресивні моделі, що показують, як змінюється досліджуваний показник (*Y*) при зміні відповідних факторів. **Наукова новизна та практична значимість.** За результатами роботи отримано методику, яка дозволяє при мінімальній кількості матеріалів та експериментів отримувати фізико-механічні показники розчинів та захисного ґрунтобетонного екрану на їх основі.

Ключові слова: захист підземного простору; шнекове буріння; цемент; водопроникність; експериментально-статистичне моделювання

Вступ

Аналізуючи технологію улаштування горизонтального захисного екрана потрібно відзначити, що основними процесами є: процес утворення розущільненої зони в ґрунті, який відбувається в результаті переміщення шнекового обладнання в замкнутому ґрунтовому середовищі і процес заповнення утвореної розущільненої області твердіючим розчином.

Складність завдання створення технології улаштування такого екрану, полягає в тому, що необхідно підібрати такий матеріал, який володів би технологічними властивостями, що дозволяють його перемішати з ґрунтом і, при цьому, після перемішування забезпечував би суцільність екрану і необхідний протифільтраційний захист.

Попередніми дослідженнями, проведеними на лабораторній установці [1-2], встановлено, що з технологічної точки зору застосування твердіючих безпіщаних розчинів виявилося складнішим, ніж застосування цементно-піщаних розчинів. Основна складність полягає в тому, що безпіщані розчини мають значно більшу водовіддачу. Додавання піску і бентоніту в розчинну суміш значно підвищує її водоутримуючу здатність.

Подальші дослідження спрямовані на створення бентоніто-цементно-піщаних розчинів з різними добавками, що забезпечують реалізацію шнекової технології улаштування горизонтальних екранів.

Аналіз досліджень, проведених О. М Галинським і О. М. Чорнухіним [3, 4], М. І. Смородиновим [5], Б. А. Ржаніциним [6], В. Л. Міхєє-

© О. О. Борисов, І. М. Бабій, С. В. Кирилюк, Л. Е. Лукашенко, 2017

вим [7] і рядом зарубіжних фахівців [8-11] показує, що з технологічної точки зору, твердіючий розчин для екрану повинен володіти різними, а іноді і суперечливими властивостями.

На першому етапі приготування і подачі твердіючого розчину до робочого органу, розчин повинен володіти тиксотропними властивостями – бути дуже рухливим і не розшаровуватися в системі подачі розчину до місця укладання.

У зв'язку з тим, що розчин в ґрунт передбачається подавати через отвори, розташовані в направляючій штанзі шнека, розчин повинен мати властивості ін'єкційного розчину, який повинен вільно пройти через систему різноспрямованих отворів.

Коли рідкий ін'єкційний розчин потрапляє в розущільненого піщаний ґрунт, він, як правило, починає інтенсивно поглинати воду з розчину. В зовнішніх умовах, при втраті значної кількості води твердіючий розчин ущільнюється, набуваючи властивості будівельного розчину, залишкове водо-цементне відношення якого значно менше початкового [12].

Мета

Метою даного дослідження є складання методики досліджень та підбір складу розчину з визначенням фізико-механічних показників як тиксотропного, так і затверділого розчину, а також визначення впливу кількості окремих складових (добавок) на властивості розчинної суміші і розчину в затверділому стані.

Методика

Створення всередині піщаного масиву міцного криволінійного екрану в умовах, коли змінюються технологічні параметри. Метод проведення технологічних досліджень: аналітично-експериментальний.

Результати

Для створення якісного захисного екрану, важливим завданням є правильний підбір усіх компонентів твердіючого розчину.

Виходячи з вищесказаного, склади твердіючих розчинів розроблялися на основі цементно-глинистих композицій з включенням тонкодисперсного наповнювача:

- портландцемент ПЦ II / А-Ш-400;
- бентонітовий глинопорошок;
- пісок;
- вода.

Для вирішення завдання підбору складу твердіючого глино-цементно-піщаного розчину визначалися фізико-механічні характеристики, і контролювалося якість вихідних матеріалів на спеціалізованому обладнанні відповідно до діючих стандартів.

В роботах авторів О. М. Галинського [13], О. М. Чорнухіна [14], О. І. Менейлюка та А. Ф. Петровського [15] зазначена велика кількість показників, які досліджуються при роботі з такими типами розчинів. Однак, проаналізувавши ці роботи, нами були обрані тільки ті, які на нашу думку найбільш характеризують параметри якості та надійності конструкції екрану.

Для розчинної суміші в тиксотропному стані (рідкий розчин) визначалися:

- щільність, г/см^3;
- рухливість по конусу АзНІІ, мм;
- термін збереження рухливості розчину, хв.;
- водовідділення, %.

Для затверділого розчину:

- міцність на стиск, кгс/см^2;
- міцність на розтяг при вигині, кгс/см^2;
- щільність, г/см^3;
- водопоглинання за масою,%;
- коефіцієнт фільтрації, див/с.

Для вирішення завдань аналізу та оптимізації досліджуваних факторних систем в роботі використана теорія математичного моделювання. При цьому розглянуті експериментально-статистичні регресивні моделі. Кожна модель - це функція. Вона показує, як змінюється досліджуваний показник (Y) при зміні відповідних факторів (X_i). Форма моделі – поліном (відрізок Тейлора), в який розкладається невідома дослідникові функція, що зв'язує в межах $X_{i\,min} \le X_i \le X_{imax}$ k-факторів $X_i = (X_1, ..., X_k)$ і вихід (відгук системи – Y) [16].

Матеріали попередніх досліджень за технологією улаштування захисного екрану дозволили встановити технологічно розумні межі, в яких можуть змінюватися чинники, і вибрати нульовий рівень і інтервали варіювання факторів. Зазначені величини досить близько характеризують сферу застосування кожного фактору, яка відображає передбачувані технологічні

© О. О. Борисов, І. М. Бабій, С. В. Кирилюк, Л. Е. Лукашенко, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

умови влаштування горизонтального захисного екрана. Обрані для планування експерименту фактори – витрати фібри (X_1), бентонітового глинопорошку (X_2), гідросиліката натрію (X_3), відповідають основним вимогам, що пред'являються до змінних величин. Фактори є керованими, кількісними, сумісними і незалежними один від одного.

Для оптимізації складу, з його описом лінійним рівнянням, інтервал варіювання прийнятий середнім і становив не більше 30 % від області застосування по кожному фактору. Рівні факторів та інтервали їх варіювання наведені в таблиці 1, а планування в натуральних показниках приведено в таблиці 2.

Таблиця 1

Рівні факторів та інтервали їх варіювання

Рівень факторів и інтервал варіювання	Найменування факторів	Фібра	Глино-порошок	Гідросилікат натрію (Na_2SiO_3)
	Кодове позначення	X_1	X_2	X_3
Нульовий	X_0	6	10	12
Інтервал варіювання	δ_i	3	5	6
Верхній	$x_i = +1$	9	15	18
Нижній	$x_i = -1$	3	5	6

Таблиця 2

Планування експерименту в натуральних показниках

Точки плану V	Кодові позначення, X_0			Натуральні змінні			Портландцемент, кг *const*	Пісок, кг *const*	Вода, л *const*
	X_1	X_2	X_3	Фібра*, % X_1	Глино-порошок*, % X_2	Рідке скло*, % X_3			
1	-1	-1	-1	3	5	6	2	6	1,5
2	-1	-1	1	3	5	18	2	6	1,5
3	-1	0	0	3	10	12	2	6	1,5
4	-1	1	-1	3	15	6	2	6	1,5
5	-1	1	1	3	15	18	2	6	1,5
6	0	-1	0	6	5	12	2	6	1,5
7	0	0	-1	6	10	6	2	6	1,5
8	0	0	0	6	10	12	2	6	1,5
9	0	0	□	6	10	18	2	6	1,5
10	0	1	0	6	15	12	2	6	1,5
11	1	-1	-1	9	5	6	2	6	1,5
12	1	-1	1	9	5	18	2	6	1,5
13	1	0	0	9	10	12	2	6	1,5
14	1	1	-1	9	15	6	2	6	1,5
15	1	1	1	9	15	18	2	6	1,5

© О. О. Борисов, І. М. Бабій, С. В. Кирилюк, Л. Е. Лукашенко, 2017

Наукова новизна та практична значимість

За результатами роботи отримано методику, яка дозволяє при мінімальній кількості матеріалів та експериментів отримувати фізико-механічні показники розчинів та захисного ґрунтобетонного екрану на їх основі.

Висновки

1. Проведено дослідження з визначення складових компонентів розчину для захисного екрану та запропоновані основні його характеристики, що будуть відображати якісні та кількісні показники.

2. Запропонована методика полягає в використані адаптованого плану в експериментально-статистичному моделюванні для вирішення конкретних задач, а саме при створенні всередині піщаного масиву міцного протифільтраційного екрану з ухилом в умовах, коли змінюються технологічні параметри.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Петровський, А. Ф. Результати експериментів з підбору ін'єкційного розчину на основі бентонітового порошку [Текст] / А. Ф. Петровський, О. О. Борисов, І. М. Бабій // Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». – Вінниця, 2016. – № 2 (21). – С. 5-9.
2. Петровский, А. Ф. Разработка оборудования и проведение экспериментальных исследований инъекционной технологии [Текст] / А. Ф. Петровский // Зб. наук. праць «Вісник ОДАБА». – Одеса : ОДАБА, 2016. Вип. 63. – С. 45-50.
3. Галінський, О. М. Методичні рекомендації з улаштування горизонтальних екранів [Текст] / О. М. Галінський, О. М. Чернухін. – Київ : НДІБВ, 2011. – 20 с.
4. Галинский, А. М. Подбор состава твердеющего раствора для устройства горизонтального противофильтрационного экрана [Текст] / А. М. Галинский // Строительные материалы и изделия. – Киев : НИИСМИ, 2015. – № 3-4. – С. 24-29.
5. Основания и фундаменты. Изд. 3-е, доп. и перераб. [Текст] / М. И. Смородинов, Б. С. Федоров, Б. А. Вканицын и др.; под общ. ред. М. И. Смородинова. / Справочник строителя. – Москва : Стройиздат, 1983. – 367 с.
6. Ржаницын, Б. А. Тампонажные растворы для создания противофильтрационных завес [Текст] / Б. А Ржаницын // Материалы к совещанию по закреплению и уплотнению грунтов. – Новосибирск, 1966. – С. 470-474.
7. Михеев, В. Л. Технологические свойства буровых растворов [Текст] / В. Л. Михеев. – Москва : Недра, 1979. – 239 с.
8. Lorenz, H. Erfahrungen mit thixotropen Flüssigkeiten in Grundbau / H. Lorenz. – Die ßautechnik, 1953. – n. 8 – pp. 232-236.
9. Lorenz H. Über die Verwendung thixotroper Flüssigkeiten in Grundbau [Текст] / Lorenz H. – Bautechnik, 1950.
10. Slurry-trench cuttoff wall pierces land-lide debris to keep site dry [Текст]. – Engineering News-Record, 1975. – v. 195. – No. 20. – 53 p.
11. Winter, C. P. Slurry Trench Construction. The Military Engineer [Текст] / Winter C. P. – Vol. 68. – No 446. – Nov. 1976. – pp. 437- 440.
12. Соколович, В. Е. О взаимодействии глинисто-силикатных растворов с поверхностью пространства закрепляемых песков [Текст] / В. Е. Соколович, Е. Л. Арджеванидзе // Материалы УН Всесоюзного совещания по закреплению и уплотнению грунтов. – Ленинград : Энергия, 1971. – С. 200-204.
13. Галинський, О. М. Наукові основи створення технологій улаштування протифільтраційних екранів в грунті плоским робочим органом [Текст] : автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.23.08 / Галинський О. М. ; ОДАБА. – Одеса, 2016. – 48 с.
14. Чернухін, О. М Дослідження процесу укладки тампонажних матеріалів у порожнину для створення горизонтального екрану під спорудою [Текст] / О. М. Чернухін, О. М. Галінський, І. О. Мандзюк // Нові технології в будівництві. – Київ : НДІБВ, 2002. – № 1 (3). – С. 44-49.
15. Петровський, А. Ф. Ін'єкційна технологія захисту підземного простору [Текст] : автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.23.08 / Петровський А. Ф. ; ОДАБА. – Одеса, 2017. – 44 с.
16. Вознесенский, В. А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ [Текст] / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Б. Л. Огарков. – Київ : Вища школа, 1989. – 327 с.

А. А. БОРИСОВ [1*], И. Н. БАБИЙ [2], С. В. КИРИЛЮК[3], Л. Э. ЛУКАШЕНКО[4]

[1*] Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры,

© О. О. Борисов, І. М. Бабій, С. В. Кирилюк, Л. Е. Лукашенко, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

ул. Дидрихсона, 4, Одесса, Украина, 65029, тел. +38 (094) 949 20 83, эл. почта etinvest@gmail.com,
ORCID 0000-0001-6930-3243
[2] Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
ул. Дидрихсона, 4, Одесса, Украина, 65029, тел. +38 (094) 994 09 69, эл. почта igor7617@gmail.com,
ORCID 0000-0001-8650-1751
[3] Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
ул. Дидрихсона, 4, Одесса, Украина, 65029, тел. +38 (095) 202 48 07, эл. почта kirilstani@ukr.net,
ORCID 0000-0002-8871-8302
[4] Кафедра технологии строительного производства, Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
ул. Дидрихсона, 4, Одесса, Украина, 65029, тел. +38 (048) 723 61 51, эл. почта larysa.od1946@gmail.com.
ORCID 0000-0001-8232-1245

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА

Цель. Целью данной работы является составление методики исследований, на основе которой возможно выполнить подбор состава раствора с определением физико-механических характеристик как тиксотропного, так и затвердевшего раствора, а также определить влияние количества отдельных составляющих на свойства растворной смеси и защитного экрана на ее основе. **Методика.** Методика исследования заключается в использование адаптированного плана экспериментально-статистического моделирования для решения конкретных задач, а именно при создании внутри песчаного массива надежного, наклонного противофильтрационного экрана в условиях, когда меняются технологические параметры. Метод проведения технологических исследований: аналитически-экспериментальный. **Результаты.** Для решения задач анализа и оптимизации исследуемых факторных систем в работе использована теория математического моделирования. При этом рассмотрены экспериментально-статистические регрессионные модели, которые показывают, как меняется исследуемый показатель (*Y*) при изменении соответствующих факторов. **Научная новизна.** По результатам работы получено методику, которая позволяет при минимальном количестве материалов и экспериментов, получать физико-механические показатели растворов и защитного грунтобетонного экрана на их основе.

Ключевые слова: защита подземного пространства; шнековое бурение; цемент; водопроницаемость; экспериментально-статистическое моделирование

A. BORISOV[1*], I. BABIJ[2] , S. KYRYLIUK[3], L. LUKASHENKO[4]

[1*] Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrihsona st., 4, Odessa, Ukraine, 65029,
tel. +38 (094) 949 20 83, e-mail etinvest@gmail.com, ORCID 0000-0001-6930-3243
[2] Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrihsona st., 4, Odessa, Ukraine, 65029,
tel. +38 (094) 997 09 69, e-mail igor_babiy76@mail.ru, ORCID 0000-0001-8650-1751
[3] Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrihsona st., 4, Odessa, Ukraine, 65029,
tel. +38 (095) 202 48 07, e-mail kirilstani@ukr.net, ORCID 0000-0002-8871-8302
[4] Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrihsona st., 4, Odessa, Ukraine, 65029,
tel. +38 (048) 723 61 51, e-mail larysa.od1946@gmail.com, ORCID 0000-0001-8232-1245

PLANNING OF EXPERIMENTAL RESEARCHES ON DETERMINATION OF PROTECTIVE SCREEN CHARACTERISTICS

Purpose. The purpose of this work is to develop a research methodology, on the basis of which it is possible to perform the selection of the composition of the solution with the determination of the physicomechanical characteristics of both the thixotropic and hardened solution, as well as to determine the effect of the number of individual components on the properties of the mortar mixture and the protective screen based on it. **Methodology.** The research method is to use an adapted plan of experimental-statistical modeling to solve specific problems, namely when creating a reliable, inclined filtering screen inside the sand massif under conditions when technological parameters change. Technological research method: analytical and experimental. **Findings.** To solve the problems of analysis and optimization of the factor systems under study, the theory of mathematical modeling was used in the work. At the same time, experimental-statistical regression models are considered, which show how the indicator under study (y) changes as the relevant factors change. **Originality.** According to the results of the work, a tech-

© О. О. Борисов, І. М. Бабій, С. В. Кирилюк, Л. Е. Лукашенко, 2017

nique has been obtained that allows, with a minimum amount of materials and experiments, to obtain the physicomechanical indicators of solutions and a protective soil-concrete screen based on them.

Keywords: protection of underground space; auger drilling; cement; permeability; experimental statistical modeling

REFERENCES

1. Petrovskiy A.F., Borisov O.O., Babiy I.M. Rezultati eksperimentiv z pidboru in'ektsiynogo rozchinu na osnovi bentonitovogo poroshku [Results of experimentation with the єn'єktsiynogo rotsinom rosti on the basis of bentonitovogo powder]. *Naukovo-tehnichniy zbirnik «Suchasni tehnologiyi, materiali i konstruktsiyi v budivnitstvi» – Scientific and technical collection «Modern technologies, materials and constructions in construction»*, Vinnitsya, 2016. no. 2 (21), pp. 5-9.
2. Petrovskiy A. F. Razrabotka oborudovaniya i provedenie eksperimentalnyih issledovaniy in'ektsionnoy tehnologii [Development of equipment and conducting experimental studies of injection technology]. *Zbirnik nauk. prats «Visnik ODABA» – Collection of sciences. Works of the «ODABA Bulletin»*. Odesa, ODABA, 2016, issue 63. pp.45-50.
3. Ghalinsjkyj O. M., Chernukhin O. M. *Metodychni rekomendaciji z ulashtuvannja ghoryzontaljnykh ekraniv* [Methodical recommendations on the arrangement of horizontal screens]. Kyjiv, NDIBV Publ., 2011. 20 p.
4. Galinskiy A. M. Podbor sostava tverdeyuschego rastvora dlya ustroystva gorizontalnogo protivofiltratsionnogo ekrana [Selection of the composition of the hardening solution for the device of the horizontal impervious screen]. *Stroitelnyie materialyi i izdeliya – Building materials and products*. Kyjiv, NIISMI, 2015. no. 3-4, pp. 24-29.
5. Smorodinov M. I., Fedorov B. S., Vkanitsyin B. A. i dr. *Osnovaniya i fundamentyi. Spravochnik stroitelya* [Bases and foundations. Builder's Guide]. Moskow, Stroyizdat Publ., 1983. 367 p.
6. Rzhanitsyin B. A. Tamponazhnyie rastvoryi dlya sozdaniya protivofiltratsionnyih zaves [Cement backing solutions for creating impervious screens]. Materialyi k soveschaniyu po zakrepleniyu i uplotneniyu gruntov [Materials for the meeting on the consolidation and compaction of soils]. Novosibirsk, 1966. pp. 470-474.
7. Miheev V. L. *Tehnologicheskie svoystva burovyih rastvorov* [Technological properties of drilling fluids]. Moskow, Nedra Publ., 1979. 239 p.
8. Lorenz H. Erfahrungen mit thixotropen Flüssigkeiten in Grundbau - Die ßautechnik, 1953. n. 8. pp. 232-236.
9. Lorenz H. Über die Verwendung thixotroper Flüssigkeiten in Grundbau - Bautechnik, 1950.
10. Slurry-trench cuttoff wall pierces land-lide debris to keep site dry. Engineering News-Record, 1975. v. 195. No. 20. 53 p.
11. Winter C. P. Slurry Trench Construction. The Military Engineer, Vol. 68. No 446. Nov. 1976. pp. 437-440.
12. Sokolovich V. E., Ardzhevanidze E. L. O vzaimodeystvii glinisto-silikatnyih rastvorov s poverhnostyu prostranstva zakreplyaemyih peskov [On the interaction of clay-silicate solutions with the surface space of fixed sands]. Materialyi Vsesoyuznogo soveschaniya po zakrepleniyu i uplotneniyu gruntov [Materials of the All-Union Conference on the consolidation and compaction of soils]. Leningrad, Energiya, 1971. pp. 200-204.
13. Galinskiy O. M. Naukovi osnovi stvorennya tehnologiy ulashtuvannya protifiltratsiynih ekraniv v grunti ploskim robochim organom: avtoreferat dis. doktora tehnichnih nauk: 05.23.08 [The foundations of the foundational technology of the extension of propagation of scaffolding in the ground by a flat working body: author. dis. Dr. Techn. Sciences: 05.23.08]. Odesa, ODABA, 2016. 48 p.
14. Chernuhin O. M, Galinskiy O. M., Mandzyuk I. O. Doslidzhennya protsesu ukladki tamponazhnih materialiv u porozhninu dlya stvorennya gorizontalnogo ekranu pid sporudoyu [Investigation of the laying of tampon materials into the cavity to create a horizontal screen under construction]. *Novi tehnologiyi v budivnitstvi – New technologies in construction*. Kyjiv, NDIBV, 2002. no. 1 (3). pp. 44-49.
15. Petrovskiy A. F. In'ektsiyna tehnologiya zahistu pidzemnogo prostoru: avtoreferat dis. doktora tehnIchnih nauk: 05.23.08 [Injection technology for protecting underground space: author. dis. Dr. Techn. Sciences: 05.23.08]. Odesa, ODABA, 2017. 44 p.
16. Voznesenskiy V. A., Lyashenko T. V., Ogarkov B. L. *Chislennyie metodyi resheniya stroitelno-tehnologicheskih zadach na EVM* [Numerical methods for solving construction and technological problems on a computer]. Kyjiv, Vischa shkola Publ., 1989. 327 p.

Надійшла до редколегії 04.09.2017
Прийнята до друку 18.09.2017

© О. О. Борисов, І. М. Бабій, С. В. Кирилюк, Л. Е. Лукашенко, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21:624.745.2-044.74

О. О. ДАВИДЕНКО*

* Кафедра «Мости і тунелі», Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, Київ, Україна, 01010, тел. +38 (050) 471 33 99, ел. пошта oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua, ORCID 0000-0003-0176-3256

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ДЕГРАДАЦІЇ НА ОЦІНКУ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ УКРАЇНИ

Мета. Проаналізувати вплив швидкості деградації на оцінку залишкового ресурсу автодорожніх мостів України. **Методика.** Теоретичне дослідження. **Результати.** Доведено значний вплив швидкості деградації на оцінку залишкового ресурсу як єдиного керуючого параметру Марковської моделі прогнозу. **Наукова новизна.** Вперше встановлено межі похибки прогнозу залишкового ресурсу при сталій натурній швидкості деградації. **Практичне значення.** Отримані результати являються практичним інструментом управління надійністю і ресурсом залізобетонних автодорожніх мостів.

Ключові слова: автодорожні мости; довговічність; життєвий цикл; інтенсивність відмов; залишковий ресурс; швидкість деградації

Вступ

Є загально визнаним що стратегія експлуатації споруд має опиратися на реалістичний прогноз ресурсу елементів. Саме моделі прогнозування дадуть теоретичний базис фінансування експлуатації споруд таким, щоби протягом терміну служби зберегти параметри функціональності, надійність, безпеку експлуатації, зберегти оточуюче середовище, архітектурні, естетичні і історичні цінності споруди.

Досвід експлуатації залізобетонних мостів показав, що в Україні середній мінімальний строк служби більшості прогонових будов складає всього 36 років [7]. По даним обласних експлуатаційних організацій кількість мостів, стан яких не відповідає нормальним умовам експлуатації, вимагають капітального ремонту або реконструкції, в 1996 році становила 220, за станом на 01.01.2001 р. кількість таких мостів збільшилася до 330, а на 01.01.2004 р. становила вже 428. Сьогодні 90-95 % залізобетонних прогонових будов мостів мають дефекти бетону й арматури, які знижують довговічність і несучу здатність.

Причини зниження очікуваного ресурсу є на всіх стадіях життєвого циклу споруд. Низький технічний стан та мала довговічність залізобетонних мостів пояснюються, в першу чергу, низькою якістю будівництва та відсутністю належної системи експлуатації.

Проблема безпечної експлуатації мостів стала нагальною ще в часи Радянського Союзу. В останнє десятиріччя проблема ще загострилася в силу низки несприятливих причин. Наведемо деякі з них: система експлуатації не відповідає сучасним технічним нормам і не володіє потрібними ресурсами для правильного та своєчасного догляду за спорудами; система фінансування дорожньої мережі України не дає змоги застосовувати сучасні та інноваційні технології з експлуатації і будівництва мостів; в Україні немає чіткого стратегічного плану вдосконалення, підтримання та експлуатації автодорожніх мостів.

Проблема довговічності залізобетонних елементів є предметом вивчення великої кількості науковців, в тому числі і українських. В сучасних умовах з'являється можливість і потреба в поєднанні наукового базису досліджень деградації залізобетону з настановами з проектування, умовами будівництва і експлуатації та отримання теоретичної моделі оцінки ресурсу залізобетонних елементів мостів, які стали б основою в розробці практичного апарату управління життєвим циклом мостів.

Мета

Метою роботи є аналіз впливу швидкості деградації на оцінку залишкового ресурсу залізобетонних автодорожніх мостів, як єдиного керуючого параметра моделі оцінки ресурсу елемента.

© О. О. Давиденко, 2017

Методика

Фундаментальні принципи розбудови марковських моделей накопичення пошкоджень

Більше 100 років тому, було опубліковано стохастичну теорію [13] академіка Російської академії наук А. А. Маркова. За цей час теорія інтенсивно розвивалася по всьому світу і стала базою не тільки для моделей накопичення пошкодження, а і в багатьох інших напрямах науки – від управління економікою до медичних прогнозів.

В загальному випадку випадковий процес $X(t)$, $t \in T$ називається марковським, якщо для будь-яких значень $t_1 < t_2 < \ldots < t_N$, що належать T, визначена одновимірна умовна функція розподілу.

$$F_1(x_N; t_N / x_1, \ldots, x_{N-1}; t_1, \ldots, t_{N-1}) = F_1(x_N; t_N / x_{N-1}; t_{N-1}). \quad (1)$$

Тобто, процес є марковським, якщо стан випадкового процесу $X(t)$ в поточний момент часу t_N залежить лише від стану в момент часу t_{N-1}.

Поширеними критеріями класифікації марковських випадкових процесів є тип області T визначення аргументу і тип простору станів S.

В моделях накопичення пошкоджень, що застосовуються для прогнозування довговічності транспортних споруд, прийнято тип області T приймати за час в роках, а тип простору S, приймати за процес деградації, який може бути визначений технічним станом споруди.

Зазвичай виділяють 4 основні класи марковських випадкових процесів: ланцюг Маркова; марковські послідовності; дискретні марковські процеси; неперервні марковські процеси.

Найпоширеніша модель накопичення пошкоджень базується на ланцюгу Маркова. Вважається, що марковські послідовності, з достатньою для практичних цілей точністю, можна розглядати як ланцюги Маркова з неперервним часом [1, 5, 14, 15]. Вибір саме ланцюга Маркова як моделі деградації в дослідженнях багатьох вчених пояснюється такими перевагами:

– розгляд відношення дискретного стану до наслідків деградації в повністю ймовірнісний спосіб;

– можливість опису паралельних процесів деградації, що залежать від часу (наприклад: корозія арматури і одночасно руйнування захисного шару), як захист споруд лакофарбовим покриттям, які знаходяться в процесі зносу;

– можливість ефективно об'єднати послідовно процеси деградації, такі, наприклад, як депасивація арматури від карбонізації та забруднення хлоридами;

– служити інструментом оцінки ризику шляхом чисельного визначення ймовірності виникнення подій (відмов).

В рамках дослідження систему відмов, що є наслідком зносу елемента споруди, будемо розглядати як потік випадкових дискретних подій марковського ланцюга. Розглядається процес з «якісними станами». Роль випадкової події відіграє «випадковий дискретний стан системи».

Еволюцію системи будемо описувати марковським дискретним процесом з безперервним часом [1, 6]. Система може знаходитися послідовно у станах $S_1, S_2, \ldots, S_n$, а переходи з одного дискретного стану в інший здійснюються у моменти часу $t_1, t_2, \ldots, t_{n-1}$.

Результати

Функція інтенсивності відмов

Принципово важливий аспект моделі прогнозу залишкового ресурсу – питання про визначення функції інтенсивності відмов $\lambda(t)$ – швидкості деградації іншими словами [1, 5]. Принципово важливий тому, що в представленій марковській моделі процес управляється тільки одним параметром.

Для дослідження скористаємося сучасним підходом в теорії надійності в функції часу (time-dependent reliability), так званою «функцією інтенсивності відмов» (hazard function) [1, 4, 5, 17, 18, 20]. В сучасній класичній теорії надійності поняття випадкової функції вводиться як ще одна міра надійності [22]. Дослідження обмежується залізобетонними елементами мостів.

В сучасній теорії надійності поняття «функція інтенсивності відмов» сьогодні є класичним і вводиться як ще одна міра надійності в функції часу [22, 28]. Тут кількісною мірою надійності, параметром надійності, виступає ймовірність того, що відмова елемента споруди не відбудеться протягом часу експлуатації. В інших термінах – це функція часу, яка дає аналітичну залежність росту ймовірності відмови протягом життєвого циклу експлуатації.

© О. О. Давиденко, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

Поняття «функція інтенсивності відмов» відомо давно, застосовувалось вже на початку минулого сторіччя в багатьох сферах, починаючи з електротехнічних пристроїв або медичних прогнозів до соціальних проблем, наприклад в такій екзотичній задачі як «прогноз часу повернення рецидивіста до тюрми». Проте в оцінці надійності конструкцій термін вперше з'являється в аеронавтиці США тільки в 50-х роках.

У загальному випадку швидкість деградації є випадкова функція часу.

$$\frac{dP(i,t)}{dt} = P(i,t)\cdot E\,, \qquad (2)$$

де $P(i,t)$ – матриця ймовірності переходу; E – матриця інтенсивностей переходу (швидкостей деградації).

Однак прийняття швидкості деградації як функції часу, призводить до того, що диференціальні рівняння (2) моделі стають нелінійними, не мають розв'язку в замкнутій формі і розробнику доводиться вдатися до досить складного чисельного розв'язку [1]. З іншого боку, сьогодні мало відомо якою насправді є функція інтенсивності відмов елементів споруд $\lambda(t)$. Тому для простоти розв'язку часто застосовується припущення $\lambda(t)$ = const.

Все-таки отримання значення постійного параметра інтенсивності відмов є не простим завданням. В принципі можна отримати цей параметр регресивним аналізом даних спостереження накопичення пошкоджень [26, 27], проте в реальних випадках елементів споруд розкид настільки великий, що скористатися отриманим не можна. Тут також немає стандартної процедури і доводиться досліднику шукати спеціальні прийоми визначення цього основного параметра моделі.

Якою в дійсності є $\lambda(t)$ – функція інтенсивності відмов конструкцій споруд невідомо. Популярним є теза про те, що параметр $\lambda(t)$ описується випадковою функцією часу, яка має форму приблизно таку, як показано на рис. 1 (В. В. Болотін в [4]).

На рис. 1 T_0 – початковий період експлуатації, T – основний період, бездефектної експлуатації, $T_к$ – кінцевий період експлуатації, характерний інтенсивним розвитком пошкоджень.

Ніяких кількісних співвідношень між цими періодами не наводиться в монографії [4]. Складається враження, що наведена графічна залежність є характерною для механічних та електро-технічних систем. Якою є функція $\lambda(t)$ для елементів транспортних споруд відповідь може дати 25 регресивний аналіз виходу із ладу елементів споруд. Сьогодні ми маємо достатньо репрезентативні вибірки для такого аналізу. В роботі [12] була зроблена спроба встановити функцію інтенсивності відмов.

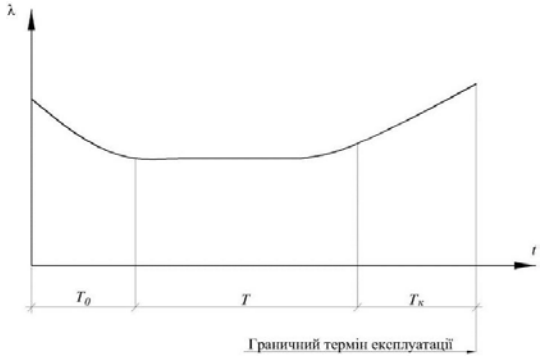

Рис. 1. Типова крива функції інтенсивності відмов [4]

Подібний вид мають криві функції інтенсивності відмов в класичних зарубіжних монографіях з надійності систем [1, 21, 23, 25, 28]. В англомовній літературі крива має усталену назву – «U-подібна крива» (bathtube curve).

Виконаний аналіз великої кількості публікацій з проблеми дає підстави стверджувати що *U*-подібна крива функції інтенсивності відмов наведена В. В. Болотіним характерна для технічних систем механічних, електричних, електронних тощо. Що стосується кривої для елементів будівельних конструкцій то вона має дещо іншу форму – визначення яку саме – і є завданням цього дослідження.

В літературі англійською, французькою, російською мовами ми не знайшли прикладу кривої функції інтенсивності відмов елементів споруд. Показово, що навіть в монографії В. В. Болотіна [2] яка має назву «Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений» не наведено ні одного прикладу кривої з числовими параметрами для елементів будівельних конструкцій.

Натомість є публікації в яких взагалі виключається з розгляду період пристосування, а сама крива апроксимується ломаною лінією з двох відтинків, як наприклад, в монографіях [3,

© О. О. Давиденко, 2017

23] (рис. 2) де показані графіки функції інтенсивності відмов для електричних та механічних систем.

Очевидно, що параметричні характеристики функції інтенсивності відмов є ключом для коректного реалістичного прогнозу залишкового ресурсу елементів споруд. Нам необхідні теоретичні знання не тільки середньої інтенсивності відмов, а і визначення часу (періоду) життєвого циклу експлуатації протягом якого інтенсивності відмов є постійною. Для цього є потреба у визначенні не тільки виду функції інтенсивності відмов, а також її числових параметрів. Детально цю проблему висвітлено в дослідженні [10].

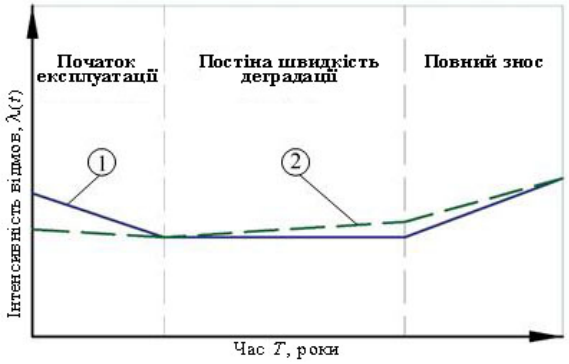

Рис. 2. Функції інтенсивності відмов для електричних та механічних систем:

1 – функція інтенсивності відмов для електричних систем; 2 – функція інтенсивності відмов для механічних систем

Наукова новизна та практична значимість

Вплив швидкості деградації на оцінку залишкового ресурсу автодорожніх мостів

Для побудови функції інтенсивності відмов автодорожніх мостів України використаємо статистичні дані для всіх типів мостів отримані в дослідженнях [7, 8, 9].

В нашому дослідженні будемо використовувати натурні середні значення елементів мостів всіх типів табл. 1.

Таблиця 1

Швидкість деградації змінна у часі для всіх типів мостів

Швидкість деградації, λ			
Стан 2	Стан 3	Стан 4	Стан 5
0,028	0,030	0,036	0,042

З табл. 1 очевидно, що швидкість деградації в часі змінна для кожної групи мостів, що поділені за технічними станами, це пояснюється наступними факторами: особливостями проекту, якістю будівництва, умовами експлуатації та ін.

У нашому експерименті, для більш наглядного відображення впливу швидкості деградації на оцінку залишкового ресурсу, робимо припущення, що швидкість деградації є стала, і визначальним фактором для групи є не технічний стан, а саме швидкість деградації. Тобто, початок визначення залишкового ресурсу для кожної групи мостів буде час досягнення технічного стану 2, 3, 4, 5, який фіксується на час обстеження. Для визначення залишкового ресурсу будемо користуватися методикою представленою в нормативному документі ДСТУ-Н [11].

Щоб дослідити вплив швидкості деградації на оцінку залишкового ресурсу визначену інтенсивність відмов (табл. 1) підставимо в функцію деградації [11].

$$P_t = 0,008333(\lambda t)^k e^{-\lambda t}, \qquad (3)$$

де P_t – ймовірність того, що елемент перейде в стан k протягом часу $t < T_k$: λ – параметр процесу інтенсивність відмов (швидкість деградації).

За результатом розв'язку побудовано теоретичні криві при умові, що інтенсивність відмов є постійною на кожному з експлуатаційних станів (рис. 3).

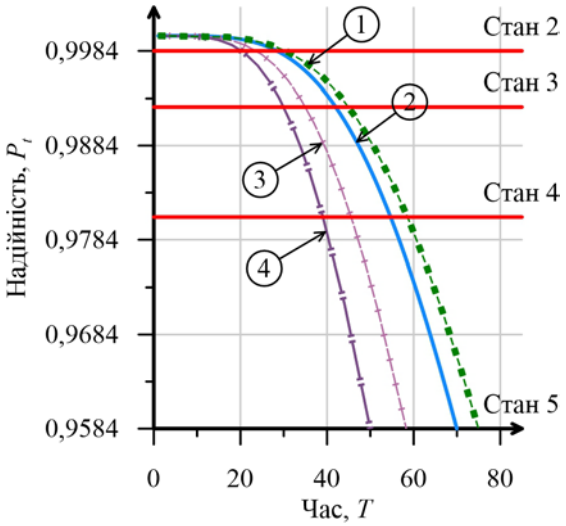

Рис. 3. Прогноз залишкового ресурсу:

1 – λ = 0,028; 2 – λ = 0,030;

3 – λ = 0,036;4 – λ = 0,042

© О. О. Давиденко, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

Таблиця 2

Вплив швидкості деградації на прогноз життєвого циклу експлуатації

Швидкість деградації, λ	Прогноз життєвого циклу *T*, роки			
	Стан 2	Стан 3	Стан 4	Стан 5
0,028	**30**	45	59	75
0,030	28	**42**	56	70
0,036	24	35	**46**	58
0,042	20	30	40	**50**

У табл. 2 зведено показники прогнозу життєвого циклу експлуатації автодорожніх мостів для заданих швидкостей деградації. Основна діагональ таблиці – статистичні дані середнього віку мостів поділених за технічним станом. Вплив експлуатаційних втручань на підвищення надійності не враховується. Тобто є група мостів або конкретний міст для яких прогнозується час досягнення технічного стану за деяким режимом експлуатації при сталій швидкості деградації.

Таблиця 3

Вплив швидкості деградації на оцінку залишкового ресурсу

Швидкість деградації, λ	Залишковий ресурс *T*, роки		
	Стан 2-5	Стан 3-5	Стан 4-5
0,028	45	30	16
0,030	42	28	14
0,036	34	23	12
0,042	30	20	10

У табл. 3 наведено залишковий ресурс мостів, що поділені на групи за натурною швидкістю деградації [7, 8, 9, 10]. Мається на увазі, що при сталій швидкості деградації міст який знаходиться у другому технічному стані перейде у п'ятий технічний стан протягом 45 років.

Вплив експлуатаційних втручань (поточний ремонт, капітальний ремонт, реконструкція) на підвищення надійності мостів неможливо відобразити в моделі прогнозу ДСТУ-Н [11] через низку причин: відсутність таких статистичних даних в базі даних АЕСУМ; відсутність вимоги визначення надійності споруди у складі проектної документації на поточний ремонт, капітальний ремонт, реконструкцію; модель пристосована для оцінки залишкового ресурсу за умови сталої швидкості деградації.

Проблемою врахування експлуатаційних втручань на прогноз життєвого циклу мостів займається американський вчений Д. Франгопол. У своїй роботі [19] він відображає (рис. 4), як впливають експлуатаційні заходи на прогноз терміну служби моста.

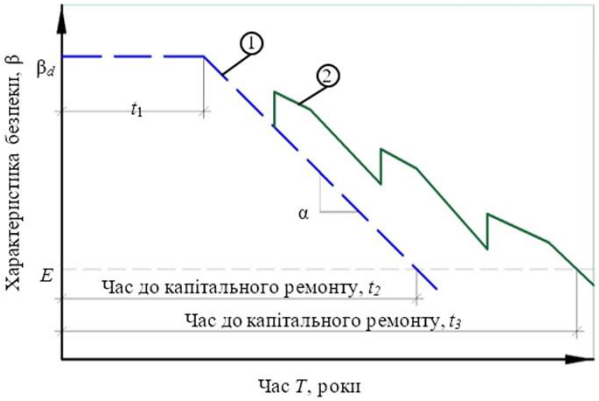

Рис. 4. Графік деградації за Д. Франгополом:
1 – крива деградації з експлуатаційними заходами; 2 – крива деградації без експлуатаційних заходів; t_1 – час до початку накопичення пошкоджень; α – показник швидкості деградації (кут нахилу лінії) при відсутніх експлуатаційних заходів

На рис. 4 β_E – гранично допустимий рівень експлуатації, що для мостів України β_E = 1,72, після досягнення якого необхідно виконати капітальний ремонт або реконструкцію споруди. Час досягнення граничного рівня характеристики безпеки для мостів за відсутності експлуатаційних заходів – t_2; для мостів з врахуванням експлуатаційних заходів – t_3.

Висновки

1. Швидкість деградації (інтенсивність відмов) є єдиним керуючим параметром Марковської моделі ДСТУ-Н [11] прогнозу залишкового ресурсу мостів. Швидкість деградації неопосередковано включає в себе всі можливі впливи (ширина розкриття тріщини, дефекти, недоліки будівництва та проекту, погодні умови тощо) на споруду протягом певного часу експлуатації і визначається на основі заключення технічного звіту обстеження мостів.

2. Швидкість деградації має значний вплив на прогноз залишкового ресурсу та життєвого циклу загалом. Виконані нами дослідження показують, що при заданих натурних значеннях

© О. О. Давиденко, 2017

інтенсивності відмов залишковий ресурс знаходиться в межах 6-15 років, а прогноз життєвого циклу в межах 0-25 років. При змінній швидкості деградації діапазон прогнозу між моделлю ДСТУ-Н [11] і натурними даними буде в межах 3-25 років і це тільки для $\lambda = 0{,}028$. [10].

3. В моделі ДСТУ-Н [11], показник інтенсивності відмов приймається сталим, незалежним від часу $\lambda = \lambda(t)$. Така особливість моделі з одного боку спрощує її застосування, а з іншого не відповідає дослідженням, які вказують, що швидкість деградації є залежною від часу і в процесі експлуатації змінюється [10]. Застосування в моделі прогнозу змінної швидкості деградації може значно зменшити похибку в оцінці залишкового ресурсу мостів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богданофф, Дж. Вероятностные модели накопления повреждений [Текст] / Дж. Богданофф, Ф. Козин / пер. с англ. С. А. Тимашева / под. ред. С. А. Тимашева. – Москва : Мир, 1989. – 344 с.
2. Болотин, В. В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений [Текст] / В. В. Болотин. – Москва : Стройиздат, 1971. – 255 с.
3. Болотин, В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций [Текст] / В. В. Болотин. – Москва : Машиностроение, 1984. – 312 с.
4. Болотин, В. В. Ресурс машин и конструкций [Текст] / В. В. Болотин. – Москва : Машиностроение, 1990. – 446 с.
5. Вентцель, Е. С. Исследование операций [Текст] / Е. С. Вентцель. – Москва : Советское радио, 1972. – 552 с.
6. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учеб. пособие для студ. вузов. 3-е изд., перераб. и доп. [Текст] / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – Москва : Издательский центр «Академия», 2003. – 464 с.
7. Давиденко, О. О. Аналіз довговічності автодорожніх мостів України [Текст] / О. О. Давиденко // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону. – Київ, 2013. – Вип. 78. – С. 225-235.
8. Давиденко, О. О. Оцінка технічного стану і прогнозування залишкового ресурсу автодорожніх мостів України [Текст] / О. О. Давиденко // Автошляховик України. – Київ, 2014. – Вип. 237. – С. 29-35.
9. Давиденко, О. О. Статистичний прогноз технічного стану автодорожніх мостів України [Текст] / О. О. Давиденко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – Дніпропетровськ, 2016. – Вип. 10. – С. 4-13.
10. Давиденко, О. О. Функція інтенсивності відмов елементів споруд [Текст] / О. О. Давиденко // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків, 2017. – Вип. 167. – С. 88-96. ISSN 2413-3795, 1994-7852. GICID 71.0000.1500.3635. DOI 10.18664
11. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012. Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. [Текст]. – Надано чинності 2013-07-01. Вид. офіц. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. – 116 с.
12. Лантух-Лященко, А. І. Оцінка надійності споруди за моделлю марковського випадкового процесу з дискретними станами [Текст] / А. І. Лантух-Лященко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Київ : Український транспортний університет, 1999. – Вип. 57. – С. 183-188.
13. Марков, А. А. Исчисление вероятностей. 2-е изд. [Текст] / А. А. Марков. – Санкт-Петербург : тип. Имп. акад. наук, 1908. – 284 с.
14. Романовский, В. И. Дискретные цепи Маркова [Текст] / В. И. Романовский. – Москва, Ленинград, 1949. – 436 с.
15. Феллер, В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения: в 2-х т. / пер. с англ. [Текст] – Москва : Мир, 1984. – Т. 1. – 528 с.
16. Ang A. H-S., Tang, W. H. Probability Concepts in Engineering Planning and Design: Decision, Risk and Reliability. Vol. II. New York: John Wiley and Sons, 1984. – 562 p.
17. Augusti G., Ciampoli M., Frangopol D. M. Optimal planning of retorting interventions on bridges in a highway network. *Engineering Structures*. 1998. Vol. 20. No. 11. – pp. 933-939.
18. Faber M. H. Basics of Structural Reliability Federal Highway Administration (FHWA). Recording and coding guide for the structure in venture and appraisal of the nation's bridges, U.S. Department of Transportation Washington D. C., 1988.
19. Frangopol D. M. A probabilistic model based on eight random variables for preventive maintenance of bridges. Presented at the progress meeting on optimum maintenance strategies for different bridge types, Highways Agensy, London, U.K., 1998.
20. Kallen M. J., van Noortwijk, J. M. A study towards the application of Markovian deterioration processes for bridge maintenance modelling in the Netherlands. *Advances in Safety and Reliability*: Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, Esrel, 2005, Tri City, Gdynia-Sopot-

© О. О. Давиденко, 2017

Gdánsk, Poland, 27–30 June, 2005. Leiden, Netherlands, 2005. – pp. 1021-1028.
21. Leemis, L. M. *Reliability, Probabilistic Models and Statistical Methods*. NJ: Prentice Hall, 1995. 288 p.
22. Melchers R. E. Structural Reliability Analyses and Prediction. Second Edition. New York: John Wiley & Sons, 1999. – 437 p.
23. NG, S-K., Moses F. Prediction of bridge service life using time-dependent reliability analysis. *Bridge Management. Inspection, Maintenance, Assessment and Repair:* Proceedings of the Third International Conference. – New York : Taylor & Francis, 1996. – pp. 26-33.
24. Patev R. C. Introduction to Engineering Reliability. URL: http://www.palisade.com/downloads/pdf/EngineeringReliabilityConcepts.pdf. (Last accessed: 11.09.2018).
25. Sánchez-Silva M., Klutke G.-A. Reliability and Life-Cycle Analysis of Deteriorating Systems. Springer Series in Reliability Engineering. Springer International Publishing Switzerland, 2016. – 351 p.
26. Shirole A. M., Winkler W. J., Hill J. J. Bridge management system state soft. *Transportation Research Record*. Washington D.C., TRB, 1991. No. 1180.
27. Sobanjo J. O. Cost Estimating Under Uncertainty: Issues in Bridge Management. *8-th International Bridge Management Conference*, April, 1999. Structures. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1998. – Vol. 124. – No. 12. – pp. 1448-1457.
28. Thoft-Christensen P., Baker M. J. Structural Reliability Theory and Its Applications. Springer-Verlag, 1982. – 267 p.

А. А. ДАВЫДЕНКО*

* Кафедра «Мосты и тоннели», Национальный транспортный университет, ул. М. Омельяновича-Павленка 1, Киев, Украина, 01010, тел. +38 (050) 471 33 99, эл. почта oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua, ORCID 0000-0003-0176-3256

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДЕГРАДАЦИИ НА ОЦЕНКУ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ УКРАИНЫ

Цель. Проанализировать влияние скорости деградации на оценку остаточного ресурса автодорожных мостов Украины. **Методика.** Теоретическое исследование**. Результаты.** Доказано значительное влияние скорости деградации на оценку остаточного ресурса как единого управляющего параметра Марковской модели прогноза. **Научная новизна.** Впервые установлены границы погрешности прогноза остаточного ресурса при постоянной натурной скорости деградации. **Практическое значение.** Полученные результаты являются практическим инструментом управления надежностью и ресурсом железобетонных автодорожных мостов.

Ключевые слова: автодорожные мосты; долговечность; жизненный цикл; интенсивность отказов; остаточный ресурс; скорость деградации

A. DAVYDENKO*

* Department of Bridges and Tunnels, National Transport University, 1, M. Omelyanovich-Pavlenko str., Kyiv, Ukraine, 01010, tel. +38 (050) 471 33 99, e-mail oleksandr.davydenko@ntu.edu.ua, ORCID 0000-0003-0176-3256

THE INFLUENCE OF DEGRADATION SPEED ON ESTIMATION OF RESIDUAL RESOURCE OF REINFORCED CONCRETE HIGHWAY BRIDGES IN UKRAINE

Purpose. Analyze the effect of degradation rate on estimation of a remaining lifetime of Ukrainian highway bridges. **Methods**. Theoretical research. **Results**. The significant effect of degradation rate on the estimation of a remaining lifetime as the only control parameter of the Markov prediction model is proved. **Originality**. For the first time, the prediction error range of a remaining lifetime have been set at a constant natural rate of degradation. **Practical value.** The obtained results are a practical tool for managing the reliability and resource of reinforced concrete highway bridges.

Keywords: degradation rate; durability; hazard rate; highway bridges; life cycle; remaining lifetime

© О. О. Давиденко, 2017

REFERENCES

1. Bogdanoff Dzh., Kozin F. *Verojatnostnye modeli nakoplenija povrezhdenij* [Probabilistic Damage Accumulation Models], per. s angl. S. A. Timasheva, pod. red. S. A. Timasheva. Moskow, Mir Publ., 1989. 344 p.
2. Bolotin V. V. *Primenenie metodov teorii verojatnostej i teorii nadezhnosti v raschetah sooruzhenij* [Application of the methods of probability theory and reliability theory in the calculations of structures]. Moskow, Strojizdat Publ., 1971. 255 p.
3. Bolotin V. V. *Prognozirovanie resursa mashin i konstrukcij* [Forecasting the resource of machines and structures]. Moskow, Mashinostroenie Publ, 1984. 312 p.
4. Bolotin V. V. *Resurs mashin i konstrukcij* [Resource machines and designs]. Moskow, Mashinostroenie Publ, 1990. 446 p.
5. Ventcel' E. S. *Issledovanie operacij* [Operations research]. Moskow, Sovetskoe radio Publ., 1972. 552 p.
6. Ventcel' E. S., Ovcharov L. A. *Teorija verojatnostej i ee inzhenernye prilozhenija: ucheb. posobie dlja stud. vuzov. 3-e izd., pererab. i dop.* [Probability theory and its engineering applications: studies. allowance for stud. universities]. Moskow, Izdatel'skij centr «Akademija» Publ., 2003. 464 p.
7. Davydenko O. O. Analiz dovhovichnosti avtodorozhnikh mostiv Ukrainy [Analysis of longevity of Ukrainian highway bridges]. *Naukovo-tekhnichni problemy suchasnoho zalizobetonu – Scientific and technical problems of modern reinforced concrete*. Kyjiv, 2013, issue 78, pp. 225-235.
8. Davydenko O. O. Ocinka tekhnichnogho stanu i proghnozuvannja zalyshkovogho resursu avtodorozhnikh mostiv Ukra-jiny [Estimation of the technical condition and forecasting of the residual life of Ukrainian highway bridges]. *Avtoshljakhovyk Ukrajiny – The car of Ukraine*. Kyjiv, 2014, issue 237. pp. 29-35.
9. Davydenko O. O. Statystychnyj proghnoz tekhnichnogho stanu avtodorozhnikh mostiv Ukrajiny [Statistical forecast of the technical condition of Ukrainian highway bridges]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2016, issue 10. pp. 4-13.
10. Davydenko O. O. Funkcija intensyvnosti vidmov elementiv sporud [The function of the intensity of failures of elements of structures]. *Zbirnyk nau-kovykh pracj UkrDUZT – Collection of scientific works of UkrDUZT*. Kharkiv, 2017, issue 167. pp. 88-96. ISSN 2413-3795, 1994-7852. GICID 71.0000.1500.3635. DOI 10.18664
11. *DSTU-N B.V.2.3-23-2012. Sporudy transportu. Nastanova z otsinyuvannya i prognozuvannya tehnichnogo stanu avtodorozhnih mostiv* [State Standard B.V.2.3-23-2012. Transport constructions. Guidance evaluation and forecasting technical condition of road bridges]. Kyjiv, Minrehionbud Ukrayiny Publ., 2012. 116 p.
12. Lantukh-Ljashhenko A. I. Ocinka nadijnosti sporudy za modellju markovsjkogho vypadkovogho procesu z dyskret-nymy stanamy [Estimation of the reliability of the construction on the model of random Markov process with discrete states]. *Avtomobiljni doroghy i dorozhnje budivnyctvo – Roads and road construction*. Kyjiv, Ukrajinsjkyj transportnyj universytet, 1999, issue 57. pp. 183-188.
13. Markov A. A. *Ischislenie verojatnostej. 2-e izd.* [Probability calculus]. Sankt-Peterburg, Printing house of the Imperial Academy of Sciences, 1908. 284 p.
14. Romanovskij V. I. *Diskretnye cepi Markova* [Markov discrete chains]. Moskow, Leningrad, 1949. 436 p.
15. Feller V. *Vvedenie v teoriju verojatnostej i ee prilozhenija*: v 2-h t. / per. s angl. [Introduction to probability theory and its applications: in 2 tons. Per. from English]. Moskow, Mir Publ., 1984. Vol. 1. 528 p.
16. Ang A. H-S., Tang W. H. Probability Concepts in Engineering Planning and Design: Decision, Risk and Reliability. Vol. II. New York, John Wiley and Sons, 1984. 562 p.
17. Augusti G., Ciampoli M., Frangopol D. M. Optimal planning of retorting interventions on bridges in a highway network. Engineering Structures. 1998. Vol. 20. No. 11. pp. 933-939.
18. Faber M. H. Basics of Structural Reliability Federal Highway Administration (FHWA). Recording and coding guide for the structure in venture and appraisal of the nation's bridges, U.S. Department of Transportation Washington D. C., 1988.
19. Frangopol D. M. A probabilistic model based on eight random variables for preventive maintenance of bridges. Presented at the progress meeting on optimum maintenance strategies for different bridge types, Highways Agensy, London, U.K., 1998.
20. Kallen M. J., van Noortwijk, J. M. A study towards the application of Markovian deterioration processes for bridge maintenance modelling in the Netherlands. Advances in Safety and Reliability: Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, Esrel, 2005, Tri City, Gdynia-Sopot-Gdánsk, Poland, 27–30 June, 2005. Leiden, Netherlands, 2005. pp. 1021-1028.
21. Leemis L. M. Reliability, Probabilistic Models and Statistical Methods. NJ, Prentice Hall, 1995. 288 p.

© О. О. Давиденко, 2017

22. Melchers R. E. Structural Reliability Analyses and Prediction. Second Edition. New York, John Wiley & Sons, 1999. 437 p.
23. NG, S-K., Moses F. Prediction of bridge service life using time-dependent reliability analysis. Bridge Management. Inspection, Maintenance, Assessment and Repair: Proceedings of the Third International Conference. – New York, Taylor & Francis, 1996. pp. 26-33.
24. Patev R.C. Introduction to Engineering Reliability. URL: http://www.palisade.com/downloads/pdf/EngineeringReliabilityConcepts.pdf. (Last accessed: 11.09.2018).
25. Sánchez-Silva M., Klutke G.-A. Reliability and Life-Cycle Analysis of Deteriorating Systems. Springer Series in Reliability Engineering. Springer International Publishing Switzerland, 2016. 351 p.
26. Shirole A. M., Winkler W. J., Hill J. J. Bridge management system state soft. Transportation Research Record. Washington D.C., TRB, 1991. No. 1180.
27. Sobanjo J.O. Cost Estimating Under Uncertainty: Issues in Bridge Management. 8-th International Bridge Management Conference, April, 1999. Structures. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1998. Vol. 124. No. 12. pp. 1448-1457.
28. Thoft-Christensen P., Baker M. J. Structural Reliability Theory and Its Applications. Springer-Verlag, 1982. 267 p.

Надійшла до редколегії 09.10.2017
Прийнята до друку 18.10.2017

© О. О. Давиденко, 2017

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 69:[338.49:336.22.02]

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 kistion-science@gmail.com, ORCID 0000-0001-5082-4145

ІННОВАЦІЙНІ МОДЕЛІ РЕСТРУКТУРИЗАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ІНФРАСТРУКТУРНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Мета. В статті обґрунтовується доцільність застосування процесу реструктуризації в спеціалізованому інфраструктурному кластері будівельних підприємств. **Методика.** Враховуючи всі особливості специфіки функціонування інфраструктурних підприємств та фондовідтворюючу 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 передує 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 спромозі 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

Реструктуризація застосовують по відношенню до заборгованості підприємств. В фінансовому розумінні це є процедурою упорядкування змін умов погашення заборгованостей підприємства, погодженні між кредитором та боржником і впровадженні по причині неспроможності боржника погасити свої боргові зобов'язання в первинно встановленні строки.

Реструктуризація передбачає зміни в умовах боргового контракту, у відповідності з яким кредитор робить боржнику яку-небудь поступку або надає перевагу (пільгу), наприклад кредитор може погодитись на збільшення строків погашення, тимчасово відкласти деякі платежі або прийняти менший платіж, а ніж потрібно [1, 3, 8]. На державному рівні приймаються і такі способи, як інвестиційний податковий кредит, випуск боргових зобов'язань.

Цілями та задачами реструктуризації підприємства є [2, 9-11]:

– захист прав учасників;

– чітке розмежування відповідальності учасників і керівників підприємства, розвиток механізмів корпоративного управління, забезпечення вільного перерозподілу прав участі в капіталі акціонерного товариства і перехід таких прав до осіб, зацікавлених в довгостроковому розвитку підприємства (ефективним власникам);

– забезпечення інвестиційної привабливості підприємства;

– створення системи господарсько-договірної діяльності підприємства, що забезпечує дотримання вимог контрактних зобов'язань;

– досягнення прозорості фінансово-економічного стану підприємств для їх учасників (власників), інвесторів, кредиторів;

© В. Є. Кістіон, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

– створення ефективного механізму управління підприємством;

– використання підприємством ринкових механізмів залучення фінансових надходжень;

– підвищення кваліфікації працівників підприємства як один із факторів підвищення стійкості розвитку підприємства [6, 7].

Мета

Рішення про реструктуризацію підприємства та конкретна програма заходів приймаються власником підприємства (для державних унітарних підприємств – уповноважений орган виконавчої влади, для інших комерційних організацій – загальні збори їх співвласників.

Тому метою наданої роботи є дослідження технологічної специфіки моделювання процесу реструктурування будівельних підприємств інфраструктурного типу.

Методика

Для швидкого аналізу будь-якої задачі доцільно застосовувати геометричні підходи до відображення інформації. Для цього застосуємо принципи геометричної економетрики, тобто будемо відображати систему у вигляді сукупності геометричних об'єктів [1-4].

Нехай узагальнене рівняння опису підсистеми має вигляд:

$$g = \sum_{j=f,i,k,p} g_j = g(f,i,k) \qquad (1)$$

де f, i, k – фінансовий, інформаційний та кадровий ресурсні потоки відповідно.

Для детального аналізу всіх складових економічних підсистем будемо досліджування проводити за наступним алгоритмом:

– дослідження кожної виробничої функції ресурсного потоку для кожної підсистеми та відображення у просторі R^2;

– дослідження сукупності виробничих функцій для кожної підсистеми та відображення у просторі R^3;

– дослідження перетину економічних підсистем.

Формоутворення економічних моделей для візуально-геометричного аналізу економетричних залежностей будемо реалізовувати засобами процесора Maple.

Розглянемо графічні модулі виробничих функцій ресурсних потоків.

Фінансова підсистема. Кожний ресурсний потік фінансової підсистеми задається виробничою функцією у просторі R^2. Розглянемо окремі ресурсні потоки:

– $finans_f = 3f^b (b=1)$ – фінансовий ресурсний потік. Для даної підсистеми степенева функція перетворюється у лінійну та відображується у вигляді прямої;

– $finans_i = 2i^b (b=0,5)$ – інформаційний ресурсний потік. Для даної підсистеми одержуємо графік функції з коренем парної степені;

– $finans_k = 2k + b$ $(b=1)$ – кадровий ресурсний потік. Кадрова складова має лінійний вигляд.

Результати

Для відображення графічних моделей виробничих функцій застосуємо можливості процесора Maple. Ресурсні потоки будуть відображатися у діапазоні [-7, 7]:

```
restart:with(numapprox):
finans_f:=3*f^1:
finans_i:=2*i^(0.5):
finans_k:=2*k+1:
with(plots):
g_finans_f:=plot(finans_f,f=-7..7,
color=black,thickness=2):
g_finans_i:=plot(finans_i,i=-7..7,
color=black,thickness=2):
g_finans_k:=plot(finans_k,k=-7..7,
color=black,thickness=2):
display(g_finans_f,
axesfont=[TIMES,ITALIC,20],
labelfont=[TIMES,ITALIC,20]);
display(g_finans_i,
axesfont=[TIMES,ITALIC,20],
labelfont=[TIMES,ITALIC,20]);
display(g_finans_k,
axesfont=[TIMES,ITALIC,20],
labelfont=[TIMES,ITALIC,20]);
```

На рис. 1 наведено результат виконання програми.

© В. Є. Кістіон, 2017

Рис. 1. Ресурсні потоки:
f – фінансовий потік; *i* – інформаційний потік

На рис. 2 наведено кадровий ресурсний потік.

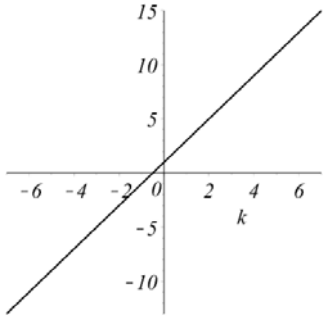

Рис. 2. Графічні моделі ресурсних потоків фінансової підсистеми у просторі R^2

Інноваційна підсистема. Будемо досліджувати ресурсні потоки за алгоритмом, який наведено для фінансової підсистеми:

– $innovaz_f = 0,6\,f^b (b = 0,2)$ – фінансовий ресурсний потік. Для даної підсистеми одержуємо графік з непарною степеневою функцією;

– $innovaz_i = 0,6 i^b (b = 0,5)$ – інформаційний ресурсний потік. Для даної підсистеми одержуємо графік функції з коренем парної степені;

– $innovaz_k = k + b \;\; (b = 1)$ – кадровий ресурсний потік. Кадрова складова має лінійний вигляд.

Ресурсні потоки будуть відображатися у діапазоні [-7, 7]. У програмі для процесора Maple, яку наведено для фінансової підсистеми змінюються тільки функції, що досліджуються:

```
innovaz_f:=0.6*f^(0.2):
innovaz_i:=2*i^(0.5):
innovaz_k:=k+1:
```

На рис. 3 наведено результат виконання програми.

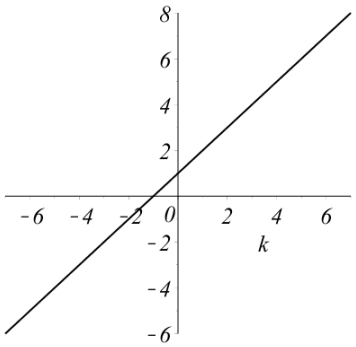

Рис. 3. Графічні моделі ресурсних потоків інноваційної підсистеми у просторі R^2:
f – фінансовий потік; *i* – інформаційний потік

Інформаційна підсистема. Для інформаційної підсистеми характерно чотири ресурсних потоки:

– $inform_f = 0,2\,f^b (b = 0,2)$ – фінансовий ресурсний потік. Для даної підсистеми одержуємо графік з непарною степеневою функцією;

– $inform_i = 4 i^b (b = 1)$ – інформаційний ресурсний потік. Для даної підсистеми одержуємо графік лінійної функції;

– $inform_k = 2k + b \;\; (b = 1)$ – кадровий ресурсний потік. Кадрова складова має лінійний вигляд;

– $inform_m = 0,25 i^b (b = 0,2)$ – методологічний ресурсний потік. Одержуємо непарну дробово-степеневу функцію.

Ресурсні потоки будуть відображатися у діапазоні [-7, 7]. У програмі для процесора Maple змінюються функції, що досліджуються:

```
inform_f:=0.2*f^(0.2):
inform_i:=4*i^(1):
inform_k:=2*k+1:
inform_m:=0.25*i^(0.2):
```

На рис. 4 наведено результат виконання програми.

© В. Є. Кістіон, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

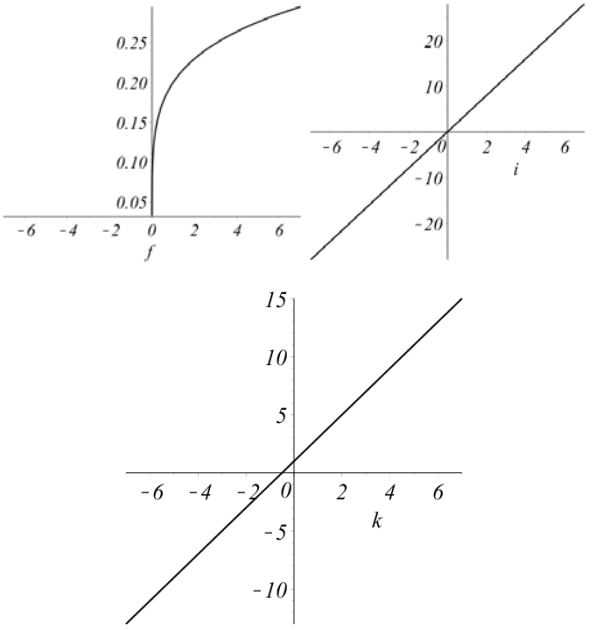

Рис. 4. Графічні моделі ресурсних потоків інформаційної підсистеми у просторі R^2:
f – фінансовий ресурсний потік; *i* – інформаційний ресурсний потік; *k* – кадровий ресурсний потік

Кадрова підсистема. Кадрова підсистема характеризується трьома ресурсними потоками:

– $kadrova_f = 0,2\,f^b (b = 0,2)$ – фінансовий ресурсний потік. Для даної підсистеми одержуємо графік з непарною степеневою функцією;

– $kadrova_i = 3i^b (b = 0,4)$ – інформаційний ресурсний потік. Для даної підсистеми одержуємо графік з непарною степеневою функцією;

– $kadrova_k = 4k + b \;\; (b = 3)$ – кадровий ресурсний потік. Кадрова складова має лінійний вигляд.

На рис. 5-6 наведено результат виконання програми для проміжку [-7, 7].

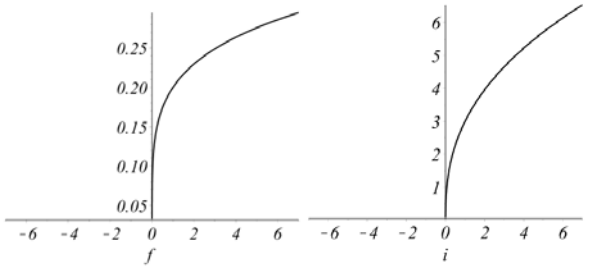

Рис. 5. Графічні моделі ресурсних потоків кадрової підсистеми у просторі R^2:
f – фінансовий ресурсний потік; *i* – інформаційний ресурсний потік

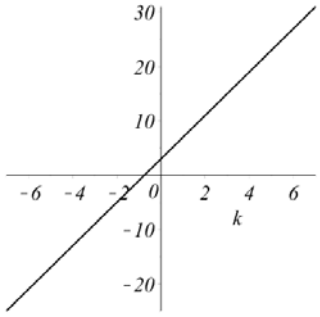

Рис. 6. Графічні моделі ресурсних потоків кадрової підсистеми у просторі R^2:
k – кадровий ресурсний потік

Виробнича підсистема. Для виробничої підсистеми характерно чотири ресурсних потоки. На першому етапі розглянемо три складові:

– $virobn_f = 0,2\,f^b (b = 0,4)$ – фінансовий ресурсний потік. Для даної підсистеми одержуємо графік з непарною степеневою функцією;

– $virobn_i = 3i^b (b = 0,7)$ – інформаційний ресурсний потік. Для даної підсистеми одержуємо графік степеневої функції;

– $virobn_k = 2k + b \;\; (b = 1)$ – кадровий ресурсний потік. Кадрова складова має лінійний вигляд.

На рис. 7 наведено результат виконання програми для процесора Maple для проміжку [-7, 7].

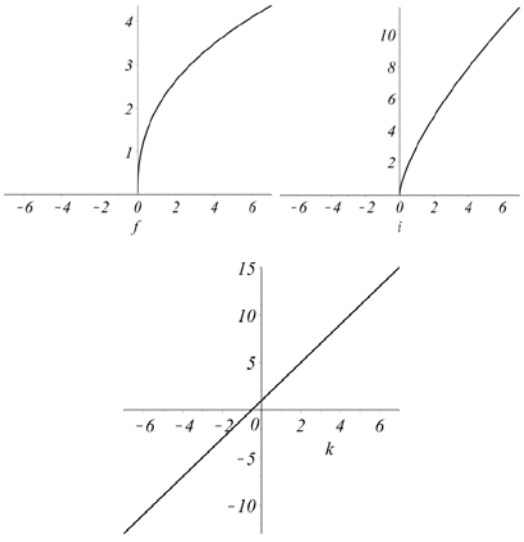

Рис. 7. Графічні моделі ресурсних потоків кадрової підсистеми у просторі R^2:
f – фінансовий ресурсний потік; *i* – інформаційний ресурсний потік; *k* – кадровий ресурсний потік

© В. Є. Кістіон, 2017

Розглянемо четвертий ресурсний потік: $virobn_p = f + 2i^{0,5} + 2k + b \ (b = 1)$ – товарний ресурсний потік.

Проаналізуємо розроблену графічну модель. З геометричної точки зору – це функція у чотиривимірному просторі. Введемо деякі обмеження. Будемо розглядати тільки переріз чотиривимірного простору, а саме $virobn_p = 0$, тобто будемо мати поверхню у тривимірному просторі:

$$k = -\frac{f + 2i^{0,5} + 1}{2}.$$

За допомогою Maple одержимо поверхню у тривимірному просторі:

```
restart:with(numapprox):
k:=(f+2*i^(0.5)+1)/(-2):
with(plots):
g_virobn_p:=plot3d(k,f=-1..1,i=0..1):
display(g_virobn_p,axesfont=[TIMES,ITALIC,
20],labelfont=[TIMES,ITALIC,20]);
```

На рис. 8 наведено графічну модель товарного ресурсного потоку.

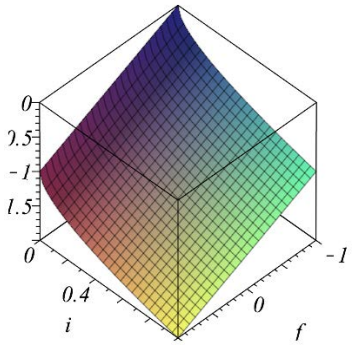

Рис. 8. Графічна модель товарного ресурсного потоку виробничої підсистеми

Юридична підсистема. Для юридичної підсистеми характерно чотири ресурсних потоки. По аналогії з виробничою підсистемою на першому етапі розглянемо три складові:

– $yurid_f = f^b (b = 0,8)$ – фінансовий ресурсний потік. Для даної підсистеми одержуємо графік з непарною степеневою функцією;

– $yurid_i = i^b (b = 0,2)$ – інформаційний ресурсний потік. Для даної підсистеми одержуємо графік степеневої функції;

– $yurid_k = k + b \ (b = 0)$ – кадровий ресурсний потік. Кадрова складова має лінійний вигляд.

На рис. 9 наведено результат виконання програми для процесора Maple для проміжку [-7, 7].

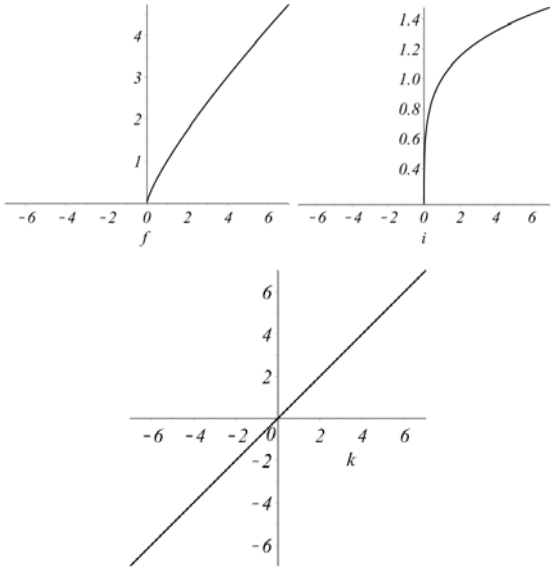

Рис. 9. Графічні моделі ресурсних потоків юридичної підсистеми у просторі R^2
f – фінансовий ресурсний потік; *i* – інформаційний ресурсний потік; *k* – кадровий ресурсний потік

Розглянемо четвертий ресурсний потік: $yurid_p = f + i^{0,2} + k + b \ (b = 0)$ – товарний ресурсний потік.

Ця модель аналогічна графічній моделі товарного ресурсного потоку у виробничій підсистемі. З умовою обмеження будемо мати:

$$k = -(f + i^{0,2}).$$

На рис. 10 наведено графічну модель товарного ресурсного потоку юридичної підсистеми.

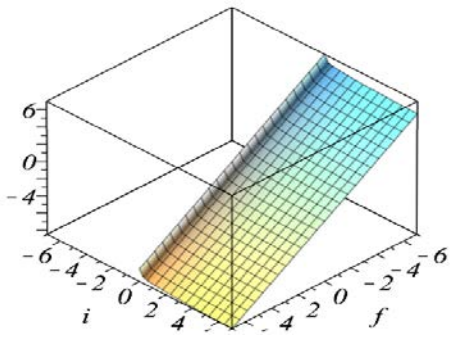

Рис. 10. Графічна модель товарного ресурсного потоку юридичної підсистеми

© В. Є. Кістіон, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

За результатами визначимо графічні моделі виробничих функцій підсистем.

Розглянемо функції опису підсистем:

– фінансова підсистема

$$finans = \sum_{j=f,i,k} finans_j = 3f^1 + 2i^{0,5} + 2k + 1; \quad (1)$$

– інноваційна підсистема

$$innovaz = \sum_{j=f,i,k} innovaz_j = 0,6f^{0,2} + 2i^{0,5} + 2k + 1; \quad (2)$$

– інформаційна підсистема:

$$inform = \sum_{j=f,i,k,m} inform_j = 0,2f^{0,2} + 4i + 2k + 1 + 0,25i^{0,2}; \quad (3)$$

– кадрова підсистема:

$$kadrova = \sum_{j=f,i,k} kadrova_j = 0,2f^{0,2} + 3i^{0,4} + 4k + 3; \quad (4)$$

– виробнича підсистема:

$$virobn = \sum_{j=f,i,k,p} virobn_j = 2f^{0,4} + 3i^{0,7} + 2k + 1 + f + 2i^{0,5} + 2k + 1; \quad (5)$$

– юридична підсистема:

$$yurid = \sum_{j=f,i,k,p} yurid_j = f^{0,8} + i^{0,2} + k + f + i^{0,2} + k. \quad (6)$$

Проведемо узагальнення рівнянь (1) – (6). У загальному вигляді будемо мати:

$$g = \sum_{j=f,i,k,p} g_j = g(f,i,k) \quad (7)$$

Згідно з принципами геометричної економетрики візуалізуємо одержані функції. Рівняння (7) визначає поверхню у чотиривимірному просторі, що задана у явному вигляді.

Для відображення можна скористатися наступними підходами:

– відображати проекції на тривимірні простори;

– виконати динамічне відображення у часі;

– відобразити сімейством поверхонь у тривимірному просторі, які будуть перетинами функції (7) при заданій константі.

Скористаємось останнім підходом, тобто будемо задавати перерізи чотиривимірної функції (7), а саме $g(f,i,k) = \text{const}$. В результаті одержимо сімейство поверхонь у тривимірному просторі, які будуть задавати геометричне місце точки кожної з підсистем.

Для дослідження ефективності функціонування підсистем необхідно встановити взаємозв'язки між різними підсистемами. Для цього будемо виконувати візуально-геометричний аналіз економетричних залежностей у сукупності.

Виконаємо візуально-геометричний аналіз фінансової та кадрової підсистем, при const=0:

$$\left\{ \begin{array}{l} finans = \sum_{j=f,i,k} finans_j = 0; \\ kadrova = \sum_{j=f,i,k} kadrova_j = 0 \end{array} \right\}. \quad (8)$$

Система (8) з геометричної точки зору визначає сукупність двох поверхонь, що задані у неявному вигляді (рис. 11). Геометрично ця система визначає лінію перетину двох поверхонь у тривимірному просторі.

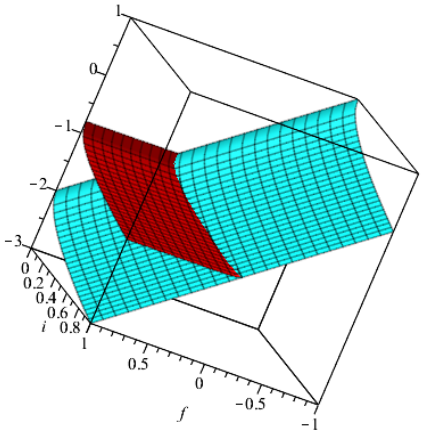

Рис. 11. Лінія перетину двох поверхонь у тривимірному просторі

Крива у тривимірному просторі у неявному вигляді може задаватися лише за допомогою двох поверхонь, що не є зручним.

Для визначення лінії перетину застосуємо теорію апроксимації функцій. Для цього будемо ітераційно розв'язувати систему рівнянь (8) та одержувати дискретний ряд точок $\left[f_l \quad i_l \quad k_l \right]$, де l – фіксована точка, яка належить лінії перетину.

© В. Є. Кістіон, 2017

Після одержання дискретного ряду точок $\begin{bmatrix} f_l & i_l & k_l \end{bmatrix}$ для візуалізації кривої можна скористатися поліноміальними методами інтерполяції або методами сплайнів. Розглянемо різновиди поліноміальних методів.

Найпростішим видом інтерполяції є лінійна інтерполяція, в основі якої лежить апроксимація кривої на ділянці між точками прямою, що проходить через ці точки, тобто, у векторно-параметричному вигляді можна записати:

$$\begin{aligned} f &= f_l(1-t) + f_{l+1}t, \\ i &= i_l(1-t) + i_{l+1}t, \\ k &= k_l(1-t) + k_{l+1}t. \end{aligned} \qquad (9)$$

На рис. 12 відображено лінію перетину кадрової та фінансової підсистем на основі лінійної інтерполяції (9).

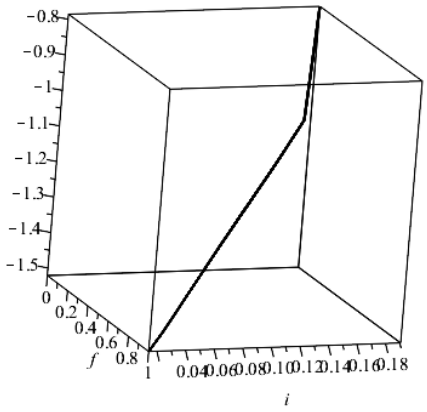

Рис. 12. Лінія перетину кадрової та фінансової підсистем

Розглянемо рівняння всієї економетричної системи. Сукупне рівняння будемо визначати на основі поєднання всіх шести підсистем (1) – (6):

$$\begin{aligned} SYS = &\sum_{j=f,i,k} finans_j + \sum_{j=f,i,k} innovaz_j + \\ &+ \sum_{j=f,i,k,m} inform_j + \sum_{j=f,i,k} kadrova_j + \\ &+ \sum_{j=f,i,k,p} virobn_j + \sum_{j=f,i,k,p} yurid_j + \end{aligned} \qquad (10)$$

Скористаємось процесором Maple та застосуємо функцію **minimize**, яка виконує оптимізацію задачі симплекс-методом.

```
restart:with(numapprox):
ob:=3*f^1+2*i^(0.5)+2*k+1+0.2*f^(0.2)+3
*i^(0.4)+4*k+3+0.6*f^(0.2)+2.0*i^(0.5)+k+1.0
+0.2*f^(0.2)+4*i^(1)+2*k+1+0.25*i^(0.2)+2*f
^(0.4)+3*i^(0.7)+2*k+1+f+2*i^(0.5)+2*k+1+f^
(0.8)+i^(0.2)+k+f+i^(0.2)+k:
pov:=minimize(ob, k=-7..7);
with(plots):
pov_ob:=plot3d(pov,f=0..1,i=0..7):
display(pov_ob,axesfont=[TIMES,ITALIC,2
0],labelfont=[TIMES,ITALIC,20]);
```

Результат роботи (рис. 13):

$$pov := -97. + 5.f + 4.i + 6.\sqrt{i} + f^{1/5} + 3.i^{2/5} + \\ +2.250000000i^{1/5} + 2f^{2/5} + 3.i^{7/10} + f^{4/5}$$

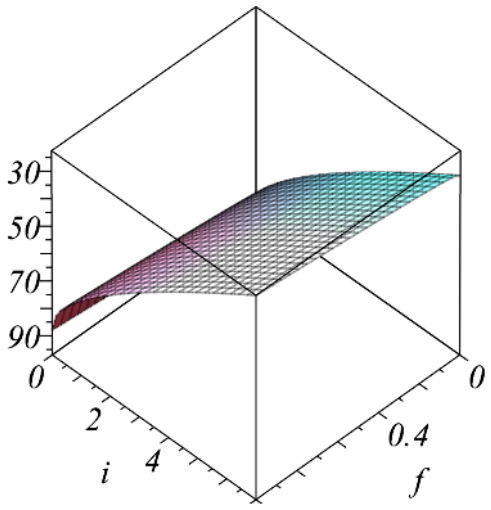

Рис. 13. Результат роботи функції minimize

Наукова новизна та практична значимість

Виявлено те, що комерційні підприємства, що представляють потенційно прибуткові комерційні проекти, ні при яких обставинах не повинні розглядатися як об’єкти державної підтримки. Розроблена інфраструктурна схема реструктуризації підприємства, що дозволяє врахувати ряд основних концептуальних засад вказаного процесу.

Висновки

Описаний механізм моделювання дозволяє створити імітаційну модель аналітичного типу процесу реструктурування, що у відповідності до галузевої теорії «геометрична економетри-

© В. Є. Кістіон, 2017

ка» дозволяє визначити спеціалізований клас управління, що дає можливість розробити спеціалізовані організаційні елементи для функціонування будівельних підприємств інфраструктурного типу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бондар, О. А. Інтерпретаційний схематизм як елемент методологічної парадигми прикладної геометрії [Текст] / О. А. Бондар, В. О. Плоский, О. Л. Підгорний // Містобудування та територіальне планування. – Київ : ВИПОЛ, 2010. – Вип. 35.– С. 385–397.
2. Бондар, О. А. Інтерпретаційний схематизм як основа створення галузевої теорії «Геометрична економетрика» [Текст] / О. А. Бондар // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Серія «Економічні науки». – Київ : ВИПОЛ, 2010. – Вип. 83. – С. 52-60.
3. Бондар, О. А. Інтерпретаційні моделі управління економічними процесами [Текст] / О. А. Бондар // Містобудування та територіальне планування. – Київ : ВИПОЛ, 2012. – Вип. 45. – С. 80-91.
4. Бондар, О. А. Інтерпретування як системний інструмент вирішення економічних задач [Текст] / О. А. Бондар // Наукові нотатки Інституту законодавства Верховної Ради України. – Київ : Інститут законодавства ВР України. – 2013. – № 2. – С. 143–147.
5. Гнеденко, Б. В. Курс теории вероятностей [Текст] : учебник / Б. В. Гнеденко. – изд. 6-е, перераб. и дополненное. – Москва : Наука, 1988. – 448 с.
6. Гоменюк, М. О. Механізм регулювання інноваційної діяльності на регіональному рівні [Текст] : дис. канд. екон. наук : Гоменюк М. О. – Київ, 2010. – 203 с.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Pomerleano, M. Corporate Restructuring : Lessons from Experience / M. Pomerleano, W. Shaw. – Washington, DC: World Bank Publications, 2005. – 482 p.
11. 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 kistion-science@gmail.com, http://orcid.org/0000-0004-4402-3793

ИННОВАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ РЕСТРУКТУРИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ КОМПАНИЙ

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

© В. Є. Кістіон, 2017

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. KISTION*

* Department of Building Technology of The Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky Avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03680, tel. +38 (044) 241 54 65, e-mail kistion-science@gmail.com, http://orcid.org/0000-0004-4402-3793

INNOVATIVE MODELS OF RESTRUCTURING PROCESSES INFRASTRUCTURAL ENTERPRISES

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

REFERENCES

1. Bondar O. A., Ploskyi V. O., Pidhornyi O. L. Interpretatsiinyi skhematyzm yak element metodolohichnoi paradyhmy prykladnoi heometrii [Interpretative schematics as an element of the methodological paradigm of applied geometry]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and territorial planning*. Kyjiv, 2010, issue 35, pp. 385-397.
2. Bondar O. A. Interpretatsiinyi skhematyzm yak osnova stvorennia haluzevoi teorii «Heometrychna ekonometryka» [Interpretative schematics as the basis for the creation of the branch theory «Geometric Econometrics»]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika. Seriia «Ekonomichni nauky» – Applied geometry and engineering graphics. Series «Economic Sciences»*.Kyjiv, 2010, issue 83, pp. 52-60.
3. Bondar, O. A. Interpretatsiini modeli upravlinnia ekonomichnymy protsesamy [Interpretative models of management of economic processes]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and territorial planning*. Kyjiv, 2012, issue 45, pp. 80-91.
4. Bondar O. A. *Interpretuvannia yak systemnyi instrument vyrishennia ekonomichnykh zadach* [Interpretation as a system tool for solving economic problems]. Naukovi notatky Instytutu zakonodavstva Verkhovnoi Rady Ukrainy [Scientific notes of the Institute of Legislation of the Verkhovna Rada of Ukraine]. Kyjiv, Institute of Legislation of the Verkhovna Rada of Ukraine Publ., 2013, Num. 2, pp. 143-147.

© В. Є. Кістіон, 2017

5. Gnedenko, B. V. *Kurs teorii verojatnostej* : uchebnik, izd. 6-e, pererab. i dopolnennoe. [Course of probability theory : textbook]. Moskow, Nauka Publ, 1988. 448 p.
6. Homeniuk M. O. Mekhanizm rehuliuvannia innovatsiinoi diialnosti na rehionalnomu rivni [The mechanism of regulation of innovation activity at the regional level] : dys. kand. ekon. nauk : Homeniuk M. O. Kyjiv, 2010. 203 p.
7. Pshinko O. M., Pavlova I. D., Radkevych A. V., Arutiunian I. A. Upravlinnia lohistychnymy systemamy funktsionuvannia 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.
8. Radkevych A. V., Tkach T. V. Modeli optymalnoho rozpodilu kapitalnykh vkladen na stadii kalendarnoho planuvannia budivnytstva [Model of optimal rozpodilu kapitalnyh deposits on the stage calendar calendar planning budivnitstva]. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 2, pp. 71-75.
9. 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.
10. Pomerleano M., Shaw W. Corporate Restructuring. Lessons from Experience. Washington, DC, World Bank Publications, 2005. 482 p.
11. Vance D. Corporate Restructuring: From Cause Analysis to Execution. Springer, 2010. 283 p.

Статтю рекомендовано до публікації д.т.н., проф. В. Д. Петренком (Україна), д.т.н., доц. О. Л. Тютькіним (Україна).

Надійшла до редколегії 03.10.2017
Прийнята до друку 19.10.2017

© В. Є. Кістіон, 2017

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21:625.1

С. В. КЛЮЧНИК*

* Кафедра «Мости та тунелі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (050) 667 40 49, ел. пошта ssser05@ukr.net, ORCID 0000-0001-7771-8377

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТАЛЕВИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ

Мета. Метою даної роботи є аналіз сучасного стану та аварійності металевих прогонових будов залізничних мостів. **Методика.** Збір даних аварійних подій на штучних спорудах. Вивчення досвіду аварій металевих мостів для винесення уроків, які допоможуть в усуненні причин, що їх спричинили. **Результати.** Результатом даної роботи є зібрані данні про стан та аварії штучних споруд різних джерел. **Наукова новизна.** Наукова зацікавленість полягає в тому, що при достатньому досвіді будівництва та експлуатації штучних споруд, використанні сучасних технологій та матеріалів на цей час аварії мостів – явище не рідке. Тому досвід аварій штучних споруд треба вивчати, аналізувати та використовувати в подальших рішеннях. Доведення, що ймовірнісний підхід може бути використаний при розрахунках, а також застосування норм Єврокодів – це можливий шлях до вирішення питання узаконення ймовірнісного підходу. **Практична значимість.** Спираючись на отримані дані можливо зробити висновок, що фактори втрати стійкості окремими елементами конструкції та втома матеріалів вивчені не достатньо, втомні властивості слід досліджувати, для формування висновків, отриманих з досвіду аварій мостів, щоб допомогти в усуненні причин, що їх спричинили.

Ключові слова: металеві прогонові будови, штучні споруди, аварії мостів, втома матеріалів, європейські стандарти

Вступ

На залізницях України загальною протяжністю 23000 км експлуатується близько 20 тисяч штучних споруд сумарною довжиною 620,3 км. Зокрема, експлуатуються 7866 залізничних моста, з них позакласних – 34 шт.; великих – 270 шт.; залізничних середніх та малих мостів – 7126 шт. (тимчасових – 86 шт.) та 289 пішохідних мостів; 10,9 тис. водопропускних труб. Частка залізничних транспортних перевезень в загальному вантажообігу держави складає 87 % [21], що потребує безпечної працездатності об'єктів транспортних магістралей залізниць. На залізничних мостах України встановлено 2,613 тис. металевих прогонових споруд загальною масою більше 250 тис. т.

Підвищення надійності мостів – одна з основних задач експлуатації колійної мережі, так як мости є найбільш відповідальними і складними елементами доріг. Фактично саме мости визначають пропускну спроможність колій [29].

Разом з тим, мости – капіталомісткі об'єкти будівництва, реконструкції та ремонту, тому необхідно, щоб економічний ефект їх використання був найбільшим. Недостатньо мости побудувати. Щоб забезпечити оптимальну довговічність мостів, необхідно проводити значний і складний комплекс робіт по їх експлуатації.

На теперішній час на залізницях України експлуатується 1218 шт. дефектних і слабких штучних споруд. Із них 72 – прогонові будови з трофейних металевих балок типу Пейне, Шнейдера, 102 металеві прогонові будови мостів з низьким класом по навантаженню [21], що вимагають систематичних спостережень та заміни або реконструкції в плановому порядку.

Через дефектність інженерних споруд на залізницях діє 158 попереджень про обмеження швидкості руху поїздів протяжністю 119,3 км. Із загальної кількості попереджень 130 – протяжністю 111,3 км – включені до графіку по швидкостях, з них 34 попередження з обмеженням швидкості до 25 км/год та 1 попередження – до 15 км/год [21].

Територією України проходять найкоротші шляхи з Європи до Закавказзя, Центральної Азії, Ірану, Афганістану; з Польщі, Скандинавії, країн Балтії, Білорусі та Росії в порти Азово-Чорноморського басейну.

© С. В. Ключник, 2017

З дев'яти транспортних коридорів, затверджених на другій Пан'європейській конференції (о. Крит, 1994 р.), три проходять по території України (№№ III, V, IX) [6, 28].

Інфраструктура практично всіх коридорів може забезпечити пропуск прогнозованих вантажопотоків. Технічні можливості українських ділянок Міжнародних транспортних коридорів (МТК) за основними показниками відповідають вимогам до коридорів (за кількістю головних шляхів, електрифікації) або перевищують їх (по навантаженню на вісь, довжині приймально-відправних колій, кількості вагонів у поїзді, ваговій нормі).

Але технічний стан мостів України в цілому викликає стурбованість фахівців. Для забезпечення їх подальшого нормального функціонування потрібне вкладення великих коштів на створення сучасної системи експлуатації транспортних споруд, реконструкцію і ремонт мостів. Світова практика показує, що в умовах правильного утримання залізобетонні прогонові будови можуть служити до 120 років, а без нагляду термін служби скорочується до 20 років. Слід підкреслити, що виходячи з терміну нормального функціонування залізобетонного моста 70 років, в Україні на зміну існуючим спорудам необхідно щодня вводити в експлуатацію 7…8 км мостів. Сьогоднішні тенденції будівництва складають 4,5 км за рік (з урахуванням реконструкції) і при цьому не вирішується проблема утримання існуючих мостів в належному стані.

За останнє десятиліття різко погіршилось фінансування робіт на експлуатацію мостів. У 1994-2000 рр. на експлуатацію 1 моста в середньому витрачалося на рік 7,0…8,0 тис. грн. (це ~ 1,6 тис. $ США), в тому числі на утримання витрачалося 1,9…0,7 тис. грн. (0,35…0,13 тис. $ США), для порівняння на експлуатацію моста в Нью-Йорку в середньому витрачається 472…531 тис. $ США на 1 міст на рік [28].

Розвиток мостового господарства відбувався пропорційно розвитку залізниць, мережа яких була в основному сформована у кінці XIX – на початку XX століття. У цей час велося активне будівництво штучних споруд, зокрема було збудовано 3823 моста, які, переживши численні реконструкції і ремонти, служать до теперішнього часу. Друга численна група споруд – це близько 1 550 мостів, що збудовані у період відбудови країни після Другої світової війни – з 1946 по 1962 роки. Ці споруди розраховувались з метою економії матеріалів з використанням полегшених розрахункових норм навантаження, які не відповідають сучасним вимогам.

Враховуючи, що на сучасному етапі свого розвитку Україна має економіку, яка орієнтована на сировинний експорт, обсяг перевезень збільшується кожний рік. У зв'язку з цим залізничний транспорт є основою транспортної системи України і суттєво впливає на конкурентоспроможність вітчизняної економіки. На залізничний транспорт припадає 82,8 % вантажообігу країни (без урахування трубопровідного транспорту). Залізниці України із загальною експлуатаційною довжиною колії майже 23 тис. км посідають одинадцяте місце у світі та четверте в Європі. Вантажонапруженість вітчизняних залізниць у 3…5 разів перевищує відповідний показник розвинених європейських країн [10].

За таких умов транзитний потенціал країни повинен не тільки номінально визначати її місце в системі міжнародних зв'язків, а стати головним фактором реалізації, нарощування та розвитку всіх пов'язаних із ним галузей національної економіки, і в першу чергу транспорту та промисловості.

Історично склалося так, що головну частину вантажопотоку через територію нашої держави формують саме транзитні перевезення. І не випадково, адже пропускні здатності вітчизняної транспортної системи дозволяють щодоби обслуговувати близько 2,2 млн. т вантажів.

Вантажообіг імпортних перевезень у 2016 році прогнозується на рівні 19,922 млрд. тонно-кілометрів, що на 3 % більше плану 2015 року та більше очікуваного рівня 2015 року на 1,4 %. В імпортній структурі перевезень будуть традиційно переважати вугілля, нафтопродукти і руда [5].

Вантажообіг експортних перевезень заплановано на рівні 88,861 млн. тонно-кілометрів, що на 0,4 % менше плану 2015 року, але більше очікуваного рівня 2015 року на 2 %. Основними вантажами в структурі залишаться руда, зернові вантажі, чорні метали.

Внутрішні перевезення прогнозуються на рівні 61,987 млрд. тонно-кілометрів, що на 10,6 % більше плану 2015 року та більше очікуваного рівня 2015 року на 1,9 % [5].

© С. В. Ключник, 2017

Обсяги перевезення вантажів територією України, будівництво нових транспортних магістралей, зростаючі транспортні потоки вимагають відповідної технічної експертизи та періодичної оцінки стану об'єктів транспортних магістралей, які підлягають тривалій експлуатації, зокрема таких як залізничні та автодорожні мости, щодо їх надійності та довговічності в конкретних умовах експлуатації.

Але за останні п'ять років «Укрзалізниця» нічого не інвестувала в розвиток транзитних перевезень, тоді як Білорусь купувала нові локомотиви, прискорювала проходження контейнерних поїздів, вкладала в перевалочні комплекси та колії. У підсумку по Білорусі контейнерні поїзди йдуть зі швидкістю 120 км/год, а у нас від Ковеля до кордону немає навіть електротяги, доводиться в Ковелі переформувати поїзди і скорочувати кількість вагонів у потязі, а це все втрати часу [8].

Днями Міжнародний союз залізниць і Асоціація вантажоперевізників FERRMED підписали меморандум про розвиток євразійської логістики з перевезення вантажів між Китаєм і ЄС. При цьому основний міжнародний вантажний залізничний маршрут між Китаєм і Європою пройшов уздовж кордону України, а не через Україну. Плануючи маршрут європейсько-китайського коридору, транспортники навмисно обійшли Україну стороною. Основний потік вантажів піде через Білорусь, а Україні залишили лише «запасну гілку» – на карті це тонка нитка ділянки в напрямку Угорщини, Сербії та Словаччини.

Мета

Метою даної роботи є можливість звернути увагу на сучасний стан Українських залізниць та штучних споруд, як важливий елемент залізничного руху – при відсутності мостів рух неможливий зовсім. Зокрема виявлення прямого впливу стану штучних споруд та залізниць на економіку держави.

Методика

Збір даних аварійних подій на штучних спорудах. Вивчення досвіду аварій металевих мостів для винесення уроків, які допоможуть в усуненні причин, що їх спричинили.

Результати

Станом на початок 2016 р. майже 5 тис. прогонових споруд мають строк служби 50 і більше років. З об'єктивних причин цей показник має тенденцію до збільшення, що вимагає, окрім збільшення коштів на їх поточне утримання та капітальний ремонт, впровадження надійної системи діагностики з використанням найсучаснішого устаткування та новітніх технологій.

У практиці експлуатації мостів з цього приводу виникає необхідність розв'язання задач із встановлення режимів подальшої експлуатації мостових споруд, які мають дефекти, що впливають на міцність, довговічність споруди та безпеку руху поїздів. На залізницях діє прийнята в 2011 р. Галузева програма підвищення експлуатаційної надійності та довговічності інженерних споруд залізниць України на 2011-2020 роки.

На стадії зведення конструктивних елементів зазвичай здійснюються усунення дефектів, допущених в ході будівництва, і лікування тріщин. На стадії експлуатації проводять різні види ремонтів, в т. ч. ремонти, пов'язані з відновленням і збільшенням несучої здатності окремих конструкцій або споруди в цілому. У всіх випадках ремонт повинен бути виконаний якісно, гарантувати встановлену довговічність і тривалість міжремонтних термінів.

На фоні зростання вантажонапруженості залізниць інколи трапляються аварії різного рівня та транспортні події. Протягом 12 місяців 2015 року в структурі ПАТ «Укрзалізниця» допущено 602 транспортні події (інциденти, у т. ч. 27 серйозних) проти 673 транспортних подій (інцидентів, із яких 19 серйозних) за аналогічний період 2014 року. Загальну кількість транспортних подій у 2015 році зменшено на 71 випадок проти рівня 2014 року, при цьому допущено збільшення кількості серйозних інцидентів на 8 випадків [23].

До причин залізничних транспортних подій можна віднести:

– недосконаліть, недостатня надійність рухомого складу;

– технічно-конструктивні недоліки об'єктів інфраструктури залізничного транспорту;

– неякісне розроблення проектної документації на будівництво, реконструкцію рухомого

© С. В. Ключник, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

складу та об'єктів інфраструктури залізничного транспорту;

– неякісне виконання ремонтних та будівельних робіт;

– недосконаліть технологічного процесу будівництва, його невідповідність вимогам безпеки руху;

– незадовільний технічний стан рухомого складу та об'єктів інфраструктури залізничного транспорту тощо.

Вихід з ладу металевих конструкцій мостів найчастіше пов'язано з утомою матеріалу під впливом змінюваного в часі експлуатаційного навантаження. Накопичення втомних пошкоджень в зонах концентрації напружень, призводить до появи і розвитку тріщин, які, досягаючи критичних розмірів, спричиняють вихід з ладу окремих елементів, а подекуди й катастрофічне руйнування всієї конструкції. Тому оцінка здатності матеріалу в конструкції чинити опір розвитку втомних пошкоджень має ключове значення для прогнозування експлуатаційної надійності та довговічності мостів. Особливо важлива така оцінка для вже споруджених мостів, які експлуатуються тривалий час, адже в цьому випадку визначення працездатності конструкції саме й полягає у виявленні вже існуючих в ній дефектів (насамперед тріщин) і у з'ясуванні реальної загрози розвитку цих пошкоджень до небезпечних розмірів [20, 21]. Від своєчасного усунення цих пошкоджень у початковій стадії їхнього розвитку залежить надійність і безвідмовність роботи штучних споруд [12, 25, 26, 27].

Нинішній стан економіки і залізничної галузі зокрема вже зараз не може в повній мірі забезпечити потреби, які все збільшуються на утримання штучних споруд. З кожним роком мости і труби стають на рік старіше, їх стан погіршується а, отже, фінансові потреби на утримання мостових споруд зростають і будуть зростати інтенсивніше, досягнувши в якийсь момент критичного значення. Критичним значенням вважатимемо момент, коли ніякі засоби не можуть реанімувати дряхлі штучні споруди до працездатного стану [29].

В одній з перших публікацій, датованій 1894 року E. Elskes [2] проаналізував 42 аварії металевих мостів в період з 1852 до 1893 рр. Причинами руйнування мостів тих часів були:

– проблеми фундаментів;

– помилки при монтажі;

– обвалення при випробуваннях;

– недостатня несуча здатність прогонових будов.

Робота з аналізу причин аварій мостів ведеться в розвинених країнах світу понад 180 років. Її результати показують, що причини аварій можна об'єднати в три групи:

1. Приблизно 60 % аварій відбувалися внаслідок катастрофічних природних впливів: землетруси, зсуви, карстові провали, селі, паводки, льодоходи, статичні і пульсаційні повітряні потоки та інші.

2. Близько 30 % аварій обумовлені дефектами проектування та будівництва.

3. Порядку 10 % аварій є результатами незадовільної експлуатації, в тому числі пропуском наднормативних навантажень [22].

У 1921 році F. Emperger опублікував розділ про аварії, де він підкреслив значення статистичного обліку будівельних аварій і зазначив: «Вона (статистика) внесе значний вклад в наукове розуміння причин аварій» [3].

Книга E. Stamma 1952 року розглядається в якості однієї з класичних робіт по обрушенню залізних і сталевих мостів [1]. Stamm розглянув 42 нещасних випадки, зареєстрованих до 1893 року в книзі Elske [2] разом з кресленнями, та додані біля 100 прикладів аварій від 1891 до 1950 року.

З великої різноманітності ознак якості надійності, до найбільш важливих і істотних стосовно металевих конструкцій слід віднести безвідмовність, розрахункову довговічність, безпеку і ремонтопридатність [22, 26].

Причини аварій обумовлені завжди декількома несприятливими факторами, але головний з них пов'язаний з недосконалістю норм проектування і виконання будівельних робіт.

В роботі [17] виконаний аналіз причин руйнування 143 мостів за період з 1847 по 1975 рр. При цьому життєві цикли мостів до руйнування розбиті на наступні терміни: в процесі будівництва, до двох років після завершення будівництва і після двох років експлуатації.

Металеві конструкції перебувають дещо в гіршому становищі, ніж інженерні конструкції, виконані з інших матеріалів. Високі розрахункові опори і обумовлені ними легкість і ажурність металевих конструкцій можуть привести до того, що недостатній опір тільки одного

© С. В. Ключник, 2017

конструктивного елемента (затяжка в арках і рамах, ванти в вантових конструкціях) викликає аварію всієї конструкції.

Причини і кількість зруйнованих мостів зведені в таблицю 1.

Таблиця 1

Аналіз причин руйнування мостів

№ з/п	Причини аварій	Термін аварії			Кількість, шт., (%)
		В процесі будівництва	До двох років експлуатації	Після двох років експлуатації	
1	Порушення технології спорудження	12			12 (8,4)
2	Невідповідність матеріалів проекту	5			5 (3,5)
3	Неякісні матеріали	3	3	16	22 (15,4)
4	Вітровий вплив	1	2	1	4 (2,8)
5	Землетрус			11	11 (7,8)
6	Повені	1	2	67	70 (49)
7	Втома матеріалу			4	4 (2,8)
8	Корозія			1	1 (0,7)
9	Перевантаження конструкцій	1		13	14 (9,6)
10	Всього	23	7	113	143 (100)

У будівельній практиці відомі такі приклади, коли причиною аварій кам'яних, бетонних, дерев'яних та інших конструкцій були дефекти металевих елементів, що входять в загальний конструктивний комплекс. При дослідженні аварій конструкцій, їх окремих елементів або цілих споруд завжди має місце збіг низки несприятливих чинників. Іноді буває важко правильно встановити причину аварій і відокремити її від наслідку, а це відіграє важливу роль не тільки для розслідування причин катастрофи, але і для їх профілактики в майбутньому.

Без перебільшення можна сказати, що майже при кожному випадку аварії спостерігаються втрати стійкості окремими елементами конструкції, не кажучи вже про те, що з найпоширеніших причин аварій є втрата стійкості елемента конструкції або споруди в цілому. Недоліки, допущені при проектуванні, взаємодіють з помилками при монтажі, неправильною експлуатацією, і все це зазвичай призводить до аварії [22].

Imhof створив одну з найбільших баз даних руйнування мостів (частина його докторської дисертації Imhof 2004) [9]. Вона містить 347 випадків у період між 1813 і 2004 рр. і включає в себе автодорожні, а також залізничні і пішохідні мости. Статистичні дані в базі даних свідчать, що найбільш небезпечні природні явища, взаємодія суден зі штучними спорудами. Також вплив транспортних засобів робить значний внесок у факти обвалів. Список стихійних лих очолюють повені, селі і землетруси. Ця база даних в даний час оновлена шляхом включення останніх інцидентів починаючи з 2004 року.

Розподіл причин відмов по даним руйнування мостів Imhof показано на рис. 1.

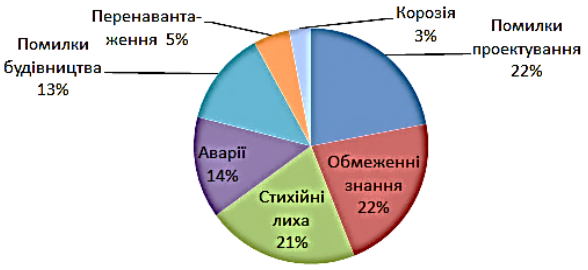

Рис. 1. Розподіл причин відмов по даним руйнування мостів

Найбільш важливими факторами, які сприяють руйнуванню: помилки проектування (22 %), (наприклад конструкція сполучення поздовжніх і поперечних балок проїзної частини з

© С. В. Ключник, 2017

поверховим розташуванням); недостатні знання (22 %) і стихійні лиха (21 %); трохи менша доля припадає на нещасні випадки (14 %), помилки будівництва (13 %) та перенавантаження (5 %) [9].

Цікаве спостереження полягає в тому, що недостатні знання виявляються первісною причиною виходу з ладу саме металевих мостів, в порівнянні з причинами аварій споруд із інших матеріалів усієї бази даних відмов мостів. Це може бути пов'язано з тим, що технологія виробництва матеріалу та самих прогонових будов для металевих мостів часто удосконалювалась ривками. Як правило, це пов'язано з прогресом у виробництві заліза чи сталі або способу з'єднання металевих конструкцій. Природні небезпеки і помилки проектування знаходяться у верхній частині списку для обох баз даних, хоча перша причина має трохи менший вплив для металевих мостів. Перенавантаження має незначний вплив на металеві мости по статистичним даним всієї бази аварій мостів Imhof. Також цікаво відзначити, що тільки 3 % руйнувань з 87 %, викликане проблемами корозії, яка також, відповідно до результатів отриманих даних Imhof, може частково впливати на ці спостереження. Іншими словами, погіршення стану викликане корозією, найчастіше, можливо виправити перш ніж вона досягла такого рівня, при якому корозія є основною причиною обвалу.

Аналіз причин руйнування мостів держав СНГ за останні роки (проаналізовано 68 аварій [7]) виділяє основні показники:

1. Повне руйнування або провали в мостовому полотні старих мостів, причина – зниження вантажопідйомності через відсутність належного утримання. Може впасти як від власної ваги (15 випадків), так і після проїзду великовантажного транспорту (8 випадків) – 33,8 %;

2. Нерозрахований паводок або прорахунки в гідрології та геології – 14 випадків (20,6 %), що характерно для гірських районів і великих річок;

3. В'їзд важких вантажівок в опори або рух самоскидів з піднятим кузовом (страждають в основному пішохідні мости) – 9 випадків (13,2 %);

4. Порушення технології виробництва робіт або взагалі порушення проекту виконання робіт (ПВР) – 8 випадків (11,8 %);

5. Перевищення проектної вантажопідйомності старих мостів і помилки проектування нових – по 4 випадки (5,9 %). Але якщо за помилки проектування вважати «змиті» мости (неправильне гідрологічне обґрунтування), то помилки переміщаються на друге місце з результатом 18 випадків (26,5 %) [7].

Таким чином, досвід аварій мостів наводить на висновок, що якщо не враховувати природні явища, на які не впливає людина, то фактори втрати стійкості окремими елементами конструкції та втома матеріалів вивчені не досить остаточно. Втомні властивості слід досліджувати, для винесення уроків, які допоможуть в усуненні причин, що їх спричинили.

У вітчизняних нормах розрахунку мостів [13-15] втомні властивості матеріалів та зварних з'єднань враховують недостатньо. Зарубіжні рекомендації з цього питання, зокрема в рекомендаціях, розроблених Американською асоціацією державної служби магістралей і транспорту (American Association of State Highway and Transportation Officials — AASHTO), введені певні обмеження на допустимі циклічні навантаження відповідно до товщини та геометрії окремих вузлів. Досвід використання такого підходу показав, що він забезпечує необхідну для інженерної практики точність розрахунку при достатньо великих напруженнях і малій кількості циклів навантаження. Проте в ділянці багатоциклового навантажування (біля порогу втоми), що більше відповідає умовам навантажування мостів, такий розрахунок може призводити до значних похибок. Крім цього, він більше підходить для проектування нових мостів, ніж для оцінки ступеня деградації конструкцій, які вже довший час експлуатуються.

Значно ширші можливості для розрахунку втомної міцності та довговічності конструкцій відкривають сучасні підходи механіки руйнування [11]. Такі розрахунки в поєднанні з періодичним контролем конструкцій на дефектність за допомогою неруйнівних методів є практично ідеальним інструментом для оцінки працездатності металевих мостів після їх довготривалої експлуатації з урахуванням дефектів, які існують (чи можуть існувати) в матеріалі.

Застосування механіки втомного руйнування до розрахунку автомобільних та залізничних

© С. В. Ключник, 2017

мостів має певні специфічні особливості. Пов'язані вони в основному з випадковим характером зовнішніх впливів, насамперед експлуатаційних навантажень та факторів, які визначають кінетику втомного руйнування і гранично-рівноважний стан конструкції. Така ситуація характерна взагалі для будівельних конструкцій. Тому при їх розрахунку перевагу слід надавати не детерміністичним, а імовірнісним підходам, які дають можливість не лише виявити умови, які відповідають небезпечному з погляду міцності стану конструкції, але й оцінити реальний ризик виникнення таких умов [18, 19, 24]. Стосовно мостів цей аспект проблеми тим більше важливий, оскільки сучасні вимоги до їх працездатності орієнтовані на імовірнісні показники – міст вважається придатним до експлуатації, якщо ймовірність його руйнування не перевищує заданої допустимої величини [13-15, 30].

Вимога економії матеріалів є однією з основних особливостей сучасного етапу в розвитку всього суспільства і в розвитку будівельного виробництва сталевих конструкцій. Виконання цієї вимоги можливо лише при повному і правильному врахуванні роботи конструкції та матеріалу, з якого вона виготовлена.

Останнім часом у всьому світі в теорії розрахунку сталевих конструкцій дедалі ширшим стає перехід від пружного розрахунку до розрахунку з урахуванням пластичних властивостей матеріалу. Разом з тим сучасний стан вимог нормативних документів ще не в повній мірі відображає дійсну роботу як самої конструкції, так і її матеріалу. Здебільшого конструкції проектують на основі пружних розрахунків, коли граничний стан характеризується досягненням межі текучості в найбільш напружених волокнах перерізу. Однак відомо [4], що текучість матеріалу в найбільш напружених волокнах не є граничним станом, так як несуча здатність конструкції часто ще далеко не вичерпана. Тому необхідно використовувати пластичність сталі при проектуванні сталевих конструкцій, оскільки це призводить у більшості випадків до економії матеріалу.

Вимога економії матеріалу і часткове використання пластичних властивостей сталі знайшли своє відображення в сучасних нормах з проектування сталевих конструкцій [13-15, 30]. Згідно з вимогами цих норм недонапруження в перетинах елемента не повинно перевищувати 5 %. Однак, кручення стрижнів і додаткові нормальні і дотичні напруження, які виникають внаслідок цього, незважаючи на їхню значимість, ніяк не регламентуються. А саме металеві конструкції найбільше чутливі до впливу зовнішнього навантаження, так як поперечний переріз елементів має мінімальні запаси міцності, бо вони дуже близькі до розрахункових навантажень. Інколи достатньо пошкодження одного елемента щоб цілком стійка конструкція миттєво перетворилась в змінну.

Для практичних розрахунків на сьогоднішній день єдиною нормативною характеристикою надійності конструкцій при оцінюванні міцності є коефіцієнти, які використовують у чинних нормах [13-15]: за матеріалами γ_m, за навантаженням γ_t, за призначенням γ_n, умов роботи γ_c. Зазначені коефіцієнти можуть бути зведені до повного коефіцієнта надійності γ.

Поєднання методів механіки руйнування з імовірнісними підходами для оцінки ризику руйнування – імовірнісна механіка втомного руйнування, – тепер активно розвивається і застосовується в інженерній практиці. На її основі проводять проектні розрахунки на міцність, визначають допустимі розміри дефектів і розраховують оптимальні режими дефектоскопічного контролю найбільш відповідальних елементів конструкцій в авіації та ракетобудуванні, енергетиці та інших галузях. Дуже ефективним виявився цей підхід і при визначенні надійності металевих мостів. Зараз його вважають найбільш ефективним методом з'ясування працездатності конструкцій після довготривалої експлуатації, включаючи і конструкції, які вже відпрацювали початковий (проектний) ресурс.

Наразі ж в Україні розпочато процес переходу до європейських стандартів проектування будівельних конструкцій. Головним керівним документом у сфері проектування споруд на території Європейського Союзу на сьогоднішній день є Єврокоди, які в комплексі визначають всі основні етапи проектування споруд різного призначення. Нормативним документом, який визначає розрахункові моделі та навантаження на мости наразі є ДСТУ-НБ EN 1991-2:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 2. Рухомі навантаження на мости».

© С. В. Ключник, 2017

Оцінка втоми взагалі та перевірка рівня напружень, здійснюється згідно з EN 1992, EN 1993 і EN 1994. [24].

Оцінку втоми слід здійснювати на підставі змішуваня режимів руху, «стандартний рух», «рух з навантаженням 250 кН на вісь» або «легкий змішаний рух» залежно від того, чи змішувався стандарт руху перевезень, в основному рух важкого вантажу або легкий рух. Динамічний фактор враховує динамічне збільшення напружень і коливань конструкції, проте не враховує явище резонансу. Квазістатичні методи, які виходять зі статики і збільшують результати множенням на динамічний коефіцієнт, не можуть передбачувати резонансні явища, що виникають при високошвидкісному русі. Тут для передбачення динамічних явищ і резонансу потрібні динамічні методи розрахунку, які враховують залежність навантаження від часу в рамках високошвидкісної розрахункової моделі (HSLM), тобто шляхом розв'язання рівнянь руху [24].

Ймовірнісний підхід на початкових етапах розвитку теорії ймовірностей застосовували переважно в ситуаціях, коли можна було стверджувати про повторюваність подій. У технічних та фізичних застосуваннях ймовірність практично ототожнювалася з частотою.

Як показали фундаментальні дослідження [16], ймовірності можна дати інтерпретацію, яка відмінна від статистичної. Уточнення результату прогнозування залишкового ресурсу конструкції може бути забезпечене використанням імовірнісного розрахунку конструкції (міцності, стійкості). Імовірнісний розрахунок дозволяє врахувати фактичні значення параметрів конструкцій та їх мінливість, отримані при виконанні обстеження.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова зацікавленість полягає в тому, що при достатньому досвіду будівництва та експлуатації штучних споруд, використанні сучасних технологій та матеріалів на цей час аварії мостів – явище не рідке. Тому досвід аварій штучних споруд треба вивчати, аналізувати та використовувати в подальших рішеннях.

Доведення, що ймовірнісний підхід може бути використаний при розрахунках, а також застосування норм Єврокодів – це можливий шлях до вирішення питання узаконення ймовірнісного підходу.

Висновки

На основі виконаного аналізу, враховуючи досвід аварійності мостів, можна засвідчити, що фактори втрати стійкості окремими елементами конструкції та втома матеріалів вивчені не досить достатньо, втомні властивості слід досліджувати, для формування висновків, отриманих з досвіду аварій мостів, щоб допомогти в усуненні причин, що їх спричинили.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ackermann, H. Brückeneinstürze und ihre Folgen. (see also other sources in Section 3.7) – Bauing, 1972. – pp. 9-11.
2. Elskes, E. Rupture des ponts métalliques. Lausanne : Georges Bridel, 1894.
3. Foerster, M. Der Einsturz der Dachkonstruktion der Görlitzer Stadthalle. – Eisenbau 1, 1908. – pp. 163-166.
4. Gibalenko, A. N. Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard / A. N. Gibalenko, V. Korolov, J. Filatov // Aktualnie problem konstrukcji metalowych : Abstr. II Polish-Ukrainian International Conference APMK (27.11–28.11.2014) / University of Technology. – Gdansk, 2014. – pp. 98-102.
5. Газета «Дело» [Электронный ресурс] http://delo.ua/business/dvizhenie-na-meste-v-2016-godu- ukrzaliznycja- planiruet-uvelichit-312178/ delo.ua
6. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://om.net.ua/8/8_8/8_84143_sistema-pan-evropeyskih-transportnih-koridorov.html
7. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://politikus.ru/articles/83918-sovetskiy-resurs-ischerpan-na-ukraine-nachinaetsya-massovoe-obrushenie-mostov.html
8. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://strana.ua/articles/analysis/181230-ukraina-mozhet-poterjat-hihantskie-sredstva-ot-tranzitnykh-perevozok-mezhdu-kitaem-i-evropoj.html].
9. Imhof, D. 2004. Risk assessment of existing bridge structures. *PhD Thesis.* University of Cambridge, UK.
10. Андреева, Л. Сезонная диагностика [Электронный ресурс] / Л. Андреева // Газета «Магістраль», 09.04.2014. – Режим доступа: http://www.magistral-uz.com.ua

© С. В. Ключник, 2017

11. Безпалов, Л. Н. Оценка влияния отклонений от проектных решений в конструкции ортотропной плиты металлического пролетного строения на НДС и усталостную долговечность [Текст] / Л. Н. Безпалов, М. Г. Мальгин // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Київ : – НТУ, 2009. – Вип. 77. – С. 9-15.
12. Бокарев, С. А. Содержание искусственных сооружений с использованием информационных технологий : учеб. пособие для вузов ж.-д. тр-та [Текст] / С. А. Бокарев, С. С Прибытков., А. Н. Яшнов. – Москва : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 195 с.
13. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи [Текст]. – Надано чинності 2009-11-11. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 83 с.
14. 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.
15. ДБН В.2.3-6-2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування [Текст]. – Надано чинності 2010-03-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 42 с.
16. Дмитриев, Ф. Д. Крушение инженерных сооружений [Текст] / Ф. Д. Дмитриев. – Москва : Госстройиздат, 1953. – 188 с.
17. Закора, А. Л. Анализ причин аварий мостовых конструкций [Текст] / А. Л. Закора, С. В. Ключник, В. В. Марочка, Р. С. Железняк, Т. В. Фесенко // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. Збірник наукових праць. Вип. 6, Львів, 2009. – С. 616-623.
18. Інструкція з визначення умов пропуску рухомого складу по металевих та залізобетонних залізничних мостах [Текст]. – Надано чинності 2002-06-10. Головне управління колійного господарства Укрзалізниці. – Київ : Мін. транспорту України, 2002. – 301 с.
19. Інструкція по утриманню штучних споруд [Текст]. – Надано чинності 1999-04-27. / В. Ф. Сушков, Л. П. Ватуля, М. М. Літвінов і ін. – Київ : Мін. транспорту України, 1999. – 96 с.
20. Линник, Г. О. Відновлення експлуатаційного ресурсу та підвищення несучої здатності прогонових будов залізничних мостів [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.01 / Линник Георгій Олегович; Придніпровська. державна академія будівництва та архітектури, 2011. – С. 15-16.
21. Линник, Г. О. Шляхи удосконалення системи управління станом штучних споруд на залізницях України [Текст] / Г. О. Линник, В. І. Соломка // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2012. – Вип. 3. – С. 106-110.
22. Мирошник, В. А. Проблемы аварийности мостовых конструкций [Текст] / В. А. Мирошник, С. В. Ключник, М. К. Журбенко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2012. – Вип. 1. – С. 55-59.
23. Міжнародний техніко-економічний журнал «Українська залізниця», 2016 р. – №7.
24. Національний стандарт України ДСТУ-НБ EN 1991-2:2010. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 2. Рухомі навантаження на мости (EN 1991-2:2003). – Надано чинності 2013-07-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2003. − 217 с.
25. Положение по оценке состояния и содержания искусственных сооружений на железных дорогах СССР [Текст]. – Москва : Транспорт, 1991. – 12 с.
26. Рекомендации по расчету стальных конструкций по критериям ограниченных пластических деформаций. ЦНИИ Проектстальконструкция им. Мельникова [Текст]. – Москва, 1985. – С. 3-4.
27. Рузов, А. М. Эксплуатация мостового парка : учеб. пособие для студ. высш. учебн. заведений [Текст] / А. М. Рузов. – Москва : Издательский центр «Академия», 2007. – 176 с.
28. Совместное исследование о развитии евроазиатских транспортных связей. ООН [Текст]. – Нью-Йорк и Женева, 2008. – 275 с.
29. Солдатов, К. И. Курс на усиление и реконструкцию эксплуатируемых искусственных сооружений железных дорог Украины [Текст] / К. И. Солдатов, С. Е. Блохин // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 33. – С. 262-271.
30. Пшінько, О. М. Аналіз сучасних підходів до організаційно-технологічної надійності транспортних споруд [Текст] / О. М. Пшінько, А. В. Радкевич, І. В. М'якенька // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2012. – Вип. 1. – С. 88-93.

С. В. КЛЮЧНИК*

* Кафедра «Мости та тунелі», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (050) 667 40 49, эл. почта ssser05@ukr.net, ORCID 0000-0001-7771-8377

© С. В. Ключник, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Цель. Целью данной работы является анализ современного состояния и аварийности металлических пролетных строений железнодорожных мостов. **Методика.** Сбор данных аварийных событий на искусственных сооружениях. Изучение опыта аварий металлических мостов для извлечения уроков, которые помогут в устранении причин, их повлекших. **Результаты.** Результатом данной работы является собранные данные о состоянии и аварии искусственных сооружений различных источников. **Научная новизна.** Научная заинтересованность заключается в том, что при достаточном опыте строительства и эксплуатации искусственных сооружений, использовании современных технологий и материалов в настоящее время аварии мостов – явление не редкое. Поэтому опыт аварий искусственных сооружений следует изучать, анализировать и использовать в дальнейших решениях. Доказательства, что вероятностный подход может быть использован при расчетах, а также применение норм Еврокодов – это возможный путь к решению вопроса узаконивания вероятностного подхода. **Практическая значимость.** Опираясь на полученные данные можно сделать вывод, что факторы потери устойчивости отдельными элементами конструкции и усталость материалов изучены недостаточно, усталостные свойства следует исследовать, для формирования выводов, полученных из опыта аварий мостов, чтобы помочь в устранении причин, их повлекших.

Ключевые слова: металлические пролётные строения, искусственные сооружения, аварии мостов, усталость материалов, европейские стандарты

S. V. KLUTCHNIK*

*Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (050) 667 40 49, e-mail ssser05@ukr.net, ORCID 0000-0001-7771-8377

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF METAL RUNWAYS OF RAILWAY BRIDGES

Purpose. The purpose of this work is to analyze the current state and accident rate of metal span structures of railway bridges. **Methodology.** Data collection of emergency events on artificial structures. Studying the experience of accident of metal bridges for taking lessons that will help to eliminate the causes that caused them. **Findings**. The result of this work is the collected data on the state and accident of artificial structures of various sources. **Originality**. The scientific interest is that with sufficient experience in the construction and operation of artificial structures, the use of modern technologies and materials at this time of bridge crash is not a rare phenomenon. Therefore, the experience of accidents in artificial constructions should be studied, analyzed and used in future decisions. Proving that a probabilistic approach can be used in calculations, as well as the application of norms Eurocodes – this is a possible way to address the question of legitimizing the probabilistic approach. **Practical value**. Based on the data obtained, it is possible to conclude that the factors of the loss of stability of the individual elements of construction and the fatigue of the materials have not been sufficiently studied, the fatigue properties should be investigated, in order to draw conclusions derived from the experience of bridges in order to help eliminate the causes that caused them.

Keywords: metal runners, pieces, dispute, avari most, vtom materiv, evropijsk standarti

REFERENCES

1. Ackermann H. Brückeneinstürze und ihre Folgen (see also other sources in Section 3.7). Bauing, 1972, pp. 9-11.
2. Elskes E. Rupture des ponts métalliques. Lausanne: Georges Bridel, 1894.
3. Foerster M. Der Einsturz der Dachkonstruktion der Görlitzer Stadthalle. Eisenbau 1, 1908, pp. 163-166.
4. Gibalenko A. N., Korolov V., Filatov J. Design requirements to structural steel durability based on level of industrial facility corrosion hazard. Aktualnie problem konstrukcji metalowych, Abstr. II Polish-Ukrainian International Conference APMK (27.11-28.11.2014). University of Technology. Gdansk, 2014, pp 98-102.
5. [Electronic resource]. Available at: http://delo.ua/business/dvizhenie-na-meste-v-2016-godu- ukrzaliznycja-planiruet-uvelichit-312178/ delo.ua

© С. В. Ключник, 2017

6. [Electronic resource]. Available at: http://om.net.ua/8/8_8/8_84143_sistema-pan-evropeyskih-transportnih-koridorov.html
7. [Electronic resource]. Available at: http://politikus.ru/articles/83918-sovetskiy-resurs-ischerpan-na-ukraine-nachinaetsya-massovoe-obrushenie-mostov.html
8. [Electronic resource]. Available at: https://strana.ua/articles/analysis/181230-ukraina-mozhet-poterjat-hihantskie-sredstva-ot-tranzitnykh-perevozok-mezhdu-kitaem-i-evropoj.html].
9. Imhof D. Risk assessment of existing bridge structures. PhD Thesis. University of Cambridge, UK. 2004.
10. Andreeva Lada «Sezonnaja diagnostika», gazeta «Magistral'», 09.04.14. [«Seasonal diagnostics», newspaper «Magistral». 04.09.14]. [Electronic resource]. Available at: http://www.magistral-uz.com.ua.
11. Bezpalov L. N., Mal'gin M. G. Ocenka vlijanija otklonenij ot proektnyh reshenij v konstrukcii ortotropnoj plity metallicheskogo proletnogo stroenija na NDS i ustalostnuju dolgovechnost' [Assessment of the influence of deviations from design solutions in the design of an orthotropic slab of a metal span structure on VAT and fatigue durability] *Avtomobil'ni dorogi i dorozhnє budivnictvo – Roads and road construction.* Kyjiv, NTU Publ., 2009, issue 77, pp. 9-15.
12. Bokarev S. A., Pribytkov S. S., Jashnov A. N. *Soderzhanie iskusstvennyh sooruzhenij s ispol'zovaniem informacionnyh tehnologij*: ucheb. posobie dlja vuzov zh.-d. tr-ta [The content of artificial structures using information technology: studies. manual for universities of railway transport]. Moskow, GOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniju na zheleznodorozhnom transporte», 2008. 195 p.
13. *DBN V.1.2-15:2009. Mosty ta truby. Navantazhennja ta vplyvy* [Bridges and pipes. Loads and effects]. Kyjiv, Minreghionbud Ukrajiny Publ., 2009. 83 p.
14. *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.
15. *DBN V.2.3-6-2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennya i vyprobuvannya* [State Standard V.2.3-6-2009. Transport constructions. Bridges and pipes. Inspection and testing]. Kyjiv, Minrehionbud Ukrayiny Publ., 2009. 42 p.
16. Dmitriev F. D. Krushenie inzhenernyh sooruzhenij [Crash of engineering structures]. Moskow, Gosstrojizdat Publ., 1953. 188 p.
17. Zakora A. L., Kljuchnik S. V., Marochka V. V., Zheleznjak R. S., Fesenko T. V. Analiz prichin avarij mostovyh konstrukcij [Analysis of the causes of accidents of bridge structures]. *Diahnostyka, dovhovichnist ta rekonstruktsiia mostiv i budivelnykh konstruktsii – Diagnostics, durability and reconstruction of bridges and building constructions*. Issue 6, Lviv, 2009. pp. 616-623.
18. *Instruktsiia z vyznachennia umov propusku rukhomoho skladu po metalevykh ta zalizobetonnykh zaliznychnykh mostakh* [Instruction on determining the conditions for passing the rolling stock on metal and reinforced concrete bridges]. Holovne upravlinnia koliinoho hospodarstva Ukrzaliznytsi [The main department of the railways of Ukrzaliznytsia]. Kyjiv, Ministerstvo transportu Ukrainy Publ., 2002. 301 p.
19. Sushkov V. F., Vatulia L. P., Litvinov M. M. i in. *Instruktsiia po utrymanniu shtychnykh sporud* [Instruction on the maintenance of artificial structures]. Kyjiv, Transport Ukrainy Publ., 1999. 96 p.
20. Lynnyk H. O. *Vidnovlennia ekspluatatsiinoho resursu ta pidvyshchennia nesuchoi zdatnosti prohonovykh budov zaliznychnykh mostiv.* Avtoreferat Diss. [Restoration of operational resource and increase of bearing capacity of runways of railway bridges. Author's abstract.], Dnipropetrovsk, 2011. 16 p.
21. Lynnyk H. O. Shliakhy udoskonalennia systemy upravlinnia stanom shtuchnykh sporud na zaliznytsiakh Ukrainy [Ways of improvement of the system of management of the state of artificial structures on the railways of Ukraine]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 106-110.
22. Miroshnik V. A., Kljuchnik S. V., Zhurbenko M. K. Problemy avarijnosti mostovyh konstrukcij [Accident problems of bridge structures]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 1, pp. 55-59.
23. *Mizhnarodnyi tekhniko-ekonomichnyi zhurnal «Ukrainska zaliznytsia» – International technical and economic magazine "Ukrainian Railway"*, 2016. Num. 7.
24. *Nacionaljnyj standart Ukrajiny DSTU-NB EN 1991-2:2010.* Jevrokod 1. Diji na konstrukciji. Chastyna 2. Rukhomi navantazhennja na mosty (EN 1991-2:2003) [National Standard of Ukraine DSTU-NB EN 1991-2: 2010. Eurocode 1. Actions on the design. Part 2. Moving load on bridges (EN 1991-2: 2003)]. Kyjiv, Minreghionbud Ukrajiny Publ., 2003. 217 p.

© С. В. Ключник, 2017

25. Polozhenie po ocenke sostojanija i soderzhanija iskusstvennyh sooruzhenij na zheleznyh dorogah SSSR [Regulation on the assessment of the status and maintenance of artificial structures on the railways of the USSR]. Moskow, Transport Publ., 1991. 12 p.
26. Rekomendacii po raschetu stal'nyh konstruk-cij po kriterijam ogranichennyh plasticheskih deformacij. CNII Proektstal'konstrukcija im. Mel'nikova [Recommendations for the calculation of steel structures according to the criteria of limited plastic deformations. Central Research Institute Design Melnikova]. Moskow, 1985. pp. 3-4.
27. Ruzov A. M. Jekspluatacija mostovogo parka: ucheb. posobie dlja stud. vyssh. uchebn. zavedenij [Operation of the bridge park: studies. allowance for stud. higher studies institutions]. Moskow, Izdatel'skij centr «Akademija» Publ., 2007. 176 p.
28. Sovmestnoe issledovanie o razvitii evro-aziatskih transportnyh svjazej. OON [Joint study on the development of Euro-Asian transport links. UN]. N'ju-Jork i Zheneva, 2008. 275 p.
29. Soldatov K. I., Blohin S. E. Kurs na usilenie i rekonstrukciju jekspluatiruemyh iskusstvennyh sooruzhenij zheleznyh dorog Ukrainy [The course on strengthening and reconstruction of the operated artificial structures of Ukraine's railways]. *Visnik Dnipropetrovs'kogo nacional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu imeni akademika V. Lazarjana – Herald of the Dnipropetrovsk National University of Transport Transport and Academicians V. Lazaryan*. Dnipropetrovsk, 2010. Issue. 33. pp. 262-271.
30. Pshinjko O. M., Radkevych A. V., M'jakenjka I. V. Analiz suchasnykh pidkhodiv do orghanizacijno-tekhnologhichnoji nadijnosti transportnykh sporud [Analysis of modern approaches to the organizational and technological reliability of transport facilities]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 88-93.

Надійшла до редколегії 24.10.2017
Прийнята до друку 03.11.2017

© С. В. Ключник, 2017

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.19-044.923:[004.9:517.96]

В. П. КУПРІЙ[1*], О. Л. ТЮТЬКІН[2], П. Є. ЗАХАРЧЕНКО[3]

[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 kypriy@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, ел. пошта paul902tv@gmail.com

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРИКЛАДНОЇ ПРОГРАМИ «ЛІРА» ПРИ РОЗРАХУНКАХ ОПРАВ ТУНЕЛІВ НЕКОЛОВОГО ОКРЕСЛЕННЯ

Мета. В статті досліджено вплив на напружено-деформований стан параметрів скінченно-елементної моделі, побудованої в програмному комплексі «Ліра», в чисельному аналізі тунелів неколового окреслення. **Методика.** Для досягнення поставленої мети, авторами в програмному комплексі «Ліра» були розроблені скінченно-елементні моделі калотної частини виробки при будівництві двоколійного залізничного тунелю. В кожній з моделей в програмному комплексі «Ліра» була конкретним способом дискретизована зона взаємодії із тимчасовим кріпленням. Після створення моделей, проводився їх чисельний аналіз із детальним дослідженням його результатів. **Результати.** В скінченно-елементних моделях отримані значення деформацій і напружень по горизонтальній і вертикальній осям, а також максимальні значення моментів і поздовжніх сил в тимчасовому кріпленні. Виконаний порівняльний аналіз компонент напруженого і деформованого станів при зміні параметрів скінченно-елементної моделі. Побудовані графіки закономірностей вказаних результатів від особливостей дискретизації двох моделей. Досліджено третю скінченно-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 скінченних елементів, від розмірів розрахункової області ґрунтового масиву, а також від умов урахування дійсної (пружної чи пластичної) роботи ґрунтового масиву. **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 скінченних елементів; тунель; неколове окреслення; дискретизація; напружено-деформований стан

Вступ

При розрахунках тунелів та інших підземних споруд в даний час використовується чисельні методи, наприклад, метод скінченних елементів (МСЕ), реалізований в сучасних програмних комплексах (ПК) [1-4]. Використання таких ПК обумовлене і настановами діючого ДБН [5], в п. 5.28 якого зазначено: «В загальному випадку оправу підземної споруди і ґрунтовий масив, який її вміщує, слід розглядати як єдину систему "оправа – масив", яка працює в режимі спільної деформації».

Розгляд єдиної системи «оправа – масив» неможливо зробити при розрахунках методом сил, оскільки в цьому методі, як і в інших точних або наближених методах, існує обмеженість моделювання масиву. Частіш усього, і оправа, і масив замінюються простими елементами типу стержнів або взагалі функціями, що описують форму та положення елементів. Режим спільної деформації, особливо у наближених методах, наприклад, Зурабова-Бугаєвої, замінюється режимом місцевої деформації, що реалізується у вигляді епюр пружного відпору або основи Фуса-Вінклера [6, 7].

Для розрахунку та моделювання роботи підземних споруд широко використовується програмний комплекс «Ліра», в якому для моделювання роботи ґрунту використовуються фізично нелінійний скінченний елемент (СЕ 281-284). Але при моделюванні роботи підземних спо-

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

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

руд, що споруджені або споруджуються в скельних та напівскельних породах, більш схильних до лінійного деформування під навантаженням, використання цього скінченного елементу не є правильним. Тому для моделювання скельного ґрунту частіше використовують скінченні елементи плоскої задачі (типу «пластина») із заданими параметрами жорсткості, тобто при моделюванні роботи системи «оправа – масив» виникають деякі протиріччя, які потрібно враховувати.

Також слід відмітити, що використання результатів розрахунків МСЕ при проектуванні тунельних оправ привели до того, що форма та геометричні розміри оправ стали досить сильно відрізнятися від класичних, що розраховувались методами сил, Метропроекту, Метродіпротрансу, Давидова, Орлова тощо [6-8].

На рис. 1 наведена оправа для скельних ґрунтів з класичного підручника [6], в якій зворотне склепіння відсутнє, а на рис. 2 наведена оправа нещодавно побудованого тунелю, в конструкції якого зворотне склепіння наявне, причому його товщина перевищує товщину верхнього склепіння тунелю в замку.

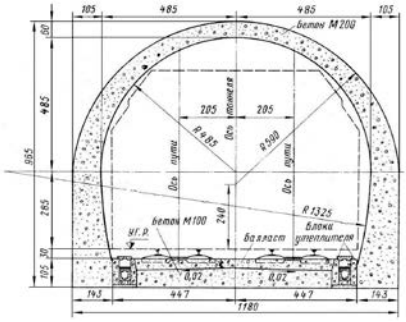

Рис. 1. Оправа двоколійного залізничного тунелю

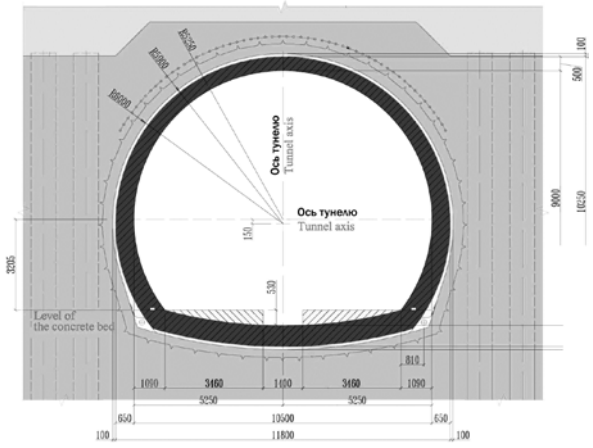

Рис. 2. Оправа двоколійного залізничного тунелю

Слід підкреслити, що існуючі раніше нормативні документи не рекомендували використовувати зворотне склепіння в скельних ґрунтах або його товщина приймалася в межах 60…80 % товщини склепіння в замку.

На рис. 3 приведено оправу автодорожнього тунелю в скельних ґрунтах з класичного підручника [7], де наявне зворотне склепіння, проте його товщина значно менша за товщину склепіння в замку та стінах. Для порівняння на рис. 4 приведено оправу нещодавно побудованого автодорожнього тунелю, в якому товщина зворотного склепіння перевищує товщину верхнього склепіння тунелю.

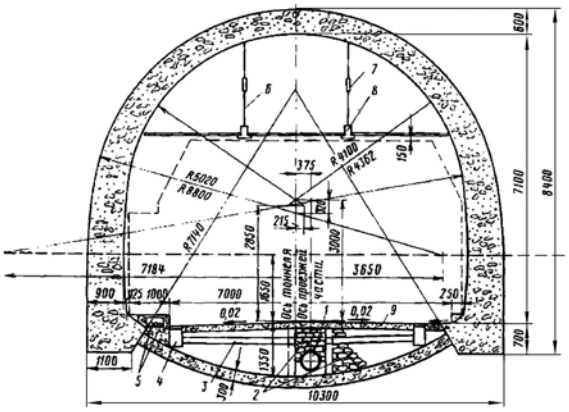

Рис. 3. Оправа автодорожнього тунелю (із джерела [7])

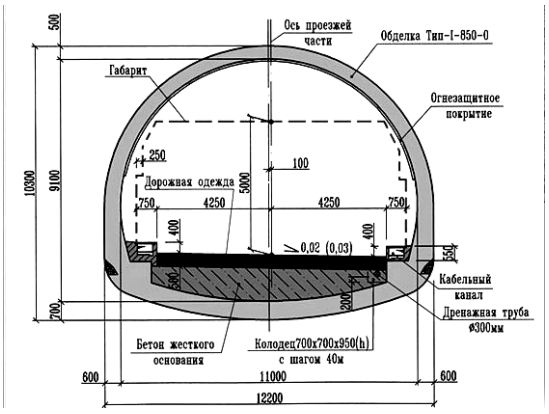

Рис. 4. Оправа автодорожнього тунелю

Аналіз вказаних ситуацій свідчить про те, що застосування різних підходів до проектування тунелів значно впливає на їх форму та геометричні параметри. Причому в якості наукової гіпотези можна висунути припущення, що застосування ПК, що реалізують МСЕ, на-

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

дає таких результатів, що спотворюють розуміння взаємодії в системі «оправа – масив» і дозволяють проектувати конструкції із необґрунтованими розмірами.

Мета

Враховуючи аналіз ситуації в розрахунках тунелів, метою наданої роботи є з'ясування впливу на напружено-деформований стан (НДС) особливостей застосування прикладних програм на основі МСЕ та подальше врахування параметрів скінченно-елементної моделі в чисельному аналізі тунелів неколового окреслення, що споруджуються в скельних породах.

Методика

Моделювання взаємодії з оточуючим ґрунтовим масивом тимчасового кріплення при будівництві двоколійного залізничного тунелю проводилося з застосуванням ПК «Ліра» [1, 9] лише для калотної частини виробки. Ґрунтовий масив дискретизовано за допомогою універсальних чотирикутних та трикутних скінченних елементів (в СЕ-бібліотеці ПК «Ліра» – № 281, 284, 282).

Загальний вигляд моделі представлений на рис. 5, ґрунтовий масив змодельований за допомогою скінченних елементів № 281 розміром 0,5×0,5 м. Модель мала розміри: ширина – 81,2 м, висота – 81 м. Виробка має наступні параметри: ширина – 11,6 м, висота – 5,8 м.

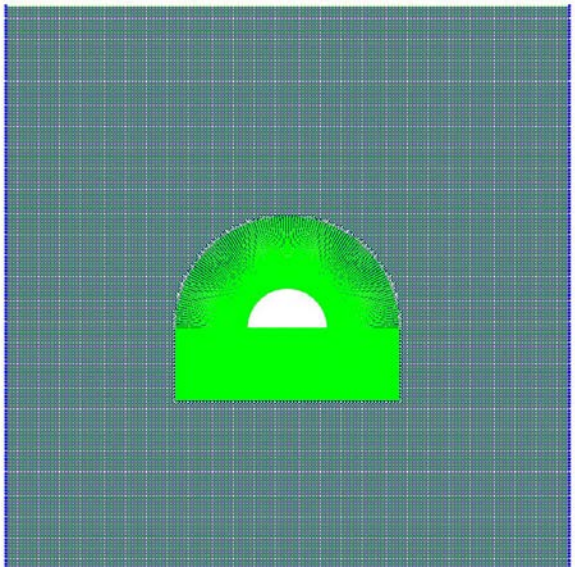

Рис. 5. Загальний вигляд моделі

Тимчасове кріплення змодельоване як аркове безшарнірне з двотавру № 20 за допомогою стержневих СЕ № 10 (рис. 6).

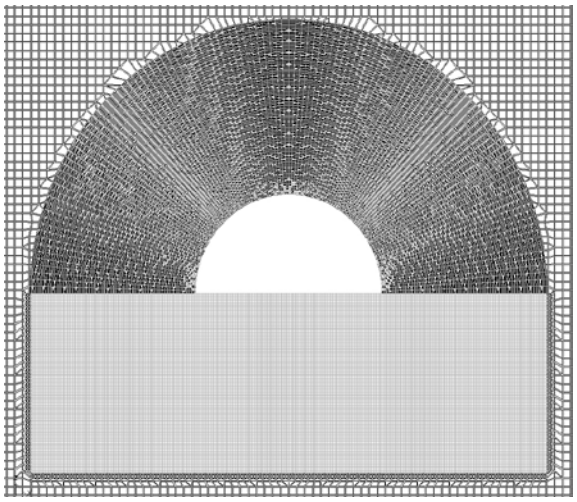

Рис. 6. Вигляд моделі навколо виробки

Оскільки склепіння виробки має неколове окреслення, то дискретизувати ґрунтовий масив за допомогою тільки прямокутних скінченних елементів неможливо [10-16]. У ПК «Ліра» дискретизація ґрунтового масиву з трикутних або чотирикутних скінченних елементів в зоні взаємодії з тимчасовим кріпленням проводиться за допомогою інструменту «Створення та тріангуляція контуру» (див. рис. 6) [9, 12].

Результати

Результати розрахунків представлені на рис. 7-8. На рисунку 7 наведено ізополя переміщень у ґрунтовому масиві по осі *Z*.

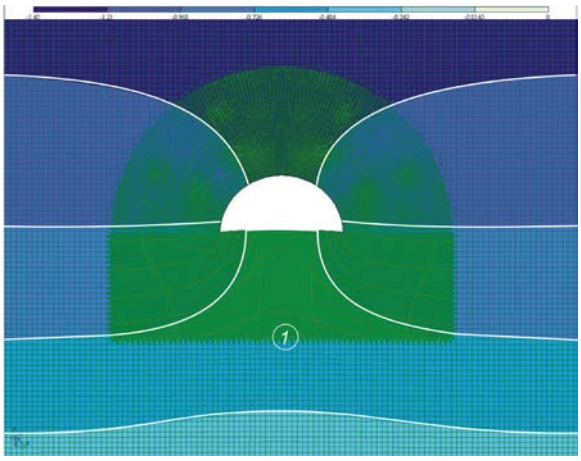

Рис. 7. Ізополя переміщень у ґрунтовому масиві по осі *Z*

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

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

В зоні взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом відмічається деформування ґрунту в склепінні виробки сумісно з тимчасовим кріпленням, що прогнозовано, але і підошва виробки деформується з товщою у три рази більшою за висоту виробки (1), що у скельних ґрунтах не спостерігається.

Ізополя напружень у ґрунтовому масиві по осі *X* показані на рис. 8. Максимальні стискаючі напруження у ґрунтовому масиві по осі *X* у зоні взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом збільшуються біля підошви виробки, а розтягнута зона напружень виникає у підошві виробки.

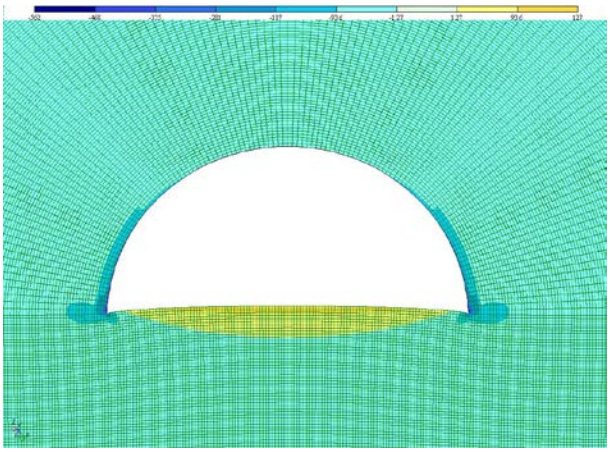

Рис. 8. Ізополя напружень у ґрунтовому масиві по осі *X*

На перший погляд, підошва виробки найбільше деформується та має більші напруження, що і призводить до посилення зворотного склепіння в тунельних оправах.

Перед тим, як перейти до з'ясування впливу привантаження підошви, слід виконати дослідження впливу коефіцієнта k_e на моделювання впливу характеристик ґрунту. Відповідно до [4, 6] коефіцієнт переходу до модуля деформації ґрунту по ланці вторинного навантаження визначається за формулою:

$$E_e = k_e E ,$$

де E_e – модуль деформації ґрунту по ланці вторинного навантаження, кН/м^2; k_e – коефіцієнт переходу до модуля деформації ґрунту по ланці вторинного навантаження; E – модуль деформації ґрунту по ланці первинного навантаження, кН/м^2.

Отже коефіцієнт переходу до модуля деформації ґрунту по ланці вторинного навантаження дорівнює $k_e = E_e / E$. Після створення обох моделей, проводився їх чисельний аналіз із детальним дослідженням його результатів.

В результаті розрахунку двох моделей отримані результати НДС. На рис. 9 наведено ізополя напружень у ґрунтовому масиві по осі *X* в зоні взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом, модель k_e=3. Напруження у ґрунтовому масиві по осі X змінюються у діапазоні від -562 до 126 т/м^2. Напруження у ґрунтовому масиві по осі *X* у зоні взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом змінюються у такому ж діапазоні.

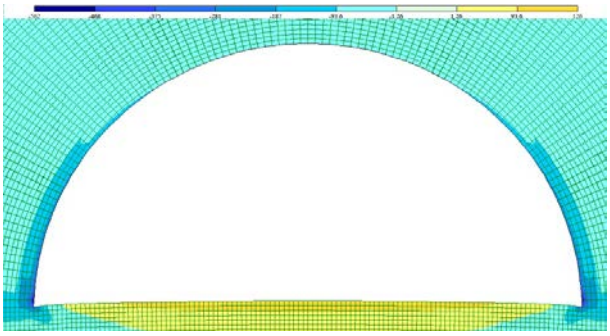

Рис. 9. Ізополя напружень (k_e =3)

На рисунку 10 наведено ізополя напружень у ґрунтовому масиві по осі *X* в зоні взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом, модель k_e=6.

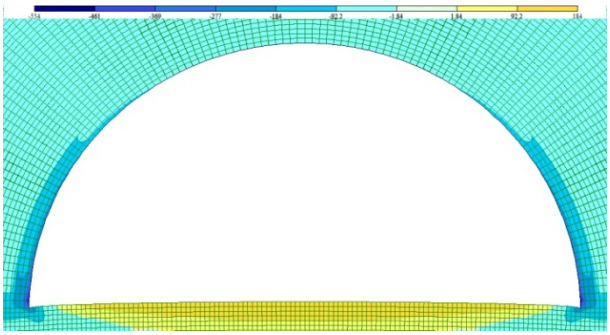

Рис. 10. Ізополя напружень (k_e =6)

Напруження у ґрунтовому масиві по осі *X* змінюються у діапазоні від -554 до 184 т/м^2. Напруження у ґрунтовому масиві по осі *X* у зоні взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом змінюються у такому ж діапазоні, тоб-

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

то зміна коефіцієнту k_e не має значного впливу на розподіл напружень в підошві виробки.

При розрахунку системи «оправа – масив» в ПК «ЛІРА» під дією власної ваги деформується весь ґрунтовий масив, а в зоні виробки на підошві навантаження відсутнє, тому масив нижче підошви деформуєтеся тільки під вагою ґрунту, який знаходиться нижче виробки в реальних умовах на нього діє весь масив ґрунту.

Щоб урівноважити переміщення та напруження у підошві виробки, додамо навантаження на підошву, що дорівнює вазі ґрунту, який знаходиться над підошвою, враховуючи площину виробки. Тобто навантаження на підошву розраховуємо від власної ваги ґрунту, який знаходиться від поверхні масиву до підошви виробки, таким чином враховуючи висоту виробки; оскільки на елементи, які знаходяться з боків виробки, навантаження від масиву ґрунту такою висотою, діє. Схему розрахунку навантаження наведено на рис. 11.

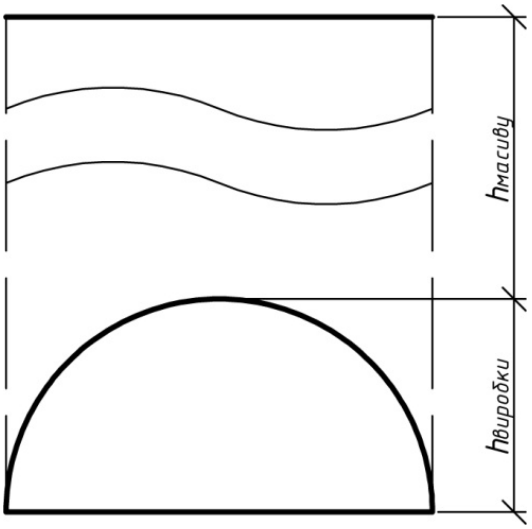

Рис. 11. Схема розрахунку навантаження на підошву виробки

На рисунку 12 зображено схему розрахунку вузлового навантаження на підошву. Рівномірно розподілене навантаження $q_{p.p.}$ розраховується за формулою:

$$q_{p.p.} = \gamma_{грунту}\left(h_{виробки} + h_{масиву}\right),$$

де $\gamma_{грунту}$ – питома вага ґрунту, кН/м^3; $h_{виробки}$ та $h_{масиву}$ – значення, наведені на рисунку 11.

$$Q = q_{p.p.}lB,$$

де l – ширина скінченного елементу (рис. 12), м; B – ширина ґрунтового масиву (як і в характеристиках жорсткості ґрунтових скінченних елементів), м.

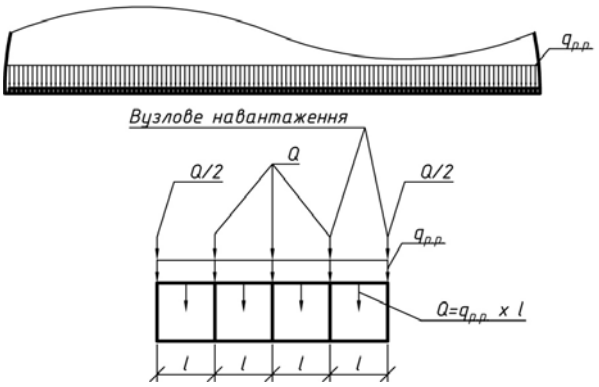

Рис. 12. Схема розрахунку вузлового навантаження на підошву

Навантаження задається у вигляді вузлового навантаження на підошву виробки. До крайніх вузлів підошви (спільних з тимчасовим кріплення) прикладається навантаження $Q/2$. Необхідно перевіряти одиниці вимірювання сил у програмному комплексі.

В результаті розрахунку моделі з навантаженням на підошву отримані наступні результати.

На рис. 13 наведені ізополя переміщень по осі Z в моделі з навантаженням на підошву виробки.

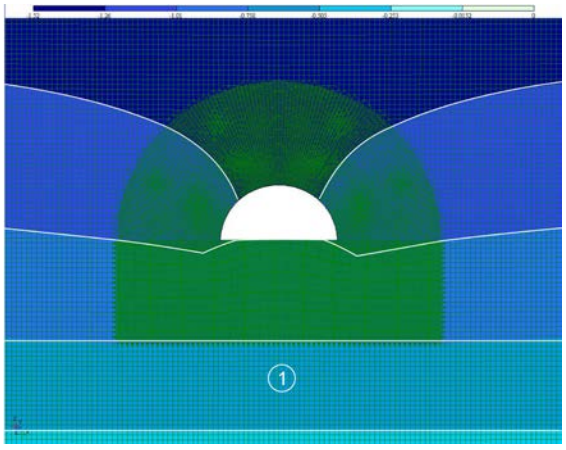

Рис. 13. Ізополя переміщень уздовж осі Z

На цьому рисунку чітко видно, що деформація склепіння аналогічна представленій на

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

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

рис. 7, а ізополя переміщень по підошві виробки змінили свою форму, зона (1) на глибині під підошвою виробки вже не має значних деформацій в порівнянні з рис. 7.

Переміщення у підошві виробки виникають тільки у найближчому шарі ґрунту. Це викликано тим, що на елементи вузлів в боках виробки діє навантаження від власної ваги ґрунту, що знаходиться вище виробки та передається тимчасовим кріплення на підошву.

На рис. 14 наведено ізополя напружень уздовж осі *X*. Максимальні стискаючі напруження у ґрунтовому масиві по осі *X* у зоні взаємодії тимчасового кріплення з ґрунтовим масивом збільшуються біля підошви виробки, а розтягнута зона напружень у підошві виробки вже відсутня.

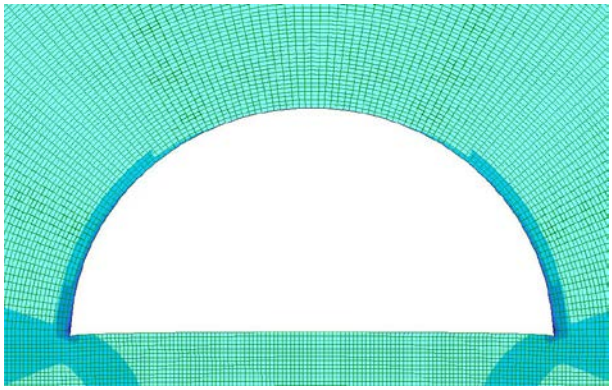

Рис. 14. Ізополя напружень уздовж осі *X*

На рис. 15 і 16 наведені епюри моментів у тимчасовому кріпленні в моделі без привантаження підошви виробки із привантаженням відповідно.

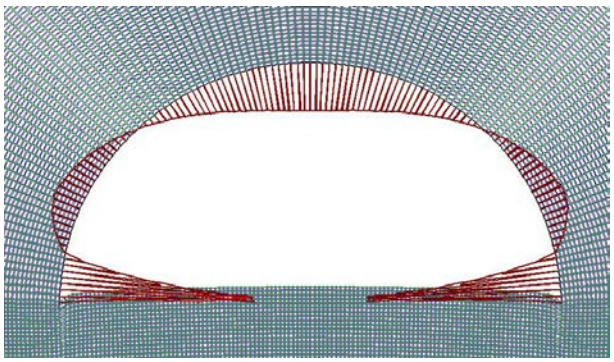

Рис. 15. Епюра згинального моменту у тимчасовому кріпленні

Аналіз результатів показує, що навантаження на підошву виробки впливає не тільки на зміну напруженого стану ґрунту підошви, а і на величину зусиль в тимчасовому кріпленні склепіння виробки. В даному випадку різниця у величині моментів в замку склепіння складає 10 % відсотків і вона збільшується із зменшенням модуля деформації масиву ґрунту.

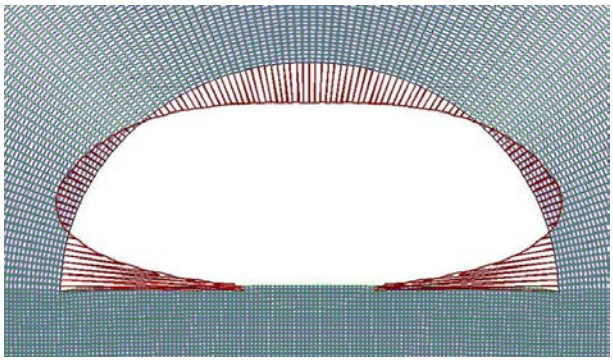

Рис. 16. Епюра згинального моменту у тимчасовому кріпленні

З наведених вище результатів моделювання напруженого стану ґрунтового масиву з кріпленням виробки, можна зробити висновок, що використання методу скінченних елементів, реалізованого в сучасних ПК без урахування їх особливостей призводить до помилок в розрахунках тунельних оправ.

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 не тільки від форми, розмірів та конфігурації застосовуваних СЕ, від розмірів розрахункової області ґрунтового масиву, а також від умов урахування дійсної роботи ґрунтового масиву.

Практичну значимість отримано при визначенні особливостей навантаження моделі 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 апробовані автоматизовані процеси програмних комплексів, напри-

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

клад, 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. – Київ : Сталь, 2002. – 600 с.
5. ДБН В.2.3-7-2010. Споруди транспорту. Метрополітени [Текст]. – Надано чинності 2011-01-10. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 195 с.
6. Компаниец, С. А. Проектирование тоннелей [Текст] / С. А. Компаниец, А. А. Богородецкий, А. К. Поправко. – Москва : Транспорт, 1973. – 319 с.
7. Волков, В. П. Тоннели и метрополитены [Текст] / В. П. Волков, С. Н. Наумов, А. Н. Пирожкова, В. Г. Храпов. – Москва : Транспорт, 1975. – 618 с.
8. Петренко, В. Д. Обзор аналитических и экспериментальных методов исследования взаимодействия массива и крепи [Текст] / В. Д. Петренко, А. Л. Тютькин, В. И. Петренко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2012. – Вип. 1. – С. 75-81.
9. 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.
10. Петренко, В. Д. К вопросу о дискретизации конечно-элементных моделей [Текст] / В. Д. Петренко, А. Л. Тютькин // Сб. научн. тр. ПГАСиА «Строительство. Материаловедение. Машиностроение», Днепропетровск, 2002. – Вып. 18. – С. 123-128.
11. Тютькін, О. Л. Практичні основи створення моделі станції метрополітену методом автоматичної тріангуляції [Текст] / О. Л. Тютькін, Т. А. Педосенко // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту (14.05-15.05.2015) : тез. 75 міжнар. наук.-техн. конф. – Дніпропетровськ. – 2015. – С. 285-286.
12. Тютькін, О. Л. Автоматична тріангуляція для вирішення задач пошуку НДС взаємовпливаючих виробок [Текст] / О. Л. Тютькін, В. М. Бізяєв // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту (19.05-20.05.2016) : тез. 76 міжнар. наук.-техн. конф. – Дніпропетровськ, 2016. – С. 169-170.
13. Купрій, В. П. Оптимізація режиму роботи тимчасового кріплення під час будівництва гірничого тунелю [Текст] / В. П. Купрій, Є. В. Сьомкіна // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту (19.05-20.05.2016) : тез. 76 міжнар. наук.-техн. конф. – Дніпропетровськ, 2016. – С. 199-201.
14. 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.
15. Irons, B. M. The superpatch theorem and other proposition relating to the patch tests / B. M. Irons // Proc. of the 5th Canadian Congress of Applied Mechanics, Fredericton, 1975. – pp. 651-652.
16. 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. ТЮТЬКИН[2], П. Е. ЗАХАРЧЕНКО[3]

[1*] Кафедра «Мосты 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

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

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

[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 (096) 354 34 96, эл. почта paul902tv@gmail.com

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИКЛАДНОЙ ПРОГРАММЫ «ЛИРА» В РАСЧЕТАХ ОБДЕЛОК ТОННЕЛЕЙ НЕКРУГОВОГО ОЧЕРТАНИЯ

Цель. В статье исследовано влияние на напряженно-деформированное состояние параметров конечно-элементной модели, построенной в программном комплексе «Лира», в численном анализе тоннелей некругового очертания. **Методика.** Для достижения поставленной цели, авторами в программном комплексе «Лира» были разработаны конечно-элементные модели калотной части выработки при строительстве двухпутного железнодорожного тоннеля. В каждой из моделей в программном комплексе «Лира» была конкретным способом дискретизирована зона взаимодействия с временным креплением. После создания моделей, проводился их численный анализ с детальным исследованием его результатов. **Результаты.** В конечно-элементных моделях получены значения деформаций и напряжений по горизонтальной и вертикальной осям, а также максимальные значения моментов и продольных сил во временном креплении. Проведен сравнительный анализ полученных значений компонент напряженного и деформированного состояний при изменении параметров конечно-элементной модели. 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 учета действительной (упругой или пластической) работы грунтового массива. **Практическая значимость.** Определено особенности дискретизации и необходимые 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; некруговое очертание; дискретизация; напряженно-деформированное состояние

V. P. KUPRIY[1*], O. L. TIUTKIN[2], P. YE. ZAKHARCHENKO[3]

[1*] Department «Bridges and Tunnels» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, 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, Lazaryan Str., 2, Dnepr, 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, Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 354 34 96, e-mail paul902tv@gmail.com

ANALYSIS OF FEATURES OF APPLIED SOFTWARE “LIRA” IN CALCULATIONS OF NON-CIRCULAR TUNNEL LININGS

Purpose. The article examines the effect on the stress-strain state of the parameters of the finite-element model created in the “Lira” software package in a numerical analysis of non-circular outlined tunnels. **Methodology** To achieve this goal, the authors developed finite element models of the calotte part of the mine during the construction of a double track railway tunnel using “Lira” software. In each of the models in the “Lira” software package, the interaction zone with temporary fastening was sampled in a specific way. After creation of models, their numerical analysis with the detailed research of his results was conducted. **Findings.** In the finite element models, the values of deformations and stresses in the horizontal and vertical axes, as well as the maximum values of the moments and longitudinal forces in the temporary fastening were obtained. A comparative analysis of the obtained values of the

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

components of the stress-strain state with a change in the parameters of the finite element model was carried out. The graphs of the laws of these results from the discretization features of the two models were plotted. The third finite element model with a radial meshing in the zone of interaction of temporary support with the surrounding soil massif was investigated. **Originality** It has been established that in the numerical analysis of the SSS of a tunnel lining of a non-circular outline, its results substantially depend on the shape, size and configuration of the applied finite elements, on the size of the computational area of the soil massif, and also on the conditions for taking into account the actual (elastic or plastic) behavior of the soil massif. **Practical value.** The features of discretization and the required dimensions of the computational area of the soil massif were determined when modeling the "lining – soil massif" system, which provide sufficient accuracy for calculating the parameters of the stress-strain state of the lining.

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

REFERENCES

1. Gorodeckij A. S., Zavorickij V. I., Lantuh-Ljashhenko A. I., Rasskazov A. O. *Metod konechnyh jelementov v proektirovanii transportnyh sooruzhenij* [The finite element method in the design of transport structures]. Moskow, Transport Publ., 1981. 143 p.
2. Fadeev A. B. *Metod konechnyh jelementov v geomehanike* [Finite element method in geomechanics]. Moskow, Nedra Publ., 1989. 260 p.
3. Nemchinov Ju. I. *Metod prostranstvennyh konechnyh jelementov* [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. *DBN V.2.3-7-2010. Sporudy transportu. Metropoliteny* [DBN V.2.3-7-2010. Constructions of transport. Metropolitan]. Kyjiv, Minreghionbud Ukrajiny Publ., 2011. 195 p.
6. Kompaniec S. A., Bogorodeckij A. A., Popravko A. K. *Proektirovanie tonnelej* [Tunnel design]. Moskow, Transport Publ., 1973. 319 p.
7. Volkov V. P., Naumov S. N., Pirozhkova A. N., Hrapov V. G. *Tonneli i metropoliteny* [Tunnels and subways]. Moskow, Transport Publ., 1975. 618 p.
8. Petrenko V. D., Tyutkin A. L., Petrenko V. I. Obzor analiticheskikh i eksperimentalnykh metodov issledovaniya vzaimodeystviya massiva i krepi [Review of analytical and experimental methods of research of co-operation of massif and support]. *Mosty ta tuneli: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 1, pp. 75-81.
9. 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: teorija, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2015, issue 7, pp. 19-26.
10. Petrenko V. D., Tjut'kin A. L. K voprosu o diskretizacii konechno-jelementnyh modelej [On the question of discretization of finite element models]. *Sb. nauchn. tr. PGASiA «Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie» – Collection of scientific works PGASiA "Construction. Materials Science. Mechanical engineering»*, 2002, issue 18. pp. 123-128.
11. Tiutkin O. L., Pedosenko T. A. Praktychni osnovy stvorennia modeli stantsii metropolitenu metodom avtomatychnoi 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.
12. 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.
13. 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.

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

14. 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.
15. 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.
16. 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 18.10.2017
Прийнята до друку 26.10.2017

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

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 658.512.62:69-049.6

О. О. МАРТИШ[1*], О. П. МАРТИШ[2], Ф. І. ПАВЛОВ[3],
Н. С. РИНКЕВИЧ[4], І. О. МИХАЙЛОВА[5]

[1*] Кафедра планування і організації виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (095) 905 86 75, ел. пошта martysh@yahoo.com, ORCID 0000-0002-8864-2555
[2] Кафедра технології будівельного виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (056) 756 34 76, ел. пошта tsp@mail.pgasa.dp.ua, ORCID 0000-0002-6126-1920
[3] Кафедра планування і організації виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38(056) 756 33 66, ел. пошта pavlovfed@ukr.net, ORCID 0000-0002-4442-9277
[4] Кафедра планування і організації виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38(056) 756 33 66, ел. пошта starnarysharm@gmail.com, ORCID 0000-0002-1229-6051
[5] Кафедра планування і організації виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38(056) 756 33 66, ел. пошта innakorchomnaya@gmail.com, ORCID 0000-0002-3647-3972

ПІДВИЩЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ КАЛЕНДАРНИХ ПЛАНІВ БУДІВНИЦТВА

Мета. Визначення раціонального рівня організаційно-технологічної надійності часових параметрів календарного плану. **Методика.** Розглянуто чинники, які впливають на час виконання будівельно-монтажних робіт в складі календарного плану. Використано підхід, згідно з яким час завершення певного обсягу робіт є похідним від продуктивності виконавця і інтенсивності виконання робіт. Тривалість робіт є не детермінованим значенням, а діапазоном (проміжком) можливих значень, які можна описувати за допомогою нормального розподілу, β-розподілу і α-розподілу. **Результати.** Встановлено взаємозв'язок між виробітком виконавців і надійністю виконання робіт в планові строки. Визначено раціональний рівень організаційно-технологічної надійності календарного плану будівництва на етапі моделювання його часових параметрів. **Наукова новизна.** Удосконалено метод розрахунку будівельного потоку з урахуванням ймовірності термінів виконання робіт, що дозволяє кількісно оцінити динаміку наростання невизначеності в термінах виконання робіт в складі об'єктного будівельного потоку. Новий підхід планування часових параметрів дозволяє контролювати зміни надійності в процесі виконання плану. Отримані результати формують базу для подальшого розрахунку інтенсивностей відмов і раціонального режиму управління. **Практична значимість.** Розрахунок часових параметрів будівельних потоків з урахуванням дестабілізуючого впливу випадкових факторів зовнішнього і внутрішнього середовища дозволяє наблизити спроектовані на їх основі календарні плани будівництва об'єктів до реальних умов, які мають місце на етапі реалізації цих планів.

Ключові слова: календарне планування, організаційно-технологічна надійність, інтенсивність робіт, виробіток, витрати часу

Вступ

Організаційно-технологічна надійність будівництва, визначає здатність будівельної організації досягати поставлених цілей при заданих вхідних параметрах. Такими параметрами є: кількісний і кваліфікаційний рівні робітників, технічні характеристики машин і механізмів, якість будівельних матеріалів, своєчасність їх поставки на будівельний майданчик тощо. Організаційно-технологічна надійність будівельного виробництва розглядається як критерій надійності кінцевих результатів.

При розробці календарного плану існує протиріччя між ймовірнісною природою реальних процесів і детермінованими методами їх опису. Коли розрахунки мають прогнозуючий характер, то необхідно включати в розрахунок вірогідну складову, що визначає ймовірність звершення певної події в майбутньому. Це особливо стосується побудови календарних планів, через те, що прогнозування показників трива-

© О. О. Мартиш, О. П. Мартиш, Ф. І. Павлов, Н. С. Ринкевич, І. О. Михайлова, 2017

лості виробничих процесів може здійснюватися тільки з певним рівнем ймовірності. Планування – це завжди узгодження об'єктивних протиріч між сьогоднішнім баченням процесу будівництва і його майбутньою реалізацією. Будівництво споруди – це безліч окремих робіт, що виконуються одна за одною. Порушення строків виконання однієї з них, викликає ланцюжкову реакцію затримок. Виконання окремих робіт, як правило, доручається підрядним організаціям. Час початку їх діяльності визначається заздалегідь, зазвичай це конкретна дата. Коли підрядник не може почати виконувати свої обов'язки через неготовність фронту робіт, що викликана порушенням строків попередніх робіт, це може стати причиною економічних втрат і юридичних проблем.

Оскільки надійність закладених у календарний план параметрів є важливою проблемою в будівництві, актуальним є дослідження шляхів її підвищення. Потрібно звернути поглиблену увагу на визначення часових параметрів будівельних процесів у складі календарного плану. Необхідно дослідити, який закон розподілу найбільш точно характеризує діапазон можливих значень часу виконання робіт, а також вплив стабільності виробітку на цей діапазон і на надійність завершення робіт в строки.

Дослідження організаційно-технологічної надійності почалися в другій половині 20 століття. Основні поняття організаційної надійності були визначені ще в 1974 році [1], після чого об'єктами досліджень були календарне планування і поточний метод ведення будівельних робіт [2]. За першими дослідниками проблемою надійності займалися багато вчених, вирішуючи різні задачі і ставлячи перед собою нові проблеми для вирішення.

Проблема організаційно-технологічної надійності будівництва не вирішена і продовжує бути предметом досліджень сучасних вчених. При цьому вона розглядається з різних боків в залежності від підходу автора досліджень.

В роботі [3] описується використання інструментів теорії ймовірності і методу експертних оцінок для визначення і порівняння організаційної надійності механізованих та ручних робіт. Визначаються фактори, що впливають на продуктивність робітників, зазначені навіть такі дрібниці, як зменшення продуктивності в післяобідні години. Однак залишається проблема урахування непередбачуваних затримок на стадії розробки плану робіт.

Жоден з існуючих методів планування не забезпечує автоматичного уникнення ризику зриву строків будівництва. Втім в країнах заходу широко застосовувана система «The Last Planner», яка наслідує переваги методу критичного шляху (CPM – Critical path method) [4]. Така система спрощує розробку графіку робіт, але не вирішує проблему взаємозв'язку між планами різного масштабу – оперативними, середньої тривалості та довгостроковими. Інший підхід до аналізу відхилень при реалізації календарних планів – так зване аналітичне дерево помилок (fault tree analysis) [5]. Це дерево представляє собою блок-схему, яка сприяє виявленню факторів, які викликають відхилення від запланованих строків у будівництві. Однак цей підхід, як зазначається в роботі, досить громіздкий.

В роботі [6] пропонується розробка паралельних графіків для виробництва робіт на будівельному майданчику і для збірки елементів поза майданчиком. Показано, що такий підхід в деякий випадках скорочує час будівництва на 30 %. Однак, така система, хоч і сприяє зменшенню часу виконання робіт, не завжди може бути використана. Наприклад, при будівництві монолітної споруди не має місця для збірних елементів.

Покращеним варіантом методу критичного шляху (CPM – Critical path method) деякі дослідники вважають «систему управління на основі місцезнаходження» (LBMS – location-based management system) [7, 8]. Ця система робить акцент на використанні ресурсів і дозволяє організувати роботу без зайвих перерв для виконавців. До цієї ніші досліджень також можна віднести так званий евристичний (тобто «не строгий») алгоритм формування і розрахунку проекту виробництва робіт, описаний в роботі [9]. Втім, зостається питання надійності виконання робіт в строки тим чи іншим виконавцем.

В роботі [10] як основний метод підвищення надійності при реалізації календарного плану пропонується поточний контроль виробництва робіт. Доводиться ефективність такого способу при використанні моделювання «Монте-Карло» при будівництві комплексу будівель. Ця методика й справді є ефективною, але має інше застосування – лише при будівництві черги деякі-

© О. О. Мартиш, О. П. Мартиш, Ф. І. Павлов, Н. С. Ринкевич, І. О. Михайлова, 2017

лькох однотипних будівель, коли ресурси і механізми переходять з об'єкта на об'єкт.

В роботах [11, 12] описуються схожі підходи до вирішення проблеми низької надійності календарного плану. Пропонується використання резервів часу – буферів, які повинні нівелювати ризик затримок в виконанні окремих робіт календарного графіку. Величина буферу часу залежить від послідовності робіт, їх взаємозв'язку і критичності (більш важливі чи менш важливі роботи). Однак, було б добре мати можливість визначення таких буферів часу на підставі індивідуальних характеристик виконавців.

Питанню визначення тривалості будівельних процесів з урахуванням ймовірності присвячені дослідження в роботах [13] і [14].

Наразі аналіз публікацій дозволяє стверджувати доцільність досліджень у цьому напрямку.

Мета

Метою досліджень є визначення раціонального рівня організаційно-технологічної надійності часових параметрів календарного плану.

Для досягнення мети були поставлені такі задачі:

1. Проаналізувати, який із існуючих статистичних розподілів більш точно описує діапазон можливого часу завершення робіт.
2. Встановити взаємозв'язок між виробітком виконавців і надійністю виконання робіт в планові строки.
3. Визначити раціональний рівень організаційно-технологічної надійності часових параметрів календарного плану.

Методика

У дослідженнях були використані статистичні дані часових параметрів виконання робіт та виробітку будівельних бригад компанії «Строитель-П» (Україна, м. Дніпро).

Для аналізу статистичних даних, визначення раціонального рівня надійності були використані такі інструменти:

– математична статистика при обробці даних варіаційних рядів показників виробничої діяльності;

– теорія матричного розрахунку часових параметрів будівельного потоку при розробці методики розрахунку потоку з урахуванням імовірнісного характеру процесів, що протікають;

– теорія ймовірностей і надійності систем при встановленні виду розподілу і розрахунку рівня ризику;

– економічний аналіз ефективності інвестицій при обґрунтуванні критерію ефективності кінцевого результату реалізації календарного плану.

Результати

Організаційно-технологічна надійність календарного плану – це ймовірність, з якою роботи згідно з цим планом будуть виконані до певного терміну. Оскільки календарний план складається з окремих робіт, то відповідно і кожна робота має свій очікуваний час закінчення.

Для того, щоб обчислити очікуваний час закінчення будь-якої роботи в складі календарного плану, потрібно знати характеристики виконавця цих робіт. Під час розробки календарного плану користуються наступними статистичними даними щодо роботи виконавців у попередніх проектах:

1) витрати часу на одиницю об'єму робіт (наприклад, кількість годин на кладку 1 м^3 стіни – год/м^3), позначимо їх як t;

2) виробіток (також можна використовувати терміни «продуктивність» чи «інтенсивність виконання робіт») – це об'єм робіт, що був виконаний за одиницю часу (наприклад об'єм цегляної кладки за зміну чи годину – м^3/зміну чи м^3/год), позначимо його як I.

Форма, у якій виконувався хронометраж робіт, залежить від підходу, яким керувалася людина, відповідальна за хронометраж, або від зручності спостереження. Наприклад, для дрібних розосереджених робіт зручніше заміряти кількість виконаної праці кожного дня в кінці зміни, а для монтування великих окремих конструкцій зручніше заміряти час, що витрачається на кожну.

Витрати часу і виробіток – це взаємо обернені величини. Знаючи одну із них, легко знайти іншу:

$$I = \frac{1}{t}; \quad t = \frac{1}{I}, \tag{1}$$

де I – виробіток за одиницю часу, t – витрати

© О. О. Мартиш, О. П. Мартиш, Ф. І. Павлов, Н. С. Ринкевич, І. О. Михайлова, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

часу на одиницю об'єму робіт.

Для повного аналізу роботи будь-якого виконавця потрібно знати такі його параметри роботи як мінімальний, максимальний та середній виробіток, мінімальний, максимальний та середній час, що витрачається на одиницю об'єму робіт, а також значення цих параметрів при конкретному рівні організаційно-технологічної надійності. Тому такий підхід базується на урахуванні ймовірнісної природи цих параметрів. У розрахунках використовується не єдине значення параметру, а діапазон можливих значень, з яких обирається таке, що відповідає бажаному рівню надійності.

Зазвичай статистичні дані робочого описуються за допомогою нормального розподілу, α-розподілу чи β-розподілу. При опрацюванні масиву даних визначаються такі параметри, як математичне очікування параметру і середньоквадратичне відхилення.

Функції надійності для двох типів даних відрізняються. Як видно з рис. 1, функція виробітку спадаюча, це означає, що чим більша продуктивність очікується від робочого, тим менша ймовірність її забезпечення.

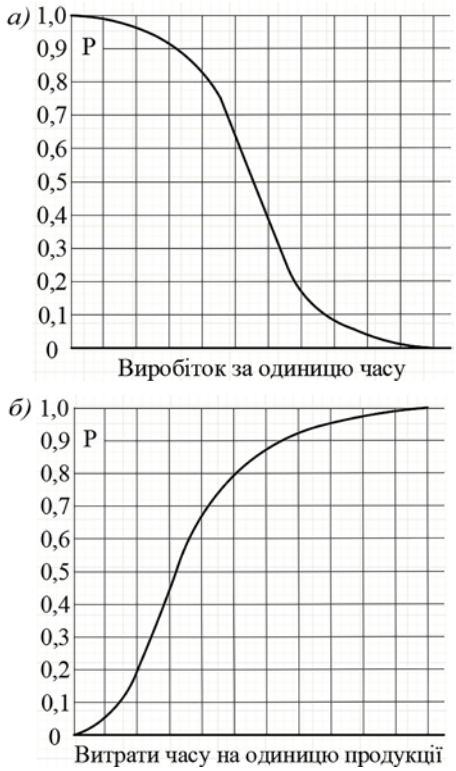

Рис. 1. Типові функції накопиченої ймовірності:
а – виробіток за одиницю часу; *б* – час, що витрачається на одиницю продукції

Невисокий виробіток робочий зможе забезпечити майже із 100 % ймовірністю. Але занизький виробіток, закладений у календарний план, позначається на планових строках будівництва

Із рис. 1 видно, що функція часу, який витрачається на одиницю об'єму робіт, має зростаючий характер. Ймовірність виконання роботи за мінімальний термін часу прагне до нуля, але чим більше часу виділяється на виконання будівельного процесу, тим більша ймовірність, що робота буде виконана в запланований строк.

Однак, є ще одна цікава особливість цих статистичних даних. Порівняємо функції розподілу статистичних даних виробітку (рис. 2, *а*) і часу виконання робіт (рис. 2, *б*) середньо-статистичного муляра.

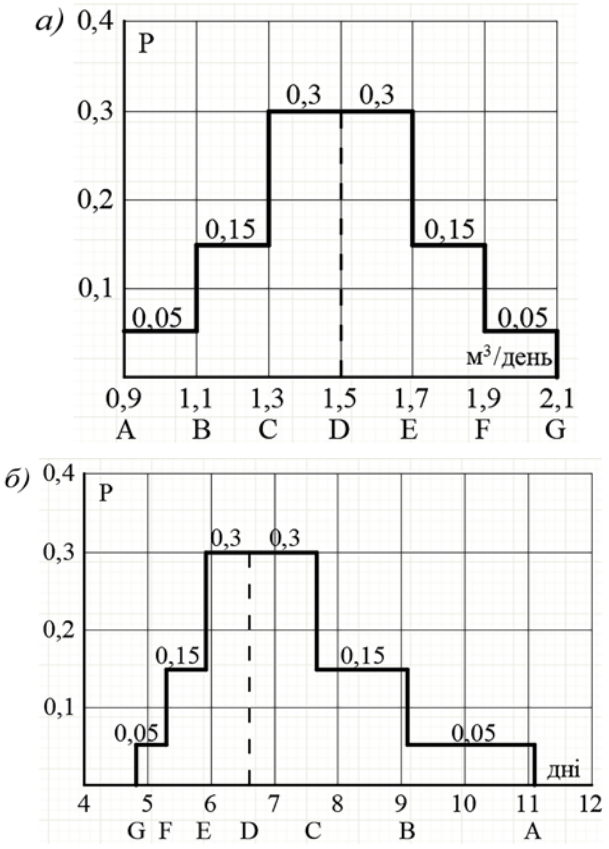

Рис. 2. Співвідношення між виробітком виконавця і часом виконання робіт:
а – симетричний розподіл виробітку (м^3/зміну);
б – асиметричний розподіл часу виконання заданого об'єму робіт (дні)

На графіку (рис. 2, б) видно явну асиметрію, яка, на перший погляд, не мала б тут бути. Але така асиметрія пояснюється за допомогою до-

© О. О. Мартиш, О. П. Мартиш, Ф. І. Павлов, Н. С. Ринкевич, І. О. Михайлова, 2017

поміжних точок A, B, C, D, E, F, G в кінцях інтервалів, на які було поділено весь масив даних. Логічно, що при перетворенні ці важливі точки будуть мати співвідношення на обох графіках.

Їх координати знаходяться перетворенням виробітку на витрати часу. Так, наприклад, для точки А, що відповідає виробітку муляра 0,9 м^3/зміну, витрати часу на об'єм робіт 10 м^3 складатимуть 11,1 днів. Розрахувавши значення інших опорних точок таким чином:

точка A: 10/0.9=11.1 днів;
точка B: 10/1.1=9,1 днів;
точка C: 10/1.3=7,7 днів;
точка D: 10/1.5=6,6 днів;
точка E: 10/1.7=5,9 днів;
точка F: 10/1.9=5,3 днів;
точка G: 10/2.1=4,8 днів,

і позначивши їх на графіку, отримуємо асиметричний розподіл (рис. 2, б).

Всі точки на другому графіку йдуть у зворотному порядку, адже ці два графіки обернені один до одного. Наприклад, точка А позначає найнижчу зафіксовану продуктивність муляра, тому на графіку виробітку знаходиться ліворуч від інших точок. Така низька продуктивність відповідає найбільшим витратам часу, тому на графіку часу ця точка знаходиться праворуч.

Якщо відобразити симетричний розподіл виробітку робочого і витрати часу на одному графіку, отримуємо рис. 3.

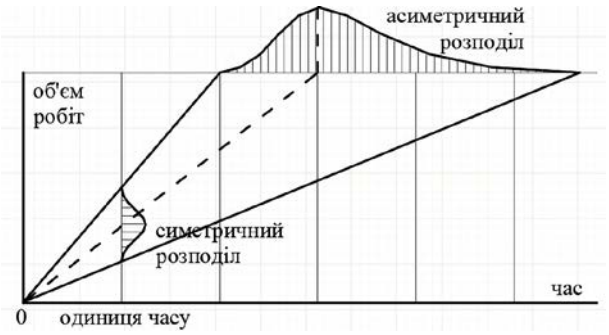

Рис 3. Геометрична інтерпретація взаємозв'язку симетричного і асиметричного розподілів виробітку й часу виконання робіт

Така особливість перетворення пояснюється кількома причинами:

1) масштабованістю величин;

2) вартістю одиниці часу в різних випадках (наприклад, 1 хвилина важить по-різному, коли йдеться про інтервал часу, що дорівнює 1 годині, і інтервал, що дорівнює робочій зміні. У другому випадку 1 хвилина має менше значення).

Для розрахунку значення асиметрії і опису законів розподілу часу завершення робіт були випробувані нормальний розподіл, α-розподіл і β-розподіл. В результаті виявилось, що найбільш точно описує час виконання робіт α-розподіл:

$$f(t)=\frac{\theta\alpha}{t^2\sqrt{2\Pi}}\exp\left[-\frac{\alpha^2}{2}\left(\frac{\theta}{t}-1\right)^2\right]. \quad (2)$$

У формулі (2) $\alpha=\mu_I/\sigma_I$. Це зворотна величина коефіцієнта варіації. У термінах задачі, що розв'язується, його називають «коефіцієнтом однорідності продуктивності праці виконавців». При розгляді умов виконання окремого трудового процесу даний показник може служити оцінкою рівня майстерності виконавців. Чим вище професійна майстерність виконавців, тим вужчий діапазон невизначеності в часі виконання роботи. Якщо при умові однакових μ_I для двох ланок працівників А і В має місце нерівність $(\mu_I)/(\sigma_I^A)>(\mu_I)/(\sigma_I^B)$, то можна зробити висновок про те, що ланка А більш ефективно виконує трудовий процес.

Таким чином перевагою альфа-розподілу є те, що він враховує характерні фактори, властиві процесу виконання роботи: обсяг робіт, інтенсивність робіт (продуктивність), час закінчення робіт.

Встановлено взаємозв'язок між розкидом значень виробітку, величиною асиметрії і надійністю часових параметрів.

Величина асиметрії розподілу значень часу виконання робіт знайдена з геометричних утворень, використовуючи такі відомі вихідні дані, як продуктивність виконавця. В ході досліджень було виявлено, що асиметрія залежить від розкиду продуктивності. Якщо відношення максимального значення продуктивності до мінімального становить менше від 1,2, то асиметрія майже відсутня. Якщо ж розбіжність продуктивності становить більше, ніж 1,2, то асиметрія набуває великого значення.

Для більш глибокого аналізу динаміки наростання асиметрії в законі розподілу часу необхідно прийти від використання абсолютних значень в якості аргументів до відносних. Для цього звернемося до таких параметрів, як пев-

© О. О. Мартиш, О. П. Мартиш, Ф. І. Павлов, Н. С. Ринкевич, І. О. Михайлова, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

ний об'єм робіт V_K, максимальна інтенсивність робіт I_{MAX} і мінімальна інтенсивність I_{MIN}. Розрахуємо через них такі параметри: середній час виконання робіт (T_C), що витрачається на заданий об'єм робіт V_K і час виконання робіт, що відповідає математичному очікуванню (Tμ):

$$t_{\mu} = \frac{V_K}{\frac{\left(I_{MAX} + I_{MIN}\right)}{2}}, \qquad (3)$$

$$t_c = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{V_K}{I_{MAX}} + \frac{V_K}{I_{MIN}} \right). \qquad (4)$$

Введемо показник, який характеризує співвідношення між максимальною і мінімальною інтенсивністю виконання робіт:

$$L = \frac{I_{MAX}}{I_{MIN}}, \qquad (5)$$

і знайдемо показник, що характеризує величину асиметрії:

$$F = \frac{T_{\mu}}{T_C}. \qquad (6)$$

Цей показник можна легко виразити через співвідношення максимальної і мінімальної інтенсивностей виконання робіт:

$$F = 4L \frac{1}{\left(L+1\right)^2}. \qquad (7)$$

На рис. 4 наведено графік цієї функції, з якої випливає, що визначальним параметром для розрахунку асиметрії є відношення максимальної і мінімальної інтенсивності виконання робіт. Якщо L>1, то асиметрія завжди має місце, при цьому зміщена в бік мінімального часу закінчення роботи. Виходячи з даної моделі, поява негативної асиметрії є неможливою.

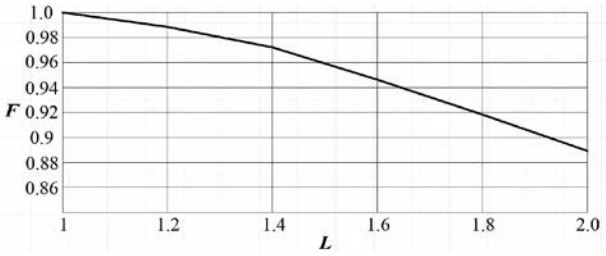

Рис. 4. Графік функції $F = f(L)$

Аналіз графіка (рис. 4) показує наростаюче збільшення асиметрії при збільшенні L. При значеннях L<1,2 асиметрія змінюється незначно, далі динаміка її збільшення зростає. Визначимо еластичність цієї функції до зміни параметру L. Еластичність показує реакцію функції на зміну одного з вхідних в неї аргументів – на скільки відсотків зміниться одна величина при зміні іншої. В даному випадку знайдемо, наскільки збільшиться асиметрія при збільшенні розкиду виробітку працівника.

Для цього спочатку знайдемо співвідношення максимального і мінімального часу виконання роботи:

$$K = \frac{T_{MAX}}{T_{MIN}} \qquad (8)$$

Визначимо зміну параметру K і параметру F:

$$\Delta K = \frac{K_2 - K_1}{K_1}; \quad \Delta F = \frac{F_2 - F_1}{F_1}. \qquad (9)$$

У формулах (9) індекси "1" і "2" показують значення відповідних показників до і після зміни. В остаточному вигляді формула для розрахунку показника еластичності набуде вигляду:

$$E = \frac{\Delta K}{\Delta F}. \qquad (10)$$

На підставі формули (10) побудовано графік відповідної залежності (рис. 5), на якому видно яскраво виражений вигин при L=1,2.

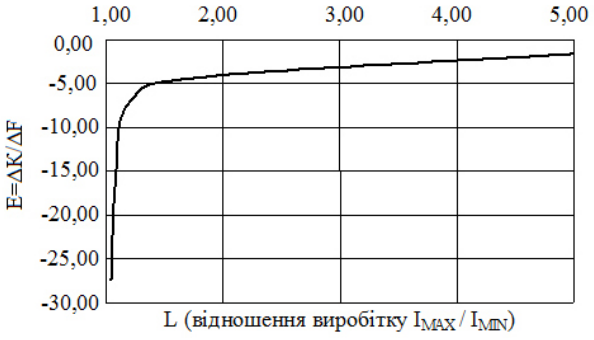

Рис. 5. Вплив зміни показника L на еластичність функції

В зоні L<1,2 крива асимптотично наближається до осі ординат, в зоні L>1,2 до осі абсцис. У зоні L<1,2 зміни вхідних показників не призводять до істотної зміни результату функції, це

© О. О. Мартиш, О. П. Мартиш, Ф. І. Павлов, Н. С. Ринкевич, І. О. Михайлова, 2017

свідчить про стійкість F в цій зоні. Таким чином, на підставі отриманих даних, слід вважати, що при значеннях L<1,2 немає суттєвої зміни (похибка в межах декількох відсотків) в асиметрії розподілу. У зонах L>1,2 необхідно враховувати асиметрію в законі розподілу часу виконання робіт.

Параметр L показує, наскільки широкий діапазон виробітку виконавця, іншими словами, наскільки нестабільна його робота. Це також можна охарактеризувати середньоквадратичним відхиленням розподілу його статистичних даних. Середньоквадратичне відхилення має суттєвий вплив на часові параметри роботи при врахуванні фактору надійності. Чим менше значення має середньоквадратичне відхилення, тим робота стабільніша і передбачуваніша (рис. 6).

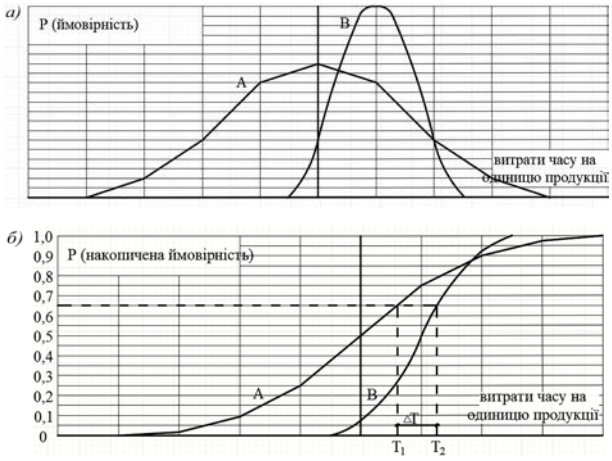

Рис. 6. Порівняння виконавців за допомогою функції розподілу:
а – графік розподілу параметричних даних; *б* – графік накопиченої надійності

На рис. 6, *а* показані розподіли статистичних даних витрат часу двох виконавців А і В, а на рис. 6, *б* – відповідні їм графіки накопиченої ймовірності завершити роботи в певні строки. Як видно з графіку, виконавець А має більший розкид значень.

Кількісно вплив середньоквадратичного відхилення можна оцінити через порівняння показників роботи двох виконавців при відомих значеннях математичного очікування μ_1 і μ_2 і середньоквадратичного відхилення σ_1 і σ_2. Будемо вважати, що математичні очікування рівні $\mu_1=\mu_2$. Тоді звідси визначимо ймовірний час закінчення робіт для кожного виконавця і різницю між ними:

$$\Delta T = T_2 - T_1. \qquad (11)$$

Запишемо значення надійності для кожного виконавця:

$$R_1 = f\left(\frac{T_1-\mu_1}{\sigma_1}\right); R_2 = f\left(\frac{T_2-\mu_2}{\sigma_2}\right). \qquad (12)$$

Якщо знайти різницю часу виконання робіт (T) двох різних розподілів при одному і тому ж рівні надійності R_1=R_2, то виявиться, що ця різниця залежить від середньоквадратичного відхилення і математичного очікування. А якщо порівняти розподіли з однаковим математичним очікуванням (μ_1=μ_2), то різниця в часі виконання робіт буде залежати лише від середньоквадратичного відхилення:

$$\Delta T = R\left(\sigma_2 - \sigma_1\right). \qquad (13)$$

Таким чином, виконавець, параметри роботи якого характеризуються меншим значенням середньоквадратичного відхилення (σ) при інших рівних умовах має такі переваги:

– виконує роботу за фіксований час з більш високою надійністю;

– виконує роботу при заданому рівні надійності за більш короткий час.

Тобто розкид значень виробітку (а з ним відповідно і середньоквадратичне відхилення) має суттєвий вплив на часові параметри роботи. Чим більший розкид, тим більша асиметрія в законі розподілу часу виконання робіт, і тим більша невизначеність часових параметрів.

Проведено визначення раціонального рівня організаційно-технологічної надійності часових параметрів календарного плану. В дослідженні використовується не детерміноване значення виробітку чи витрат часу, а ймовірне, тобто визначається інтервал можливих значень цих параметрів. Якщо використовувати не тільки максимальне і мінімальне значення продуктивності, то можна отримати множинні значення часу з ймовірністю їх появи. Використовуючи підсумкову наростаючу функцію розподілу можна встановити, з якою ймовірністю окрема робота буде виконана до певного терміну. На рис. 7 наведено приклад, як за допомогою підсумкової функції розподілу можна встановити, до якого часу роботи будуть виконані.

Надійності 60 % відповідає час завершення робіт T_1, надійності 80 % – час T_2.

© О. О. Мартиш, О. П. Мартиш, Ф. І. Павлов, Н. С. Ринкевич, І. О. Михайлова, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

Підвищення надійності закінчення робіт призводить до відповідного збільшення тривалості її виконання. Тому підхід, заснований на обліку імовірнісних процесів в календарному плануванні, передбачає збільшення цих термінів по відношенню до детермінованих розрахунків.

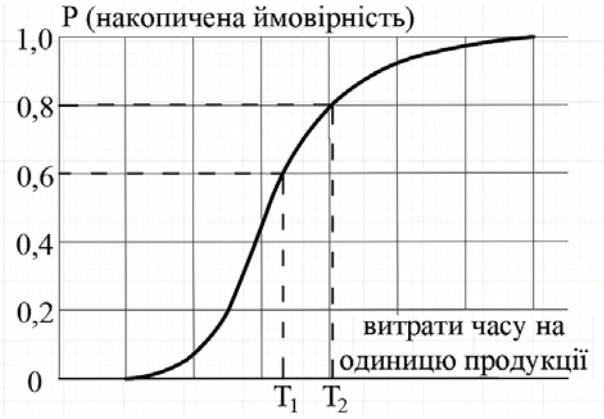

Рис. 7. Підсумкова функція розподілу часу виконання робіт

Використання детермінованих методів розрахунку в плануванні та організації будівельного виробництва дає досить оптимістичні, а значить і менш надійні результати. Це, в свою чергу, призводить до порушень як проміжних так і завершальних термінів будівництва об'єктів. Використання не детермінованого результату, а інтервалу можливих значень, дає можливість оцінити ймовірність досягнення кінцевого результату до того чи іншого строку будівництва.

Який рівень надійності слід вважати прийнятним? Використання 100 % рівня надійності відповідає невиправдано високим плановим строкам будівництва. З іншого боку, використання занизького рівня надійності несе ризик невиконання будівельних робіт в належний час. Логічно, що шукати прийнятний рівень надійності тривалості робіт при розробці календарного плану слід в індивідуальних показниках виконавців будівельно-монтажних процесів. Для вибору рівня надійності потрібно проаналізувати графік накопиченої ймовірності, який характеризує ймовірність виконання роботи в межах певного часу.

Графік функції надійності умовно можна розділити на декілька зон. (рис. 8). Зона А характеризується стрімким зростанням надійності при низькому зростанні часу, але її не слід обирати, через те, що надійність в цій зоні занадто низька. Це зона високого ризику.

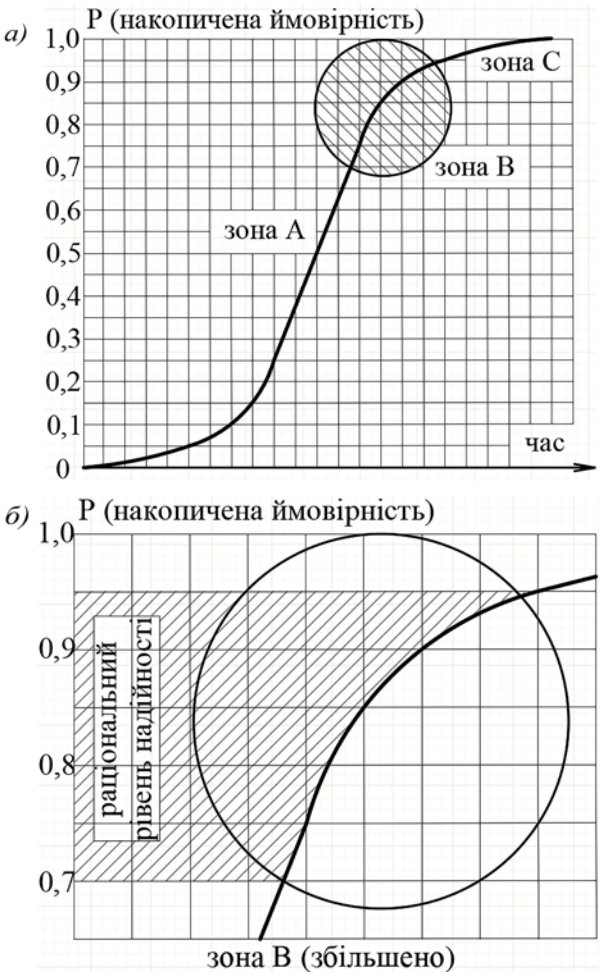

Рис. 8. Вибір доцільного рівня надійності на типовому графіку функції надійності:
а – загальний вигляд; *б* – зона В збільшено

Зона В позначає місце, де графік змінює кут нахилу, плавно переходячи із стрімкого вертикального в похилий, майже горизонтальний. Ця зона оптимальна для вибору, бо має гарний рівень надійності при прийнятних показниках часу.

Зона С характеризується повільним зростанням надійності при дуже стрімкому збільшенні часу. Вибір цієї зони є неефективним, бо за кожний додатковий процент надійності доводиться формувати занадто великі резерви часу.

Таким чином, раціональним вибором є рівень надійності із зони В. Зазвичай надійність в цій зоні складає 70…90 %.

© О. О. Мартиш, О. П. Мартиш, Ф. І. Павлов, Н. С. Ринкевич, І. О. Михайлова, 2017

Зазначимо обмеження результатів досліджень. Головне обмеження – це наявність статистичних даних за минулі періоди роботи робочих, бригад, механізмів. Ця інформація потрібна для того, щоб мати змогу оцінити індивідуальні якості виконавців і визначити обґрунтований час виконання ними будівельно-монтажних робіт. В іншому разі, при відсутності такої статистики, час виконання робіт визначається за даними витрат часу ДБН на той чи інший будівельний процес.

Наукова новизна та практична значимість

Удосконалено метод розрахунку будівельного потоку з урахуванням ймовірності термінів виконання робіт, що дозволяє кількісно оцінити динаміку наростання невизначеності в термінах виконання робіт в складі об'єктного будівельного потоку. Новий підхід планування часових параметрів дозволяє контролювати зміни надійності в процесі виконання плану. Отримані результати формують базу для подальшого розрахунку інтенсивностей відмов і раціонального режиму управління.

Розрахунок часових параметрів будівельних потоків з урахуванням дестабілізуючого впливу випадкових факторів зовнішнього і внутрішнього середовища дозволяє наблизити спроектовані на їх основі календарні плани будівництва об'єктів до реальних умов, які мають місце на етапі реалізації цих планів.

Висновки

Дослідження показали, що надійність календарного плану цілком залежить від достовірності часових параметрів, які закладаються в нього на стадії розробки.

Проаналізовано вибірки статистичних даних, і на прикладі роботи мулярів зроблено висновок, що розподіл статистичних даних виробітку відповідає нормальному закону розподілу. Розподіл статистичних даних часу виконання робіт описується за допомогою α-розподілу і має деяку асиметрію.

Встановлено взаємозв’язок між виробітком виконавців і надійністю виконання робіт в планові строки, а також його вплив на асиметрію в розподілі значень часу виконання робіт.

Визначено, що величина асиметрії залежить від відношення максимального до мінімального виробітку виконавця робіт, тобто розкиду значень виробітку виконавця. Чим це відношення більше, тим менш передбачувана робота виконавця і тим значніша асиметрія.

У дослідженнях був використаний підхід врахування ймовірнісних показників при розрахунку тривалості робіт у складі календарного плану. Цей підхід відрізняється від детермінованого підходу тим, що замість одного фіксованого значення часу виконання будівельного процесу використовується діапазон часу з ймовірністю завершення процесу за той чи інший проміжок часу.

Визначено раціональний рівень організаційно-технологічної надійності, який слід використовувати при формуванні часових параметрів календарного плану. Раціональним вибором є рівень надійності 70…90 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гусаков, А. А. Организационно-технологическая надежность строительного производства [Текст] / А. А. Гусаков. – Москва : Стройиздат, 1974. – 252 с.
2. Афанасьев, В. А. Параллельно-поточная организация строительства [Текст] / В. А. Афанасьев, А. В. Афанасьева. – Ленинград : ЛИЛИ, 1985. – 96 с.
3. Кабанов, В. Н. Организационно-технологическая надежность строительного процесса [Текст] / В. Н. Кабанов // Инженерно-строительный журнал. – 2018. – № 1 (77) – С. 59-67. doi: 10.18720/MCE.77.6
4. Bhargav Dave, Juho-Pekka Hämäläinen, Sergio Kemmer, Lauri Koskela, Anssi Koskenvesa Suggestions to improve lean construction planning. In: Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int’l. Group for Lean Construction. Perth, Australia, July 29-31, pp. 193-202.
5. Pei-Yuan Hsu, Marco Aurisicchio, Panagiotis Angeloudi. Investigating schedule deviation in construction projects through root cause analysis. Procedia Computer Science 121 (2017). pp. 732-739. doi: 10.1016/j.procs.2017.11.095
6. Tarek Salama, Ahmad Salah, Osama Moselhi. Integration of offsite and onsite schedules in modular construction. 34 th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2017), pp. 767-774. DOI: 10.22260/ISARC2017/0107
7. Hylton Olivieri, Olli Seppänen, Ariovaldo Denis Granja Improving workflow and resource usage in construction schedules through location-based management system (LBMS). Construction Management and Economics Vol. 36, 2018 – Issue

© О. О. Мартиш, О. П. Мартиш, Ф. І. Павлов, Н. С. Ринкевич, І. О. Михайлова, 2017

2, pp. 109-124. Doi: 10.1080/01446193.2017.1410561
8. Behman, A., Harfield, T., & Kenley, R. (2016, 7-8 March). Construction management scheduling and control: The familiar historical overview. S. Kamaruzzaman., A. Ali., N. Azmi & S. Lin (Ed.), Proceedings of the 4th International Building Controls Conference (pp. 754-759). Doi: 10.1051/matecconf/20166600101
9. Сиверикова, А. И. Параллельно-поточный метод организации строительства [Текст] / А. И. Сиверикова, В. З. Величкин // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 4 (31). – С. 135-162.
10. Файзулина, О. А. Современная методика составления календарных планов при строительстве комплекса зданий [Текст] / О. А. Файзулина, А. В. Беспалова, О. П. Дашковская, А. И. Кныш // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. – 2018. – Вып. № 70. – С. 164-169.
11. Jaśkowski, P. Methodology for enhancing reliability of predictive project schedules in construction. Eksploatacja i Niezawodnosc. Maintenance and Reliability 2015; 17 (3): pp. 470–479, http://dx.doi.org/10.17531/ein.2015.3.20
12. Lok Siew China, Abdul Rahim Abdul Hamid. The practice of time management on construction project Procedia Engineering 125 (2015). pp. 32-39. doi: 10.1016/j.proeng.2015.11.006
13. Ткач, Т. В. Учет вероятности при определении продолжительности работ календарного плана [Текст] / Т. В. Ткач, В. Р. Млодецький, О. О. Мартиш // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. – 2016. – Вып. 94. – С. 168-173.
14. Млодецкий, В. Р. Организационно-технологическая и управленческая надежность функциональной системы строительной организации [Текст] : автореф. дисс. д-ра техн. наук : 05.23.08 / Млодецкий Виктор Ростиславович; Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры. – Днепропетровск, 2005. – 20 с.

А. А. МАРТЫШ[1*], А. П. МАРТЫШ[2], Ф. И. ПАВЛОВ[3], Н. С. РЫНКЕВИЧ[4], И. А. МИХАЙЛОВА[5]

[1*] Кафедра планирования и организации производства, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а, Днепр, Украина, 49600, тел. +38 (095) 905 86 75, эл. почта martysh@yahoo.com, ORCID 0000-0002-8864-2555
[2] Кафедра технологии строительного производства, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а, Днепр, Украина, 49600, тел. +38 (056) 756 34 76, эл. почта tsp@mail.pgasa.dp.ua, ORCID 0000-0002-6126-1920
[3] Кафедра планирования и организации производства, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а, Днепр, Украина, 49600, тел. +38(056) 756 33 66, эл. почта pavlovfed@ukr.net, ORCID 0000-0002-4442-9277
[4] Кафедра планирования и организации производства, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а, Днепр, Украина, 49600, тел. +38(056) 756 33 66, эл. почта starnarysharm@gmail.com, ORCID 0000-0002-1229-6051
[5] Кафедра планирования и организации производства, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а, Днепр, Украина, 49600, тел.+38(056) 756 33 66, эл. почта innakorchomnaya@gmail.com, ORCID 0000-0002-3647-3972

ПОВЫШЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ КАЛЕНДАРНЫХ ПЛАНОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Цель. Определение рационального уровня организационно-технологической надежности временных параметров календарного плана. **Методика.** Рассмотрены факторы, влияющие на выполнении строительно-монтажных работ в составе календарного плана. Использован подход, согласно которому время завершения определенного объема работ является производным от производительности исполнителя и интенсивности выполнения работ. Продолжительность работ является не детерминированным значением, а диапазоном (промежутком) возможных значений, которые можно описывать с помощью нормального распределения, β-распределения и α-распределения. **Результаты.** Установлена взаимосвязь между выработкой исполнителей и надежностью выполнения работ в плановые сроки. Определен рациональный уровень организационно-технологической надежности календарного плана строительства на этапе моделирования его временных параметров. **Научная новизна.** Усовершенствован метод расчета строительного потока с учетом вероятно-

© О. О. Мартиш, О. П. Мартиш, Ф. І. Павлов, Н. С. Ринкевич, І. О. Михайлова, 2017

сти сроков выполнения работ, что позволяет количественно оценить динамику нарастания неопределенности в сроках выполнения работ в составе объектного строительного потока. Новый подход планирования временных параметров позволяет контролировать изменения надежности в процессе выполнения плана. Полученные результаты формируют базу для дальнейшего расчета интенсивностей отказов и рационального режима управления. **Практическая значимость.** Расчет временных параметров строительных потоков с учетом дестабилизирующего влияния случайных факторов внешней и внутренней среды позволяет приблизить спроектированные на их основе календарные планы строительства объектов к реальным условиям, которые имеют место на этапе реализации этих планов.

Ключевые слова: календарное планирование, организационно-технологическая надежность, интенсивность работ, выработка, затраты времени

O. O. MARTYSH[1*], O. P. MARTYSH[2], F. I. PAVLOV[3*], N. S. RYNKEVYCH[4], I. O. MYKHAILOVA[5]

[1*] Department of planning and organization of production, State Higher Educational Establishment «Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (095) 905 86 75, e-mail martysh@yahoo.com, ORCID 0000-0002-8864-2555
[2] Department of technology of construction production, State Higher Educational Establishment «Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (056) 756 34 76, e-mail tsp@mail.pgasa.dp.ua, ORCID 0000-0002-6126-1920
[3*] Department of planning and organization of production, State Higher Educational Establishment «Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38(056) 756 33 66, e-mail pavlovfed@ukr.net, ORCID 0000-0002-4442-9277
[4] Department of planning and organization of production, State Higher Educational Establishment «Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38(056) 756 33 66, e-mail starnarysharm@gmail.com, ORCID 0000-0002-1229-6051
[5] Department of planning and organization of production, State Higher Educational Establishment «Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str., Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38(056) 756 33 66, e-mail innakorchomnaya@gmail.com, ORCID 0000-0002-3647-3972

IMPROVING THE ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF CONSTRUCTION SCHEDULES.

Purpose. Determination of the rational level of organizational and technological reliability of schedule time parameters. **Methodology.** The factors affecting the performance of construction and installation works as a part of the construction schedule are considered. It is used the approach where the time for completing a certain amount of work is derivate from the performer's performance and the intensity of work. The duration of the work is not a determinate value, but a range (interval) of possible values that can be described using the normal distribution, the β-distribution, and the α-distribution. **Findings.** It is found out the dependence between the output of performers and the reliability of work in the planning period. It is determined the rational level of organizational and technological reliability of the construction schedule at the stage of its time parameters modeling. **Originality**. It is improved the method for calculating the construction spread, taking into account the probability of a period of execution of works, which permits to quantify the dynamics of uncertainty growth in the period of execution of works as a part of the construction spread. A new approach to time parameters planning allows controlling changes in reliability during the implementation of the plan. Obtained results form the basis for further calculation of failure rates and rational control mode. **Practical value.** The calculation of the time parameters of the construction spread, taking into account the destabilizing influence of random factors of the external and internal environment, makes it possible to bring the projected construction schedules closer to real-life conditions that occur during the implementation.

Keywords: scheduling, organizational and technological reliability, work intensity, time parameters

REFERENCES

1. Gusakov A. A. *Organizacionno-tehnologicheskaja nadezhnost' stroitel'nogo proizvodstva* [Organizational and technological reliability of construction production]. Moskow, Strojizdat Publ., 1974. 252 p.
2. Afanas'ev V. A., Afanas'eva A. V. *Parallel'no-potochnaja organizacija stroitel'stva* [Parallel construction organization]. Leningrad, LILI Publ., 1985. 96 p.

© О. О. Мартиш, О. П. Мартиш, Ф. І. Павлов, Н. С. Ринкевич, І. О. Михайлова, 2017

3. Kabanov V. N. Organizacionno-tehnologicheskaja nadezhnost' stroitel'nogo processa [Organizational and technological reliability of the construction process], *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal – Parallel construction organization*, 2018. № 1 (77). pp. 59-67. doi: 10.18720/MCE.77.6
4. Bhargav Dave, Juho-Pekka Hämäläinen, Sergio Kemmer, Lauri Koskela, Anssi Koskenvesa Suggestions to improve lean construction planning. In: Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction. Perth, Australia, July 29-31, pp. 193-202.
5. Pei-Yuan Hsu, Marco Aurisicchio, Panagiotis Angeloudi Investigating schedule deviation in construction projects through root cause analysis. Procedia Computer Science 121 (2017). pp. 732-739. doi: 10.1016/j.procs.2017.11.095
6. Tarek Salama, Ahmad Salah, Osama Moselhi Integration of offsite and onsite schedules in modular construction. 34 th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2017), pp. 767-774. DOI: 10.22260/ISARC2017/0107
7. Hylton Olivieri, Olli Seppänen, Ariovaldo Denis Granja Improving workflow and resource usage in construction schedules through location-based management system (LBMS). Construction Management and Economics. Vol. 36, 2018. Issue 2, pp. 109-124. Doi: 10.1080/01446193.2017.1410561
8. Behman, A., Harfield, T., & Kenley, R. (2016, 7-8 March). Construction management scheduling and control: The familiar historical overview. S. Kamaruzzaman., A. Ali., N. Azmi & S. Lin (Ed.), Proceedings of the 4th International Building Controls Conference (pp. 754-759). 66. Doi: 10.1051/matecconf/20166600101
9. Siverikova A. I. , Velichkin V. Z. Parallel'no-potochnyj metod organizacii stroitel'stva [Parallel and stream methods of construction organization], *Stroitel'stvo unikal'nyh zdanij i sooruzhenij – Construction of Unique Buildings and Structures*, 2015. № 4 (31). pp. 135-162.
10. Fajzulina O. A., Bespalova A. V., Dashkovskaja O. P., Knysh A. I. Sovremennaja metodika sostavlenija kalendarnyh planov pri stroitel'stve kompleksa zdanij [Modern of calendar plans technique composition for construction of building complex], *Vestnik Odesskoj gosudarstvennoj akademii stroitel'stva i arhitektury – Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture electronic Repository*. 2018. Issue 70. pp. 164-169.
11. Jaśkowski P. Methodology for enhancing reliability of predictive project schedules in construction. Maintenance and Reliability, 2015. Issue 17. pp. 470-479, http://dx.doi.org/10.17531/ein.2015.3.20
12. Lok Siew China, Abdul Rahim Abdul Hamid The practice of time management on construction project Procedia Engineering 125 (2015). pp. 32-39. doi: 10.1016/j.proeng.2015.11.006
13. Tkach T. V., Mlodec'kij V. R., Martish O. O. Uchet verojatnosti pri opredelenii prodolzhitel'nosti rabot kalendarnogo plana [Probability accounting during the determining the duration of the work in construction schedules.] *Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Serija : Komp'juternye sistemy i informacionnye tehnologii v obrazovanii, nauke i upravlenii – Building. Materials Science. Engineering. Series: Computer systems and information technology in education, science and management*. 2016. Issue 94. pp. 168-173.
14. Mlodeckij V. R. *Organizacionno-tehnologicheskaja i upravlencheskaja nadezhnost' funkcional'noj sistemy stroitel'noj organizacii*. Avtoreferat Diss. [Organizational-technological reliability and management of the functional system of a construction company. Autor's abstract]. Dnepropetrovsk, 2005. 20 p.

Надійшла до редколегії 14.11.2017
Прийнята до друку 23.11.2017

© О. О. Мартиш, О. П. Мартиш, Ф. І. Павлов, Н. С. Ринкевич, І. О. Михайлова, 2017

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 004.93’14./942:69

М. В. МИКИТАСЬ[1*], П. П. ТЕСЛЕНКО[2], С. І. КУШНІР[3]

[1*] Кафедра архітектурних конструкцій, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680, тел. +38 (050) 388 11 08, ел. пошта maksim27@ukr.net,
ORCID 0000-0002-6176-6822
[2] Кафедра менеджменту в будівництві, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680, тел. +38 (044) 241 54 98, ел. пошта nkc_kiev@ukr.net
[3] Кафедра менеджменту в будівництві, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680, тел. +38 (044) 241 54 98, ел. пошта nkc_kiev@ukr.net

ЗАГАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБ’ЄКТІВ

Мета. В статті викладено базові теоретичні положення загальної концепції кластеризації геометричних об’єктів, проаналізовано деякі сфери її ефективного практичного застосування. **Методика.** Для досягнення поставленої мети авторами проаналізовано деякі сфери ефективного практичного застосування концепції кластеризації геометричних об’єктів. Розглянуто відповідні приклади моделювання кластерних організаційних структур архітектурно-будівельної галузі. **Результати.** Обґрунтовано актуальність виконаних досліджень, акцентовано переваги напрацьованого підходу, зокрема його універсальність та гнучкість, відкритість для розвитку, пристосованість до реалізації сучасними комп’ютерними засобами. Окреслено перспективи проведення подальших наукових розвідок у даному напрямку. **Наукова новизна.** Встановлено, що концепція здатна бути ефективною складовою комп’ютерних інформаційних технологій автоматизованого проектування різноманітних технічних об’єктів, зокрема, в BIM-технологіях. **Практична значимість.** Розглянуто відповідні приклади моделювання кластерних організаційних структур архітектурно-будівельної галузі.

Ключові слова: кластер; кластерна організація; BIM-технологія; системна прикладна геометрія; система прийняття рішень

Вступ

Інформаційні технології сьогодення широко використовуються в багатьох галузях промисловості, зокрема, архітектурно-будівельній. Насущним сучасним питанням є підвищення енергоефективності будівель, один із напрямків успішного вирішення якого полягає в застосуванні кластерного підходу на базі BIM-технологій (Building Information Modeling) [1-4]. Архітектурно-будівельні кластери являють собою великі за числом елементів і складні за характером зв’язків системи. Здійснення для них натурних експериментів із метою оптимізації практично неможливе. У даному випадку комп’ютерне моделювання становить основний засіб проведення зазначених досліджень. Головна перевага геометричних моделей, порівняно з іншими математичними, полягає в їх наочності. Це дозволяє продуктивно розв’язувати складні задачі більш простими засобами. Таким чином, постає актуальна проблема розробки теоретичних засад у галузі геометрії для ефективного відтворення кластерних структур взагалі та в архітектурно-будівельній галузі зокрема. Вирішенню зазначеного питання присвячено дану роботу.

У праці [1] проаналізовано можливості використання інформаційного моделювання для прогнозування показників діяльності енергоефективного архітектурно-будівельного кластеру. Дослідження [2] присвячено розробці та впровадженню інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень під час проектування кластерних організаційних структур, публікацію [3] – розв’язанню оптимізаційної задачі управління потокорозподілом ресурсів кластерних організаційних структур енергоефективного будівництва.

У статті [4] методами системного аналізу виконано дослідження структурних і функціональних ознак кластерних систем. Праці [5-8] становлять методологічну основу для запропонованої *загальної концепції кластеризації геометричних об’єктів.*

© М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

Мета

Викласти базові теоретичні положення загальної концепції кластеризації геометричних об'єктів, проаналізувати деякі сфери її ефективного практичного застосування. Розглянути відповідні приклади моделювання кластерних організаційних структур архітектурно-будівельної галузі.

Методика

Відомо, що *кластером* називають поєднання кількох схожих або різних близько розташованих елементів, що розглядається як одне ціле та має певні властивості.

Під *геометричним кластером* розумітимемо поєднання кількох схожих або різних близько розташованих фігур, що розглядається як одне ціле та має певні властивості.

Запропоноване означення є узагальненням поняття кластер в інших науках і тому забезпечує інваріантне його вживання під час комп'ютерного геометричного моделювання.

Отже, кластером можна відтворювати в:

– і*нформаційних технологіях* – логічну одиницю зберігання даних, яка поєднує кілька секторів жорсткого диска, певну сукупність комп'ютерів;

– *хімії* – групу атомів або молекул;

– *астрономії* – сукупність зірок, що взаємодіють силами гравітації;

– *економіці* – розташовані на деякій території взаємопов'язані підприємства та організації;

– *містобудуванні* – автономну одиницю міста, яка забезпечує мешканцям повний набір комунальних послуг;

– *лінгвістиці* – групу близьких мов, тощо.

Як свідчить наведений перелік, під близько розташованими елементами мається на увазі поняття більш широке, ніж просто близькість із геометричної точки зору. Останнє трактування полягає у відносно тісній взаємодії елементів. Наприклад, близько розташованими вважаються зірки, гравітаційні сили між якими є значними, комп'ютери, пов'язані мережевими засобами, і т. д.

Під *геометричною кластеризацією* розумітимемо формування потрібних множин геометричних кластерів, які складаються з належних фігур, при цьому створені різні кластери мають між собою певні необхідні відмінності. Для розробки загальної концепції кластеризації геометричних об'єктів застосовуватимемо подану в дослідженні [5] системну методологію, класифікацію геометричних об'єктів за їх вимірністю [6], викладені у працях [7, 8] відповідно комбінаторно-варіаційний підхід та динамічне формоутворення засобами структурно-параметричного моделювання.

В основі загальної концепції кластеризації геометричних об'єктів, що подається, лежить запропонований у даній публікації *принцип кластеризації* геометричних об'єктів. Завдяки цьому, спираючись на роботи [5-8], може бути окреслено новий науковий напрямок у вигляді *кластерного геометричного моделювання*.

Точки, *лінії*, *поверхні*, *тіла* та *багатовимірні фігури* є відповідно *нуль-*, *одно-*, *дво-*, *три-* та *n-вимірними* геометричними об'єктами, які визначаються своїми параметрами *форми*, *розмірів* і *положення*.

Оскільки кластерне геометричне моделювання орієнтоване на широке використання в комп'ютерних інформаційних засобах, то пропонується додатково застосовувати ще й *атрибутивні параметри* фігур у вигляді таких їх властивостей як колір, текстура (растрове зображення поверхні), яскравість, прозорість тощо. Цей підхід отримав назву *принципу атрибуції геометричних об'єктів*.

Базуючись на комбінаторно-варіаційному підході та динамічному формоутворенні засобами структурно-параметричного моделювання, розроблено загальні кластерні геометричні моделі, приклади яких показано на рис. 1.

Зробимо пояснення до поданих зображень. Зауважимо, що у зв'язку з обмеженим обсягом статті викладення математичного опису розглянутих кластерів неможливе, але він є достатньо зрозумілим. При цьому акцентуються лише моменти загального плану.

Наведені на рис. 1, *а-в* кластери отримали свою назву від траєкторії розташування точок. Параметрами кластерів є число точок, їх положення та атрибути у вигляді форми, розмірів і кольору графічного подання. Останні, як і застосовувані траєкторії, можуть бути різноманітними та додаватися користувачем, що свідчить про відкритість для розвитку описаних кластерних моделей. Ці і проаналізовані далі моделі можуть мати динамічний характер. На всіх зазначених аспектах увага більше докладно не ак-

© М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

центується. З практичної точки зору рис. 1, *б, в* здатні слугувати прикладами схеми розташування колон будівель.

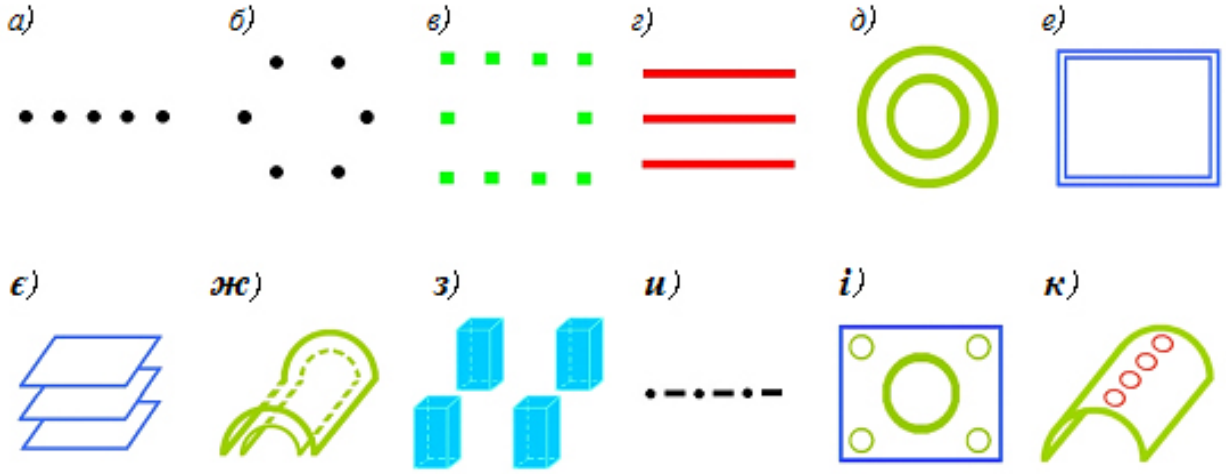

Рис. 1. Приклади геометричних кластерів:
а, б, в – точкові (прямолінійний, коловий, прямокутний); *г, д, е* – лінійні (з прямих, з кіл, з прямокутників); *є, ж* – поверхневі (площинні, циліндричні); *з* – твердотільний із прямокутних паралелепіпедів; *и, і, к* – комбіновані (точково-лінійний, з кіл і прямокутників, лінійно-поверхневий)

Показані на рис. 1, *г-е* лінійні кластери за своєю формою та змістом схожі на розглянуті вище, але побудовані не з точок, а ліній. Модель рис. 1, *е* може відтворювати, зокрема, несучі стіни проектованої будівлі.

Зображені на рис. 1, *є, ж* поверхневі кластерні геометричні моделі складаються відповідно з площин та циліндричних поверхонь. У першому випадку використовується непрозора текстура, а у другому – прозора. На рис. 1, *з* наведено твердотільний кластер із паралелепіпедів, які здатні моделювати колони опрацьовуваної будівлі.

Подані на рис. 1, *и-к* комбіновані кластери ілюструють відповідно поєднання точок і ліній, різних плоских фігур, ліній та поверхонь. З практичної точки зору можуть застосовуватися належним чином для різних типів ліній на комп'ютерних схемах, відтворення фланцевих стиків та теоретичної поверхні відсіку фюзеляжу з отворами під ілюмінатори.

Проаналізовані приклади свідчать про універсальний та гнучкий характер запропонованого підходу кластерного геометричного моделювання, його відкритість для розвитку, пристосованість до реалізації сучасними комп'ютерними засобами.

Результати

Розглянемо далі деякі питання використання розроблюваної концепції для дослідження системних ознак енергоефективних кластерних організаційних структур архітектурно-будівельної галузі. Згідно з публікацією [4] типи зв'язків таких кластерів за внутрішніми енергетичними потоками включають теплову енергію та електричну енергію

$$ЕП = (ТЕ, ЕЕ), \qquad (1)$$

де $ЕП$ – енергетичні потоки, $ТЕ$ – теплова енергія, $ЕЕ$ – електрична енергія.

Для об'єктів (1) характерні наступні стадії

$$СТ = (В, Т, С), \qquad (2)$$

де $СТ$ – стадії енергетичних потоків, $В$ – виробництво, $Т$ – транспортування, $С$ – споживання.

Компоненти (2) мають структуру

$$\left.\begin{aligned} В &= (ТР, НТР, ВКС, ВІД);\\ Т &= (ВВ, ВД, ДС);\\ С_{ТЕ} &= (ОПЛ, ГВ, КНВ);\\ С_{ЕЕ} &= (ОСВ, ОБЛ, ВД, КНВ), \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

© М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

де *ТР* – традиційне, *НТР* – нетрадиційне, *ВКС* – використання сировини, *ВІД* – відновлювана енергія; *ВВ* – від виробника, *ВД* – власне джерело, *ДС* – до споживача; C_{TE} – споживання теплової енергії, *ОП* – опалення, *ГВ* – гаряче водо-постачання, *КНВ* – конвертація; C_{EE} – споживання електричної енергії, *ОСВ* – освітлення, *ОБЛ* – обладнання, *ВД* – виробнича діяльність, *КНВ* – конвертація.

Проаналізуємо один із варіантів формування геометричних кластерів для схематичного відображення енергетичних потоків згідно з виразами (1)…(3). У якості базової фігури застосовуватимемо стрілку, що утворюється з прямокутника заміною однієї або двох його протилежних сторін ламаною з двох ланок (рис. 2).

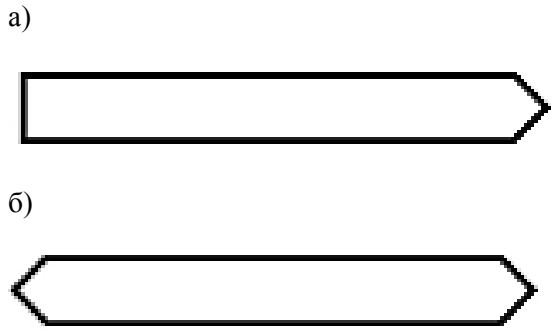

Рис. 2. Стрілки як базові фігури геометричного кластера:
а – одного напряму; *б* – двох напрямів

З метою скорочення обсягів публікації надалі ілюстрації робитимемо на прикладі стрілок одного напряму (інший випадок моделюється аналогічно).

Вираз (1) для наочності враховуватимемо атрибутивним параметром кольору: *помаранчевим* – для теплової енергії, *жовтим* – для електричної. Стадії (2) енергетичних потоків відтворимо типом лінії зовнішнього контуру стрілок: *суцільною* – для виробництва, *штриховою* – для транспортування, *штрих-пунктирною* – для споживання. Значення множин (3) розміщуватимемо як атрибути всередині стрілок.

Рис. 3 є графічною моделлю, що ілюструє конкретні приклади використання описаних геометричних кластерів. Як бачимо виробництво теплової енергії здійснюється традиційними способами, а електричної – відновлюваними. Транспортування відповідно від виробника і власного джерела. Теплова енергія витрачається на опалення та гаряче водопостачання, а електрична – на освітлення.

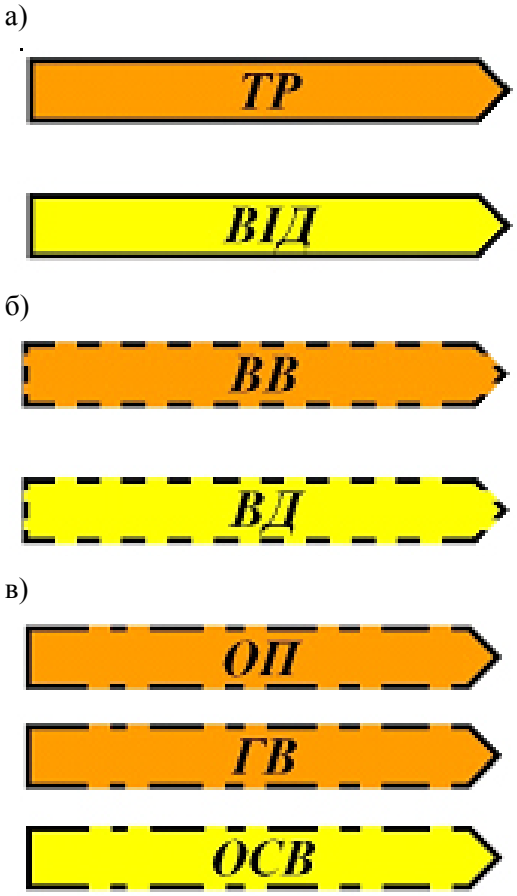

Рис. 3. Приклади геометричних кластерів для моделювання внутрішніх енергетичних потоків енергоефективних кластерних організаційних структур архітектурно-будівельної галузі:
а – виробництво енергії; *б* – транспортування енергії; *в* – споживання енергії

Важливим із точки зору реалізації енергоефективності кластерних систем є адаптивне управління агрегованими структурами на основі імітаційного моделювання множини альтернативних стратегій. У цьому випадку створювані геометричні кластери теж повинні забезпечувати належну властивість. Такі кластери називатимемо *адаптивними*.

Для проаналізованого на рис. 3 випадку це може бути змінювання складу елементів кластера та властивостей останніх. Наприклад, висота стрілок здатна динамічно змінюватися пропорційно величині відображуваного нею потоку енергії, гострота кута стрілки – швидкості потоку тощо.

© М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

Наукова новизна та практична значимість

Аналогічно поданим вище енергетичним потокам моделюються й фінансові, матеріальні, трудові, технологічні та інші потоки енергоефективних кластерних структур архітектурно-будівельної галузі, що складає наукову новизну роботу. У цьому виражається одна з характерних рис застосовуваного *системного геометричного моделювання*, що базується на проведенні комплексного аналізу опрацьовуваних об'єктів, класифікації та систематизації їх елементів, методів геометричних побудов, практичного використання.

Висновки

У даній статті подано базові теоретичні положення запропонованої загальні концепції кластеризації геометричних об'єктів. Ця концепція здатна бути ефективною складовою комп'ютерних інформаційних технологій автоматизованого проектування різноманітних технічних об'єктів, зокрема, в BIM-технологіях.

Спираючись на методологію системного геометричного моделювання, структурно-параметричний і комбінаторно-варіаційний підхід, динамічне формоутворення, забезпечується можливість, наприклад, реалізації багатоваріантного аналізу різних сценаріїв розвитку архітектурно-будівельних кластерів у стохастичних ринкових умовах. Це дозволяє успішно розв'язувати задачі управління розподілом потоків ресурсів кластерних організаційних структур енергоефективного будівництва, удосконалення систем підтримки прийняття рішень на різних етапах і рівнях оптимізації кластерних структур тощо.

Перспективи проведення подальших наукових досліджень у даному напрямку полягають у розробці потрібних класифікацій геометричних кластерів для певного застосування; поширенні запропонованого підходу на інші, ніж архітектурно-будівельна, галузі народного господарства; поглибленні напрацьованих теоретичних положень, математичній та комп'ютерній реалізації створених кластерів; успішному впровадженні отриманих результатів у практику.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Микитась, М. В. Концептуальний підхід до формування енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів із застосуванням BIM-технологій [Текст] / М. В. Микитась, Б. М. Єременко, Х. М. Чуприна // Сучасні проблеми моделювання. – Мелітополь : МДПУ, 2018. – Вип. 13. – С. 106-113.
2. Куліков, П. М. Формування теоретико-методичного підходу до розробки інструментального забезпечення стратегічного розвитку організаційних структур [Текст] / П. М. Куліков, М. В. Микитась, С. А. Теренчук, С. А. Кожедуб // Містобудування та територіальне планування. – Київ : КНУБА, 2018. – Вип. 68. – С. 295-301.
3. Микитась, М. В. Оптимізаційна задача управління потокорозподілом ресурсів кластерних організаційних структур енергоефективного будівництва [Текст] / М. В. Микитась, С. А. Теренчук // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – Київ : КНУБА, 2018. – Вип. 10. – С. 77-84.
4. Микитась, М. В. Дослідження системних ознак енергоефективних кластерних організаційних структур архітектурно-будівельної галузі [Текст] / М. В. Микитась, В. О. Плоский, С. А. Кожедуб // Управління розвитком складних систем. – Київ : КНУБА, 2018. – №. 35. – С. 68-75.
5. Плоский, В. О. Дослідження структурних особливостей методів геометричного моделювання та тенденцій розвитку прикладної геометрії [Текст] : дис. д-ра. техн. наук : 05.01.01 / Плоский В. О. – Київ, 2007. – 277 с.
6. Вірченко, Г. А. Узагальнення структурно-параметричного підходу до геометричного моделювання об'єктів машинобудування [Текст] : дис. д-ра. техн. наук : 05.01.01 / Вірченко Г. А. ; – Київ, 2011. – 367 с.
7. Вірченко, В. Г. Комбінаторно-варіаційне геометричне моделювання технічних об'єктів [Текст] : дис. канд. техн. наук : 05.01.01 / Вірченко В. Г.; НТУУ «КПІ». – Київ, 2014. – 219 с.
8. Вірченко, С. Г. Динамічне формоутворення технічних об'єктів засобами структурно-параметричного моделювання [Текст] : дис. канд. техн. наук : 05.01.01 / Вірченко С. Г. ; НТУУ «КПІ». – Київ, 2018. – 214 с.

© М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

М. В. МИКИТАСЬ[1*], П. П. ТЕСЛЕНКО[2], С. И. КУШНИР[3]

[1*] Кафедра архитектурных конструкций, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Воздухофлотский проспект, 31, Киев, Украина, 03680, тел. +38 (050) 388 11 08, эл. почта maksim27@ukr.net,
ORCID 0000-0002-6176-6822
[2] Кафедра менеджмента в строительстве, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Воздухофлотский проспект, 31, Киев, Украина, 03680, тел. +38 (044) 241 54 98, эл. почта nkc_kiev@ukr.net
[3] Кафедра менеджмента в строительстве, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Воздухофлотский проспект, 31, Киев, Украина, 03680, тел. +38 (044) 241 54 98, эл. почта nkc_kiev@ukr.net

ОБЩАЯ КОНЦЕПЦИЯ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Цель. В статье изложены базовые теоретические положения общей концепции кластеризации геометрических объектов, проанализированы некоторые сферы ее эффективного практического применения. **Методика.** Для достижения поставленной цели авторами проанализированы некоторые сферы эффективного практического применения концепции кластеризации геометрических объектов. Рассмотрены соответствующие примеры моделирования кластерных организационных структур архитектурно-строительной отрасли. **Результаты.** Обоснована актуальность выполненных исследований, акцентированы преимущества наработанного подхода, в частности его универсальность и гибкость, открытость для развития, приспособленность к реализации современными компьютерными средствами. Определены перспективы проведения дальнейших научных исследований в данном направлении. **Научная новизна.** Установлено, что концепция способна быть эффективной составляющей компьютерных информационных технологий автоматизированного проектирования различных технических объектов, в частности, в BIM-технологиях. **Практическая значимость.** Рассмотрены соответствующие примеры моделирования кластерных организационных структур архитектурно-строительной отрасли.

Ключевые слова: кластер; кластерная организация; BIM-технология; системная прикладная геометрия; система принятия решений

M. V. MYKYTAS[1*], P. P. TESLENKO[2], S. I. KUSHNIR[3]

[1*] Department of architectural designs of The Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky Avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03680, tel. +38 (050) 388 11 08, e-mail maksim27@ukr.net,
ORCID 0000-0002-6176-6822
[2] Department of Management in Construction of The Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky Avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03680, tel. +38 (044) 241 54 98, e-mail nkc_kiev@ukr.net
[3] Department of Management in Construction of The Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky Avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03680, tel. +38 (044) 241 54 98, e-mail nkc_kiev@ukr.net

GENERAL CONCEPT OF CLUSTERING GEOMETRIC OBJECTS

Purpose. The article outlines the basic theoretical concepts of the general concept of clustering geometric objects, analyzes some areas of its effective practical application. **Methodology.** To achieve this goal, the authors analyzed some areas of effective practical application of the concept of clustering geometric objects. Relevant examples of modeling cluster organizational structures of the architectural and construction industry were considered. **Findings.** The relevance of the research performed is substantiated, the advantages of the developed approach are emphasized, in particular, its versatility and flexibility, openness to development, and its adaptability to the implementation of modern computer tools. Prospects for further research in this area are identified. **Originality.** It was established that the concept can be an effective component of computer information technologies for computer-aided design of various technical objects, in particular, in BIM-technologies. **Practical value.** Relevant examples of modeling cluster organizational structures of the architectural and construction industry were considered.

Keywords: cluster; cluster organization; BIM technology; system applied geometry; decision making system

© М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

REFERENCES

1. Mykytas M. V., Yeremenko B. M., Chupryna Kh. M. Kontseptualnyi pidkhid do formuvannia enerhoefektyvnykh arkhitekturno-budivelnykh klasteriv iz zastosuvanniam BIM-tekhnolohii [Conceptual approach to the formation of energy-efficient architectural and construction clusters using BIM-technologies]. *Suchasni problemy modeliuvannia – Modern simulation problems*. Melitopol, MDPU Publ., 2018, issue 13, pp. 106-113.
2. Kulikov P. M., Mykytas M. V., Terenchuk S. A., Kozhedub S. A. Formuvannia teoretyko-metodychnoho pidkhodu do rozrobky instrumentalnoho zabezpechennia stratehichnoho rozvytku orhanizatsiinykh struktur [Formation of theoretical and methodical approach to the development of instrumental support for the strategic development of organizational structures]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and territorial planning*. Kyjiv, KNUBA Publ., 2018, issue 68, pp. 295-301.
3. Mykytas M. V., Terenchuk S. A. Optymizatsiina zadacha upravlinnia potokorozpodilom resursiv klasternykh orhanizatsiinykh struktur enerhoefektyvnoho budivnytstva [Optimization Task of Flow Distribution of Resources of Cluster Organizational Structures of Energy Efficient Construction]. *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi – Energy efficiency in construction and architecture*. Kyjiv, KNUBA Publ., 2018, issue 10, pp. 77-84.
4. Mykytas M. V., Ploskyi V. O., Kozhedub S. A. Doslidzhennia systemnykh oznak enerhoefektyvnykh klasternykh orhanizatsiinykh struktur arkhitekturno-budivelnoi haluzi [Research of system signs of energy-efficient cluster organizational structures of the architectural and construction industry]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system – Managing the development of complex systems*. Kyjiv, KNUBA Publ., 2018, issue 35, pp. 68-75.
5. Ploskyi V. O. Doslidzhennia strukturnykh osoblyvostei metodiv heometrychnoho modeliuvannia ta tendentsii rozvytku prykladnoi heometrii. Dokt. Diss. [Investigation of structural features of methods of geometric modeling and trends of applied geometry development. Doct. Diss.]. Kyjiv, 2007. 277 p.
6. Virchenko H. A. Uzahalnennia strukturno-parametrychnoho pidkhodu do heometrychnoho modeliuvannia obiektiv mashynobuduvannia. Dokt. Diss. [Generalization of structural-parametric approach to geometric modeling of machine building objects. Doct. Diss.]. Kyjiv, 2011. 367 p.
7. Virchenko V. H. Kombinatorno-variatsiine heometrychne modeliuvannia tekhnichnykh obiektiv. Diss. [Combined-variational geometric modeling of technical objects. Diss.]. Kyjiv, 2014. 219 p.
8. Virchenko C. H. Dynamichne formoutvorennia tekhnichnykh obiektiv zasobamy strukturno-parametrychnoho modeliuvannia. Diss. [Dynamic shaping of technical objects by means of structural-parametric modeling. Diss.]. Kyjiv, 2018. 214 p.

Надійшла до редколегії 22.11.2017
Прийнята до друку 30.11.2017

© М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 004.925.8

В. О. ПЛОСКИЙ[1], М. В. МИКИТАСЬ[2*], П. П. ТЕСЛЕНКО[3], С. І. КУШНІР[4]

[1] Кафедра архітектурних конструкцій, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680, тел. +38 (044) 245 44 32, ел. пошта ploskyivo@ukr.net,
ORCID 0000-0002-2632-8085
[2*] Кафедра архітектурних конструкцій, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680, тел. +38 (050) 388 11 08, ел. пошта maksim27@ukr.net,
ORCID 0000-0002-6176-6822
[3] Кафедра менеджменту в будівництві, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680, тел. +38 (044) 241 54 98, ел. пошта nkc_kiev@ukr.net
[4] Кафедра менеджменту в будівництві, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680, тел. +38 (044) 241 54 98, ел. пошта nkc_kiev@ukr.net

СИСТЕМНА ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ: ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ КЛАСТЕРНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Мета. В статті сформульовано вимоги, що визначають принципи формування системної прикладної геометрії. **Методика.** Системна прикладна геометрія розглядається як форма організації методологічного ядра і теоретичних основ прикладної геометрії та практичної реалізації її інструментарію, що базується на використанні принципів теорії систем. Процес проектування та оптимізації кластерних організаційних структур енергоефективності розглядається як комплексний проект. **Результати.** Виконано співставлення критеріїв системності та засобів їх досягнення, в результаті чого сформульовані вимоги до методів геометричного моделювання як основного операційного елемента прикладної геометрії. Визначено, що основним операційним елементом прикладної геометрії як відкритої орієнтованої складної системи є метод геометричного (графічного) моделювання. **Наукова новизна.** Переваги системного підходу до геометричного (графічного) моделювання продемонстровано на прикладі побудови та дослідження складної соціотехнічної системи типу кластерної організації (енергоефективного адаптивного архітектурно-будівельного кластера). **Практична значимість.** Розглянуто елементи геометричної бази знань, що віднесені до характерних локальних задач проектування кластерної організаційної структури. Це є однією з реалізацій інваріантних систем геометричних розрахунків, які мають потенційно універсальний характер використання.

Ключові слова: кластер; кластерна організація; моделювання кластерів; системна прикладна геометрія; система прийняття рішень

Вступ

Життєздатність будь-якого наукового напрямку визначається комплексним показником якості його теоретико-методологічної платформи. Останній визначено А. Ейнштейном як вимога «внутрішньої довершеності та зовнішнього виправдання» [1].

Складний і «нелінійний» розвиток наук геометро-графічного напрямку в жорсткому конкурентному оточенні за останні понад 60 років висвітлив комплекс проблем методологічного порядку, які вимагають системного вирішення. Значною мірою зміст вказаних методологічних проблем зводиться до вирішення ряду принципових питань, що виникають в результаті співставлення функціональних і операційних можливостей інструментів геометричного та графічного моделювання (що є змістовним наповненням спеціальності 05.01.01) та об'єктної бази, щодо якої застосовуються методи прикладної геометрії.

Ієрархія цих принципових питань уявляється наступною.

1. Чи є застосування методів прикладної геометрії щодо певної задачі неминучим або принаймні більш раціональним по відношенню до інших різновидів моделювання (проблема безальтернативності застосування геометричних (графічних) методів в цілому).

2. Чи доцільно застосовано саме той метод геометричного (графічного) моделювання з множини можливих (проблема вибору кращого методу з альтернативних варіантів).

3. Чи є оптимальною форма реалізації методу та відповідних моделей по відношенню до

© В. О. Плоский, М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

структури об'єкта, що моделюється (проблема відповідності способу та форми представлення в методі графічного моделювання (МГМ) структури або системи об'єкта).

4. Чи є інформаційно достатньою та ергономічною форма візуалізації моделі та (за необхідністю) процесу моделювання (проблема раціональності графічного представлення).

5. Чи повною мірою використано в конкретній задачі операційні можливості МГМ та його графічних інтерпретацій (проблема оптимального використання операційної потужності).

6. Чи є інструментальні засоби моделювання елементом системних технологічних платформ – наприклад, технології структурно-параметричного моделювання [2], інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень [3], BIM-технологій [4] тощо – (проблема системної технологічності методу на рівні моделювання та графічного представлення інформації).

Досвід практичного використання інструментарію прикладної геометрії свідчить, що системної позитивної відповіді немає на жодне з вищенаведених питань. Дійсно, у виборі конкретного методу стосовно певної практичної задачі часто присутній фактор суб'єктивізму, в кращому випадку вибір інструментів моделювання та способів і форм представлення результатів визначається кваліфікованістю та ерудицією автора розробки. Принагідно зазначимо, що енциклопедичних праць, які б надавали системну інформацію щодо інструментарію геометричного моделювання, розроблено небагато [5], графічним аспектам методології наукового напрямку 05.01.01 досі приділялось мало уваги, а проблема технологічності використання інструментарію є взагалі відкритою.

Мета

Очевидно, що єдиним продуктивним способом вирішення вищевказаних проблем є впровадження системних методів у розробці та реалізації методології прикладної геометрії. Для їх вирішення слід сформулювати вимоги, що визначають принципи формування системної прикладної геометрії.

Методика

Системна прикладна геометрія – форма організації методологічного ядра і теоретичних основ прикладної геометрії та практичної реалізації її інструментарію, що базується на використанні принципів теорії систем.

Системність як атрибут досліджуваного наукового напрямку має наступні складові та відповідні засоби (механізми) реалізації:

– системність *побудови методологічної платформи* прикладної геометрії (полягає у представленні методології як ієрархії, що утворена предметно-науковою, інформаційно-конфліктологічною та соціально-технічною підсистемами, структуризації кожної з підсистем та змістовному наповненні їх елементів);

– системність *структурної єдності* наукового напрямку, що означає нероздільність та синергетичний розвиток системного геометричного моделювання та системних графічних технологій, через які реалізуються базові методологічні визначники науки – конструктивність та наочність;

– системність у визначенні *ієрархії задач та форм їх вирішення* (розглядаються та досліджуються ієрархії виду об'єкт – процес – система, технологічна платформа – система прийняття рішень – вертикально інтегрована технологія – мережева технологія);

– системність *використання методів* моделювання (вирішується шляхом побудови системи типологічних структур та ієрархічних схем у складі предметно-наукової підсистеми методології, які є основою класифікаторів баз знань в системах прийняття рішень; впровадженні системних технологій узгодження структур методів та систем об'єктів, розробці методів оцінки якісних характеристик МГМ, а також застосуванні операційних методів трансформації їх структур);

– системність в *управлінні інформаційною структурою* наукової дисципліни (полягає у розробці та впровадженні методів регулювання об'ємів та змісту теоретико-методологічних, інструментальних та фактологічних компонентів інформаційної системи науки [6], які відповідають певному етапу життєвого циклу її розвитку);

– системність у *міжнауковій взаємодії* полягає у систематичному дослідженні конфліктологічних аспектів розвитку науки, визначенні безпечних та продуктивних для її розвитку схем дистанційної взаємодії з науковим оточенням [7];

© В. О. Плоский, М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

– системність в *управлінні ризиками соціального розвитку* (соціотехнічний аспект методологічної побудови та розвитку прикладної геометрії, що визначається ступенем її організації, затребуваності на рику впроваджень, в освітній сфері тощо).

Співставлення сформульованих вище проблем системності та механізмів їх вирішення дозволяє зробити наступні висновки.

1. Безальтернативність застосування геометро-графічних методів як і обґрунтованість існування наукового напрямку в цілому визначається якістю побудови інформаційно-конфліктологічної та соціотехнічної складових системної методології прикладної геометрії.

2. Проблема якості моделювання визначається обґрунтованістю вибору методу, повнотою використання його операційної потужності та технологічністю.

3. Важливим інструментом та складовою процесу системного геометричного моделювання є дослідження структур та ієрархій задач моделювання, зокрема, коректність опису системи об'єкту, системи уявлень тощо [8].

Таким чином, оскільки основним операційним елементом прикладної геометрії як відкритої орієнтованої складної системи є метод геометричного (графічного) моделювання, реалізація системних принципів стосовно множини МГМ полягає у набутті останніми наступних ознак:

– об'єктивність вибору;

– раціональність використання;

– повнота реалізації можливостей;

– гнучкість та варіативність структур методів;

– технологічність.

Результати

Застосування принципів системності є універсальним для всіх рівнів складності задач та їх моделей. Але найбільш очевидно переваги системних методів у прикладній геометрії виявляються при дослідженні складно структурованих утворень. Такими є організаційно-технічні системи, зокрема системи кластерного типу. При побудові та дослідженні таких систем теорія та методи системної прикладної геометрії стають невід'ємною складовою та важливим інструментом побудови загальної структури та дослідження поведінки кластеру.

Розглянемо приклад енергоефективного адаптивного архітектурно-будівельного кластеру – організаційної системи, яка призначена для організації та виконання змінної у часі послідовної множини проектів енергоефективного будівництва та супутніх проектів (виробництво, сервіс, освіта, наука тощо). Структурно-функціональна схема формування моделі кластера є наступною (рис. 1) [9].

На рис. 1 використано наступні скорочення та терміни:

КОС – кластерна організаційна структура;

ОПР – особа, що уповноважена приймати рішення;

СВ – суб'єкт впровадження;

ЗЗ – зворотний зв'язок;

РІЗ – розробник інструментального забезпечення – спеціально сформована і підготовлена група фахівців, в обов'язки яких входить: аналіз інформації про стан середовища, розробка економіко-математичних моделей результатів діяльності та обґрунтування стратегічного розвитку підприємств, здійснення зворотного зв'язку та формування множини альтернативних рішень щодо напрямів розвитку структурної одиниці, що інтегрується в КОС.

Крім того, на рисунку:

експерт – висококваліфікований фахівець, який визначає знання, що характеризують проблему, та забезпечує повноту і правильність введених в систему знань;

аналог – економіко-математична модель діяльності компанії-аналога, що приймається для прогнозування очікуваних результатів діяльності суб'єкта впровадження;

суб'єкт впровадження – одиниця бізнесу, що планує інтеграцію в кластерну організаційну структуру;

еталон – компанія-аналог, модель розвитку якої відібрана для імітаційного моделювання розвитку суб'єкта впровадження;

лідер – структурна одиниця кластеру, діяльність якої вважається успішнішою, ніж діяльність суб'єкта впровадження;

інтегральний ключовий показник – цільова функція – головний критерій оптимізації – показник, що найкраще характеризує економічну ефективність очікуваної діяльності суб'єкта впровадження чи КОС в цілому.

© В. О. Плоский, М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

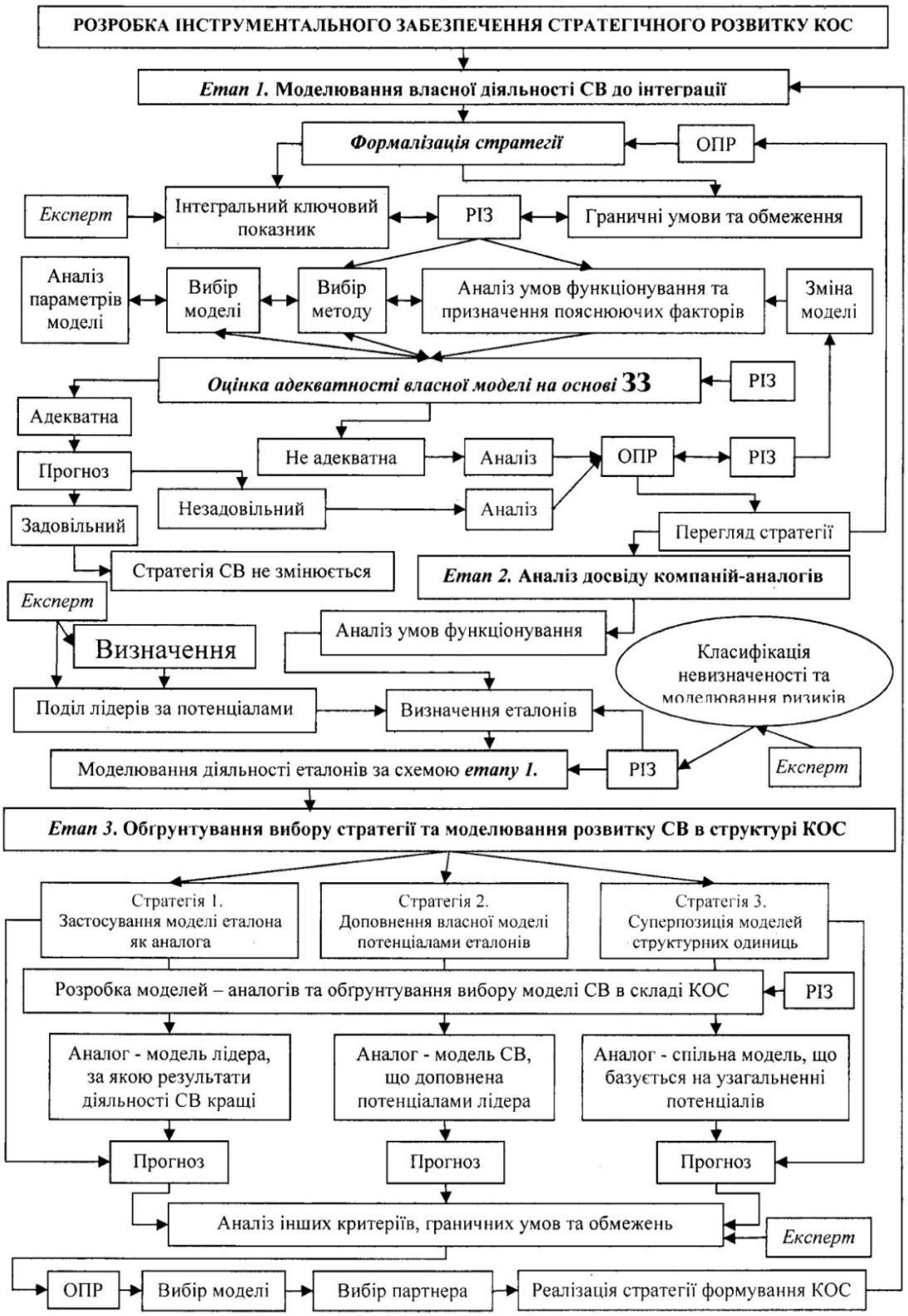

Рис. 1. Схема моделювання кластерної організаційної структури

© В. О. Плоский, М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

Рис. 2. Співставлення проблем системної прикладної геометрії та засобів їх вирішення

Аналіз схеми (рис. 2) свідчить про необхідність залучення інструментів геометричного та графічного моделювання принаймні для вирішення наступних задач:

1. Моделювання власних структур та сценаріїв функціонування СВ.

2. Моделювання КОС з врахуванням досягнення визначених економічних критеріїв функціонування [10].

3. Оптимізація моделі структури кластеру за наявності кількох лідерів.

4. Геометрична оптимізація процесу функціонування КОС за умови варіативності напрямків її діяльності.

В загальній схемі використання системної прикладної геометрії, як засобу моделювання КОС (рис. 3), вказана позиція визначена блоком 7.

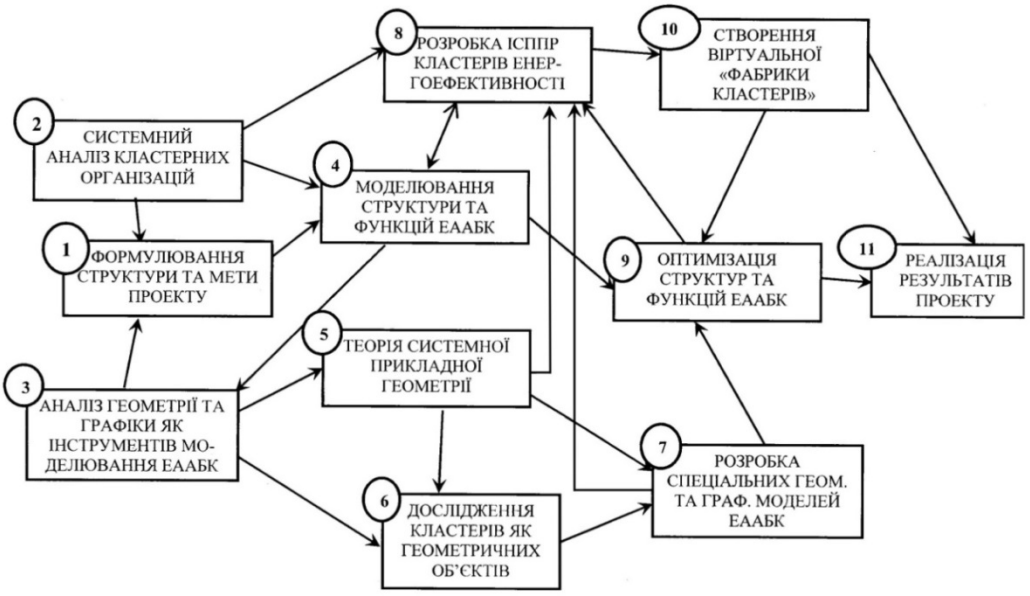

Рис. 3. Системна прикладна геометрія як інструмент моделювання кластерів

В цілому ж процес проектування та оптимізації кластерних організаційних структур енергоефективності розглядається як комплексний проект, сформований трьома напрямками досліджень (рис. 3):

– дослідження загальних проблем формування, структуроутворення кластерних організацій, сценаріїв їх функціонування, оптимізації структур та функцій ЕААБК (процеси 2 – 4 – 9);

– дослідження загальнотеоретичних проблем системної прикладної геометрії та її застосування в розробці спеціальних геометричних та графічних моделей ЕААБК, вирішенні оптимізаційних задач тощо (процеси 3 – 5 – 6 – 7 – 9). Відзначимо, що спеціальної уваги заслуговує інтерпретаційне дослідження кластерів як геометричних об'єктів;

– дослідження технологічних засобів підтримки процесів проектування кластерів та організації відповідних геометричних інструментів шляхом розробки інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) та, в перспективі, створення комплексної віртуальної

© В. О. Плоский, М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

технологічної платформи генерації організаційно-технічних систем – «фабрики кластерів» (послідовність процесів 2 – 8 – 10).

Наукова новизна та практична значимість

Слід зауважити, що технологічна частина досліджень передбачає створення ІСППР, що містить експертно відібрану інформацію двох класів. Формуються дві пов'язані бази знань – БЗ досвіду проектування власне кластерних структур, їх характеристик, оптимальних рішень, супутніх економетричних моделей тощо. Інша база знань – геометричних інструментів побудована на BIM-сумісних принципах і містить структуровану у відповідності до створених типологічних схем інформацію щодо методів геометричного та графічного моделювання. Елементи геометричної бази знань віднесені до характерних локальних задач проектування КОС. З іншої точки зору, вона є однією з реалізацій інваріантних систем геометричних розрахунків [11, 12], які мають потенційно універсальний характер використання.

Висновки

Проблема дослідження процесу проектування кластерних організаційних структур, зокрема, енергоефективних адаптивних архітектурно-будівельних кластерів, складається трьома напрямками досліджень: власне структур та функцій КОС, засобів підтримки прийняття рішень (ІСППР) та інструментів геометричного та графічного моделювання. Останній напрям досліджень вимагає вирішення комплексу загальнотеоретичних проблем з метою формування методологічних засад системної прикладної геометрії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Холтон, Дж. Тематический анализ науки [Текст] / Дж. Холтон. – Москва : Прогрес, 1981. – 384 с.
2. Вірченко, Г. А. Узагальнення структурно-параметричного підходу до геометричного моделювання об'єктів машинобудування [Текст] : дис. д-ра. техн. наук : 05.01.01 / Вірченко Г. А. ; – Київ, 2011. – 367 с.
3. Микитась, М. В. Оптимізаційна задача управління потокорозподілом ресурсів кластерних організаційних структур енергоефективного будівництва [Текст] / М. В. Микитась, С. А. Теренчук // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – Київ : КНУБА, 2018. – Вип. 10. – С. 77-84.
4. Микитась, М. В. Концептуальний підхід до формування енергоефективних архітектурно-будівельних кластерів із застосуванням BIM-технологій [Текст] / М. В. Микитась, Б. М. Єременко, Х. М. Чуприна // Сучасні проблеми моделювання. – Мелітополь : МДПУ, 2018. – Вип. 13. – С. 106-113.
5. Кривошапко, С. Н. Торсовые поверхности и оболочки. Справочник [Текст] / С. Н. Кривошапко. – Москва : УДН, 1991. – 287 с.
6. Плоский, В. А. Информационное моделирование процесса развития научного направления на примере прикладной геометрии / В. А. Плоский, И. В. Чорноморденко [Текст] // Докл. междунар. конф. «Современные проблемы геометрического моделирования». – Харьков, ХПИ, 1998. – С. 34-39.
7. Подгорный, А. Л. Роль межнаучного взаимодействия в развитии прикладной геометрии [Текст] / А. Л. Подгорный, В. А. Плоский // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Київ : КНУБА, 1997. – Вип. 61. – С. 53-59.
8. Клир, Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. Пер. с англ. [Текст] / Дж. Клир. – Москва : Радио и связь, 1990. – 544 с.
9. Куліков, П. М. Формування теоретико-методичного підходу до розробки інструментального забезпечення стратегічного розвитку організаційних структур [Текст] / П. М. Куліков, М. В. Микитась, С. А. Теренчук, С. А. Кожедуб // Містобудування та територіальне планування. – Київ : КНУБА, 2018. – Вип. 68. – С. 295-301.
10. Mykytas, M. Models, Methods and Tools of Optimizing Costs of Development of Clusterized Organizational Structures in Constructing Industry / M. Mykytas, S. Terenchuk, N. Zhuravska // International Journal of Engineering & Technology. № 7 (3.2), 2018. – pp. 250-254.
11. Осипов, В. А. Автоматизированная система геометрических расчетов (АСГР) в проектировании, конструировании и технологической подготовке производства изделий [Текст] / В. А. Осипов // Тезисы науч.-техн. конференции «Геометрия САПР и автоматизированные системы производства деталей и узлов машин». – Орел, НТО Машпром, 1978. – Ч. 1. – С. 2-11.
12. Якунин, В. И. Методологические аспекты построения интегральных систем геометрического проектирования [Текст] / В. И. Якунин // Тезисы докладов Межзонального научно-методического совещания. – Йошкар-Ола, МарПИ, 1982. – С. 59-60.

© В. О. Плоский, М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

В. О. ПЛОСКИЙ[1], М. В. МИКИТАСЬ[2*], П. П. ТЕСЛЕНКО[3], С. И. КУШНИР[4]

[1] Кафедра архитектурных конструкций, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Воздухофлотский проспект, 31, Киев, Украина, 03680, тел. +38 (044) 245 44 32, эл. почта ploskyivo@ukr.net, ORCID 0000-0002-2632-8085
[2*] Кафедра архитектурных конструкций, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Воздухофлотский проспект, 31, Киев, Украина, 03680, тел. +38 (050) 388 11 08, эл. почта maksim27@ukr.net, ORCID 0000-0002-6176-6822
[3] Кафедра менеджмента в строительстве, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Воздухофлотский проспект, 31, Киев, Украина, 03680, тел. +38 (044) 241 54 98, эл. почта nkc_kiev@ukr.net
[4] Кафедра менеджмента в строительстве, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Воздухофлотский проспект, 31, Киев, Украина, 03680, тел. +38 (044) 241 54 98, эл. почта nkc_kiev@ukr.net

СИСТЕМНАЯ ПРИКЛАДНАЯ ГЕОМЕТРИЯ: ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛАСТЕРНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Цель. В статье сформулированы требования, определяющие принципы формирования системной прикладной геометрии. **Методика.** Системная прикладная геометрия рассматривается как форма организации методологического ядра и теоретических основ прикладной геометрии и практической реализации ее инструментария, основанного на использовании принципов теории систем. Процесс проектирования и оптимизации кластерных организационных структур энергоэффективности рассматривается как комплексный проект. **Результаты.** Выполнено сопоставление критериев системности и средств их достижения, в результате чего сформулированы требования к методам геометрического моделирования как основного операционного элемента прикладной геометрии. Определено, что основным операционным элементом прикладной геометрии как открытой ориентированной сложной системы является метод геометрического (графического) моделирования. **Научная новизна.** Преимущества системного подхода к геометрическому (графическому) моделированию продемонстрированы на примере построения и исследования сложной социотехнической системы типа кластерной организации (энергоэффективного адаптивного архитектурно-строительного кластера). **Практическая значимость.** Рассмотрены элементы геометрической базы знаний, которые отнесены к характерным локальным задачам проектирования кластерной организационной структуры. Это является одной из реализаций инвариантных систем геометрических расчетов, имеющих потенциально универсальный характер использования.

Ключевые слова: кластер; кластерная организация; моделирование кластеров; системная прикладная геометрия; система принятия решений

V. O. PLOSKYI[1], M. V. MYKYTAS[2*], P. P. TESLENKO[3], S. I. KUSHNIR[4]

[1] Department of architectural designs of The Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky Avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03680, tel. +38 (044) 245 44 32, e-mail ploskyivo@ukr.net, ORCID 0000-0002-2632-8085
[2*] Department of architectural designs of The Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky Avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03680, tel. +38 (050) 388 11 08, e-mail maksim27@ukr.net, ORCID 0000-0002-6176-6822
[3] Department of Management in Construction of The Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky Avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03680, tel. +38 (044) 241 54 98, e-mail nkc_kiev@ukr.net
[4] Department of Management in Construction of The Kyiv National University of Construction and Architecture, Povitroflotsky Avenue, 31, Kyiv, Ukraine, 03680, tel. +38 (044) 241 54 98, e-mail nkc_kiev@ukr.net

SYSTEM APPLIED GEOMETRY: RESEARCH PROBLEMS OF CLUSTER ORGANIZATIONAL SYSTEMS

Purpose. The article outlines the basic theoretical concepts of the general concept of clustering geometric objects, analyzes some areas of its effective practical application. **Methodology.** System applied geometry is considered as a form of organization of the methodological core and theoretical foundations of applied geometry and the practical implementation of its tools, based on the use of the principles of systems theory. The process of designing and optimizing cluster organizational structures for energy efficiency is considered as a complex project. **Findings.** A comparison was made of the criteria of systemicity and the means of their achievement, as a result of which the requirements for methods of geometric modeling as the main operational element of applied geometry were formulated. It is determined that the main operational element of applied geometry as an open oriented complex system is the method of geometric (graphic) modeling. **Originality.** The advantages of a systematic approach to geometric

© В. О. Плоский, М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

(graphical) modeling are demonstrated by the example of the construction and research of a complex socio-technical system such as cluster organization (an energy-efficient adaptive architectural and construction cluster). **Practical value.** The elements of the geometric knowledge base, which are related to the characteristic local tasks of designing a cluster organizational structure, are considered. This is one of the implementations of invariant systems of geometric calculations that have a potentially universal use.

Keywords: cluster; cluster organization; cluster modeling; system applied geometry; decision making system

REFERENCES

1. Holton Dzh. Tematicheskij analiz nauki [Thematic analysis of science]. Moskow, Progres Publ., 1981, 384 p.
2. Virchenko H. A. Uzahalnennia strukturno-parametrychnoho pidkhodu do heometrychnoho modeliuvannia obiektiv mashynobuduvannia. Dokt. Diss. [Generalization of structural-parametric approach to geometric modeling of machine building objects. Doct. Diss.]. Kyjiv, 2011. 367 p.
3. Mykytas M. V., Terenchuk S. A. Optymizatsiina zadacha upravlinnia potokorozpodilom resursiv klasternykh orhanizatsiinykh struktur enerhoefektyvnoho budivnytstva [Optimization Task of Flow Distribution of Resources of Cluster Organizational Structures of Energy Efficient Construction]. *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi – Energy efficiency in construction and architecture*. Kyjiv, KNUBA Publ., 2018, issue 10, pp. 77-84.
4. Mykytas M. V., Yeremenko B. M., Chupryna Kh. M. Kontseptualnyi pidkhid do formuvannia enerhoefektyvnykh arkhitekturno-budivelnykh klasteriv iz zastosuvanniam BIM-tekhnolohii [Conceptual approach to the formation of energy-efficient architectural and construction clusters using BIM-technologies]. *Suchasni problemy modeliuvannia – Modern simulation problems*. Melitopol, MDPU Publ., 2018, issue 13, pp. 106-113.
5. Krivoshapko S. N. Torsovye poverhnosti i obolochki. Spravochnik [Torso surfaces and shells. Directory]. Moskow, UDN Publ., 1991. 287 p.
6. Ploskij V. A., Chornomordenko I. V. Informacionnoe modelirovanie processa razvitija nauchnogo napravlenija na primere prikladnoj geometrii [Information modeling of the process of development of scientific direction on the example of applied geometry] *Dokl. mezhdunar. konf. «Sovremennye pro-blemy geometricheskogo modelirovanija»* [Report international conf. «Modern problems of geometric modeling»]. Har'kov, HPI, 1998. pp. 34-39.
7. Podgornyj A. L., Ploskij V. A. Rol' mezhnauchnogo vzaimodejstvija v razvitii prikladnoj geometrii [The role of inter-scientific interaction in the development of applied geometry] *Prikladna geometrija ta inzhenerna grafika – Applied Geometry and Engineering Graphic*. Kyjiv, KNUBA, 1997, issue 61, pp. 53-59.
8. Klir Dzh. Sistemologija. Avtomatizacija reshenija sistemnyh zadach. Per. s angl. [Systemology. Automation of solving system problems. Per. from English]. Moskow, Radio i svjaz' Publ., 1990. 544 p.
9. Kulikov P. M., Mykytas M. V., Terenchuk S. A., Kozhedub S. A. Formuvannia teoretyko-metodychnoho pidkhodu do rozrobky instrumentalnoho zabezpechennia stratehichnoho rozvytku orhanizatsiinykh struktur [Formation of theoretical and methodical approach to the development of instrumental support for the strategic development of organizational structures]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and territorial planning*. Kyjiv, KNUBA Publ., 2018, issue 68, pp. 295-301.
10. Mykytas M., Terenchuk S., Zhuravska N. Models, Methods and Tools of Optimizing Costs of Development of Clusterized Organizational Structures in Constructing Industry. *International Journal of Engineering & Technology*. № 7 (3.2), 2018. pp. 250-254.
11. Osipov V. A. Avtomatizirovannaja sistema geometricheskih raschetov (ASGR) v proektirovanii, konstruirovanii i tehnologicheskoj podgotovke proizvodstva izdelij [Automated system of geometric calculations (ASGC) in the design, engineering and technological preparation of the production of products] *Tezisy nauch.-tehn. konferencii «Geometrija SAPR i avtomatizirovannye sistemy proizvodstva detalej i uzlov mashin»* [Abstracts nauch.-tehn. Conference «Geometry of CAD and automated systems for the production of parts and assemblies of machines»]. Orel, NTO Mashprom Publ., 1978. Ch. 1. pp. 2-11.
12. Jakunin V. I. Metodologicheskie aspekty postroenija integral'nyh sistem geometricheskogo proekti-rovanija [Methodological aspects of the construction of integral systems of geometric design] *Tezisy dokladov Mezhzonal'nogo nauchno-metodicheskogo soveshhanija* [Abstracts of the Interzonal Scientific and Methodological Meeting]. Joshkar-Ola, MarPI Publ., 1982, pp. 59-60.

Надійшла до редколегії 22.11.2017
Прийнята до друку 30.11.2017

© В. О. Плоский, М. В. Микитась, П. П. Тесленко, С. І. Кушнір, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 69-048.42:[338.45:69]

А. В. РАДКЕВИЧ[1*], І. А. АРУТЮНЯН[2], Н. О. ДАНКЕВИЧ[3], Д. В. САЙКОВ[4]

[1*] Кафедра «Будівельне виробництво і геодезія», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. + 38 (056) 247 18 65, ел. пошта bely-a@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 (066) 900 78 28, 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 (066) 482 42 78, ел. пошта DankevichNatali28@gmail.com, ORCID 0000-0002-7146-9303
[4] Кафедра «Промислове та цивільне будівництво», Запорізька державна інженерна академія, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (095) 599 11 56, ел. пошта vip.s.danil@gmail.com

ДЕТЕРМІНАЦІЯ КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ПІДХОДІВ ЩОДО ОБЛІГАТОРНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ВІТЧИЗНЯНИХ ПІДРЯДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Мета. Урегулювання питання оптимізації будівельного виробництва підрядних підприємств є актуальною задачею та загострюється з врахуванням поточних динамічних трансформацій на будівельному ринку в розрізі регіонів України. **Методика.** Провідна роль оптимізаційних моделей полягає у дискретизації та модернізації організаційних процесів будівельного виробництва підрядних підприємств, які являють собою базові структури з постачання завершених будівельних об'єктів. Дослідження зосереджене на детермінації необхідності оптимізації будівельних процесів та розгляду концепції розрахунку імплементаційної ефективності оптимізаційних моделей на підрядному підприємстві. **Результати.** Розглянуто сучасний стан вітчизняного будівельного ринку на базі аналітико-статистичних даних. Встановлено, що кон'юнктура будівельних ринків має середні, здебільшого малі, показники конкурентоспроможності, спостерігається неритмічний розвиток та формування вітчизняного будівельного сектору. **Наукова новизна.** Розроблено аналітико-теоретичне підґрунтя з актуалізації та концептуалізації впровадження оптимізаційних моделей і розробки принципово нових. **Практична значимість.** Теоретико-методологічні основи аналізу є науковим поштовхом до практичного формування інноваційних підходів до організації будівельного виробництва на сучасному етапі розвитку будівельного ринку в Україні.

Ключові слова: будівельний ринок; підрядне підприємство; організація будівельного виробництва; оптимізаційна модель

Вступ

Факторний аналіз кон'юнктури вітчизняного будівельного ринку наочно демонструє стримуючий ефект економічного розвитку підрядних підприємств, який знаходить відображення у низькій підготовці вітчизняних суб'єктів господарювання в сфері будівництва до фінансових ризиків, що в свою чергу призводить до зниження показників рівня конкурентоспроможності. Негативні тенденції розвитку продиктовані недостатнім професіоналізмом та відсутністю кваліфікованого володіння генеральними і фінансовими керівниками підрядних підприємств інноваційними методами контролю, управління та оптимізації організаційних процесів будівельного виробництва. На додаток, динамічна трансформація будівельних ринків, остаточно позбавляє підрядні організації стійкого економічного розвитку та фінансової стабільності, призводячи до порушення чіткого функціювання існуючої системи організації будівельного виробництва на підприємствах.

Таким чином, посилюється облігаторність інноваційного розвитку підрядних підприємств на засадах оптимізації організаційно-технологічних процесів з доцільним плануванням розподілу матеріальних, ресурсних та фінансових потоків на підприємстві.

Мета

Теоретичним підґрунтям дослідження стали роботи В. Костюченко, Р. Пинди, Ю. Пинди, Д. Рижакова, О. Тугая, В. Олюхи, І. Павлова,

© А. В. Радкевич, І. А. Арутюнян, Н. О. Данкевич, Д. В. Сайков, 2017

В. Поколенко, В. Кравця, В. Андрухова, Ю. Сафонова, Т. Марчук, С. Федотової, С. Болотина та ін. Однак, незважаючи на вагомий науковий-теоретичний внесок, у вітчизняній літературі залишається відкритим ряд питань стосовно чіткого вирішення проблеми доцільності оптимізації організаційних процесів будівельного виробництва та облігаторності її впровадження загалом із врахуванням поточних умов вітчизняного будівельного ринку послуг.

Основними задачами публікації є аналіз стану вітчизняних підрядних підприємств з урахування сучасної кон'юнктури будівельного ринку; визначення організації будівельного виробництва як фундаментальної складової економічної діяльності підприємства; розгляд існуючих моделей оптимізації організаційних процесів будівельного виробництва, методології розрахунку їх імплементаційної ефективності. Метою публікації є визначення облігаторності впровадження оптимізаційних моделей організаційних процесів будівельного виробництва задля виходу підрядних підприємств на новий рівень ефективності господарювання на будівельному ринку України.

Методика

Детермінуючою характеристикою підрядних підприємств є велика чисельність структурно-організаційних форм процесу будівельного виробництва, функціонально-цільове навантаження значної кількості його учасників, суттєва економічна залежність організаційних процесів від сучасної кон'юнктури будівельного ринку та політичного клімату в країні. Впливовим чинником є ведення підрядного будівництва кваліфікованими та ліцензованими будівельними підприємствами з урахуванням цивільно-правових норм та чинного законодавства, несення відповідальності за якісні показники завершених об'єктів будівництва та строки виконання будівельно-монтажних робіт [1].

Поточний організаційно-економічний рівень вітчизняних підрядних підприємств характеризується значним зносом основних фондів, що на сьогодні складає близько 70 % на будівельному ринку. Зазначена негативна тенденція внутрішнього падіння призведе до зменшення показників механоозброєності, кваліфікаційного рівня та складності потенціальних об'єктів будівництва, і як результат, зниження конкурентоспроможності підрядних підприємств [2, 3].

Імпліцитним фактором впливу є значний тиск державно-правового регулювання якісних, організаційних і технологічних показників будівельно-монтажних робіт, таких як: наявність прогресивного рівня календарного планування, прискорене виконання будівельних робіт і редуціювання строків будівництва в 1,5 рази; непохильне дотримання цивільно-правових зобов'язань в межах договору підряду; надання висококваліфікованого рівня якості будівельних послуг та застосованих під час будівництва матеріалів, конструкцій, виробів (із необхідним документальним підтвердженням якісних характеристик); суворе забезпечення беззбитковості робіт, високої продуктивності та рентабельності підприємства [4, 5].

Інтенсифікація вищезазначених вимог спостерігається при виконанні будівельно-монтажних робіт на об'єктах, що зводяться за рахунок державних (бюджетних) коштів.

Редуціювання факторів впливу на діяльність підрядного підприємства досягається за рахунок стратегічної адаптації до стрімких трансформацій на будівельному ринку, становлення чітких та непохитних нормативно-правових відносин з іншими суб'єктами господарювання (контрагенти, субпідрядні організації), технічними представниками замовника будівництва, виконавчими і контролюючим службами. Але перед усім, формотворчим чинником є забезпечення цілеспрямованого планування і суттєвий розвиток організаційних процесів будівельного виробництва підрядного підприємства [1].

Результати

По-перше, організація будівельного виробництва – це комплексна взаємопов'язана ієрархічно-структурна система функціонально-цільової підготовки підприємства до виконання окремих видів або комплексу будівельно-монтажних робіт із розподіленням загальної черговості і термінів їх виконання, постачання всіх видів ресурсів для досягнення ефективності та необхідної якості виконання робіт, будівництва об'єктів загалом. Тобто, система організаційних процесів будівельного виробництва підрядних підприємств забезпечує цілеспрямованість всіх організаційно-технічних і техноло-

© А. В. Радкевич, І. А. Арутюнян, Н. О. Данкевич, Д. В. Сайков, 2017

гічних рішень на досягнення кінцевого результату – введення об'єкта в експлуатацію з необхідними показниками якості та в установлені замовником строки з найменшими ресурсними і економічними витратами.

По-друге, організація будівельного виробництва являє собою базис економічно-господарчої діяльності підприємства, функціональною сутністю якого є надання будівельних послуг та безпосередній випуск готової будівельної продукції [1, 6]. Тобто, саме показники організаційних процесів будівельного виробництва визначають рівень конкурентоспроможності підрядної організації на будівельному ринку.

Таке обґрунтування знаходить підтвердження в основних підходах теорії ефективної конкуренції господарської діяльності підрядних підприємств, згідно яких оцінка рівня конкуренції базується на локалізації ринкового капіталу будівельного виробництва і економічних показників діяльності підприємства [7]. Досягнення істотно нового рівня конкурентоспроможності на будівельному ринку можливе за рахунок суттєвого перетворення системи організації будівництва на підприємстві, в першу чергу, докорінну зміну організаційних відносин, структурованості процесів, організаційних форм управління. Таким чином, це доводить облігаторність реалізації інноваційних методик оптимізації організаційних процесів будівельного виробництва [1, 8].

Оптимізація будівельного виробництва базується на впровадженні моделей (нормативно-правові, математичні, техніко-економічні, програмні модулі), які концептуально направлені на формування раціонально-ритмічного виконання будівельно-монтажних робіт, інтенсивності капіталовкладень, надійності виконавців і контрагентів, зниження впливу зовнішньо- та внутрішньо-організаційних негативних чинників, збільшення якісних показників будівельного виробництва. Методологічні підходи до оптимізації будівельного виробництва встановлені на чіткій взаємозалежності між структурними одиницями функціонального апарату підприємства, визначенні ієрархії цілей підрядної організації, зокрема в межах стратегічного планування [1, 9-13].

Нормативно-правові моделі пов'язані з провадженням державних законодавчих актів, постанов, стандартів, вимог і настанов у сфері капітального будівництва, яке регулюються не власниками суб'єктів підприємництва будівельного ринку, а вповноваженими державними органами. Виключенням являють собою внутрішньо-організаційні акти, накази, постанови тощо, які затверджуються генеральними керівниками підрядних фірм, стосовно провадження нових методів ведення і контролю організаційних процесів будівельного виробництва. Такі моделі мають за мету стимулювання розвитку будівельного сектору, контроль господарської діяльності підрядних підприємств, підвищення ефективності будівництва. Наприклад, ДСТУ ISO 9001:2015 висуває вимоги до організаційних процесів виробництва вітчизняних підприємств задля збільшення показників їх якості в рамках євроінтеграції України [9, 14], а провадження оновленої редакції ДБН А.3.1-5:2016 імплементує нові вимоги до форм виконавчої документації [15]. Також, в рамках державної політики формування саморегуляторних організацій сприяє підвищенню якості будівельних послуг, розвитку правого поля будівельної сфери [16].

Ідейно-практичне ядро математичних моделей полягає у розрахунку та плануванні раціонального розподілення ресурсів підрядного підприємства в процесі будівельного виробництва на базі математичних ітерацій. Калькуляція виконується з урахуванням ризиків при обчислення залежності дисперсії прибутку від дисперсій використання ресурсів. Однак, організаційні процеси в межах сучасної кон'юнктури будівельного ринку вимагають врахування таких ситуацій, які передбачити достовірно неможливо, оскільки на детерміновані процеси використання ресурсів накладаються ще стохастичні. Це призводить до невизначених обставин і появи ризику недосягнення поставленої мети розрахунку. Зокрема, охоплення масштабної системи організаційних процесів ускладнює розрахунок, підвищує його трудомісткість в силу значної кількості математичних рівнянь [11, 17].

Концепцією техніко-економічної моделі є прямий факторний аналіз, який дає змогу оцінювати рівень ефективності використання ресурсів на певному етапі організаційного процесу, розкривати локальні резерви, пов'язані з провадженням нової техніки, поточним станом

© А. В. Радкевич, І. А. Арутюнян, Н. О. Данкевич, Д. В. Сайков, 2017

будівельного ринку. Проведення прямого факторного аналізу вимагає використання структурованої деталізації факторів впливу на середній виробіток за кошторисною ціною будівельно-монтажних робіт. За такої умови стає можливим відокремлення чинників демпінгування або зростання кошторисної вартості, виключення повторного рахунку впливу взаємопов'язаних факторів. При кожній ітерації виконується розрахунок економії трудових витрат в абсолютних показниках та у відсотках до вихідної чисельності структурних одиниць і досягається приріст продуктивності роботи [10].

Інноваційним підходом до оптимізації будівельних процесів є розробка і впровадження програмних модулів, які шляхом комп'ютерно-забезпечених ітерацій дають науково-обґрунтовані показники поточного стану організаційних процесів будівельного виробництва. Програмні модулі дають змогу на якісно новому, інформативно-вищому рівні, виконувати організаційно-технологічний супровід реалізації об'єктів підрядного підприємства протягом усього будівельного циклу. Такий підхід формує новітній, прозорий та детальний формат інформативного поля для всіх учасників організаційних процесів будівельного виробництва [9, 18, 19].

Методика оптимізації організаційних процесів може бути реалізована на базі програмного комплексу Automated Resource Management (ARM), який складається з двох основних модулів: Building Resource Management (BRM) та Automated Resource Estimate (ARE). В основі ARM реалізована взаємодія систем календарного планування та проектно-кошторисної документації. Аналіз структури функціональної системи ARM показує, що вихідні дані програмного комплексу є кінцевими елементами розрахунку модулів і носять інформативний характер.

В рамках реалізації оптимізаційних моделей будівельного виробництва на базі програмно-інформаційних комплексів доцільна розробка додаткових модулів. Building Processes Optimization (BPO) є аналітичним блоком даних, який формується на принципах розрахунку економіко-математичних та техніко-економічних моделей оптимізації. Модуль включає елементи контролінгу, що виконується шляхом зіставлення планових та фактичних показників виробничих процесів будівництва, має на меті визначення показників відставання (випередження) темпів будівництва в просторі та часі, зіставлення їх з календарним планом фінансування об'єкта. Визначається необхідність внутрішньої єдиної системи документообігу, виведення виконавчої та облікової документації (актів); формування інформаційного блоку щодо розподілення організаційних робіт, контролю їх виконання.

Концептуалізація системного підходу до аналізу організаційних процесів будівельного виробництва зумовлює можливість скорочення строків будівництва на 15 %, прискорення формування кейсів документації об'єкта. Вихідні дані зазначених модулів дозволять збільшити на 25 % оперативність та рівень ефективності прийняття управлінських рішень керівниками підрядних підприємств.

Інноваційний програмний девелопмент пропонує ряд програмний модулів з управління та організації виробництва (Bitrix 24, SAP Bussines One, Leader Task). Формат софту найчастіше носить універсальний характер або орієнтований на організаційну структуру підприємств і установ медицини, сфери обслуговування, системи освіти тощо. Тобто ніша програмного забезпечення з організації будівельного виробництва залишається до кінця не заповненою [15].

Оскільки рівень конкурентоспроможності складається з якісних і комерційних показників, оптимізація організаційних процесів будівельного виробництва укладається в межі бізнес-процесів підрядного підприємства. Таким чином, облігаторність реалізації певної оптимізаційної моделі є розрахунковим значенням.

Імплементація оптимізаційної моделі з метою підвищення рівня конкурентоспроможності оцінюється за комплексним критерієм Optimization Model Index (*OMI*), який дорівнює різниці сумарних дисконтованих чистих фінансових потоків, отриманих від реалізації об'єкта будівництва, та витрат, пов'язаних з генерацією й імплементацією конкретної оптимізаційної моделі, і визначається за формулою:

$$OMI = \sum_{t=1}^{T_b} \frac{Q_t}{(1+e)^t} - \sum_{t=1}^{T_c} \frac{IC}{(1+e)^t},$$

© А. В. Радкевич, І. А. Арутюнян, Н. О. Данкевич, Д. В. Сайков, 2017

де Q – фінансові потоки; IC – імплементаційні витрати; T_b – строк зведення об'єкта до моменту введення в експлуатацію; T_c – інвестиційний період; t – поточний період; e – ставка дисконтування.

Показник *OMI* враховує результати від реалізації будівельного об'єкта, одноразові та довгострокові імплементаційні витрати, економічну ефективність оптимізаційної моделі. Якщо *OMI* при заданій ставці дисконтування додатній ($OMI > 0$), тоді реалізація оптимізаційної моделі є ефективною, може розглядатися питання щодо її прийняття, подальший розгляд або імплементація на підприємстві (або окремому об'єкті будівництва). Чим вище *OMI*, тим більше оптимізаційна модель вважається ефективнішою. Якщо $OMI = 0$, або $OMI < 0$, тоді імплементація оптимізаційної моделі є не доцільною [9, 12].

Для задоволення означених вимог постає необхідність реструктуризації організаційних процесів, які реалізовані на базі економіко-математичних і техніко-економічних моделей оптимізації будівельного виробництва. Але насамперед моделі оптимізації зорієнтовані на зниження показників трудомісткості, редуціювання термінів будівельного виробництва, підвищення рівня рентабельності підприємства.

Наукова новизна та практична значимість

Диференціація матеріально-трудових ресурсів в рамках організації будівельного виробництва шляхом імплементації моделей оптимізації продиктована активними темпами зростання масштабів і складності будівельних проектів, підвищенням вимог до строків виконання робіт. Впровадження оптимізаційних моделей дозволить ефективно розподіляти часові, економічні, якісні параметри організаційних процесів підрядних підприємств. Формування теоретико-методологічних основ з розробки оптимізаційних моделей генерує критичне осмислення зі створення практичного підґрунтя для досягнення підрядними підприємствами найбільшого рівня конкурентоспроможності на ринку будівельних послуг.

Висновки

Поточний стан кон'юнктури будівельного ринку в Україні генерує складні умови господарювання для підрядних підприємств. Посилюється тиск з боку держави в сфері регулювання капітального будівництва, висуваються жорсткі вимоги щодо якості та рівня будівельних послуг підрядних підприємств. Необхідність адаптації до економічно-політичних чинників є запорукою підтримання та підвищення рівня конкурентоспроможності підрядних організацій.

Визначено, що базовою складовою зростання показників конкуренції на будівельному ринку є фундаментально-якісний рівень організаційних процесів будівельного виробництва. Безпосередній плив якості будівельно-монтажних послуг, темпів будівництва, виконання договірних зобов'язань на економічно-ділову репутацію та конкурентоспроможність підрядного підприємства бере витоки в системі організаційних процесів будівельного виробництва. Це доводить облігаторність впровадження оптимізаційних моделей будівельного виробництва на засадах нарощення рівню економічної ефективності, отримані переваг у конкурентній боротьбі з врахування сучасних вимог кон'юнктури будівельного ринку.

Однак, необхідно підкреслити, що організаційний інструментарій впровадження оптимізаційних моделей, безпосередньо, є різноманітним, але певна модель повинна затверджуватися в рамках управлінських рішень з обов'язковим визначення її ефективності. Головною залишається вимога стратегічного планування, яка полягає у цілковитій відповідності прийнятої оптимізаційної моделі найактуальнішим поточним потребам підрядного підприємства, її зручності та прозорості для всіх учасників організаційних процесів, безпосереднім узгодженням з діючими нормативно-правовими і законодавчими стандартами в сфері капітального будівництва.

Подальші дослідження слід направити на аналіз інноваційних моделей оптимізації за концептуальними складовими організації будівельного виробництва, пошук нових імплементацій них шляхів з врахуванням дискретизації організації будівельного будівництва, генерацію методологічних засад визначення ефективності оптимізаційних моделей, звернення до зарубіжного і світового досвіду з оптимізації організаційних процесів.

© А. В. Радкевич, І. А. Арутюнян, Н. О. Данкевич, Д. В. Сайков, 2017

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пинда, Р. Регіональні особливості розвитку будівництва в Україні [Текст] / Р. Пинда // Регіональні аспекти розвитку продуктивних сил України. – Тернопіль : Економічна думка, 2013. – Вип. 18. – С. 75-81.
2. Дяченко, К. С. Сучасний стан будівельних підприємств [Текст] / К. С. Дяченко // Тези доповідей наукової конференції Харьківської національної академії народного господарства. – Харків, 2011. – С. 127-128.
3. Виконання будівельних робіт в Україні у січні-червні 2017 року [Електронний ресурс] / Експрес-випуск // Державна служба статистики України. – 2017. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua
4. Виконання будівельних робіт у м. Києві у січні-травні 2017 року [Електронний ресурс] / Експрес-випуск // Головне управління статистики у м. Києві. – 2017. – Режим доступу: http://www.kyiv.ukrstat.gov.ua
5. Виконання будівельних робіт у Запорізькій області в січні-травні 2017 року [Електронний ресурс] / Експрес-випуск // Головне управління статистики у Запорізькій області. – 2017. – Режим доступу: http://www.zp.ukrstat.gov.ua
6. Виконання будівельних робіт у Луганській області в січні-травні 2017 року [Електронний ресурс] / Експрес-випуск // Головне управління статистики у Луганській області. – 2017. – Режим доступу: http://www.lg.ukrstat.gov.ua
7. Обсяг виконаних будівельних робіт у 2010-2016 рр. за видами будівельної продукції [Електронний ресурс] / Експрес-випуск // Державна служба статистики України. – 2017. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua
8. Про обсяги виконаних будівельних робіт за січень-червень 2017 року [Електронний ресурс] / Розвиток будівельної діяльності // Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – 2017. – Режим доступу: http://www.min-region.gov.ua
9. Сайков, Д. В. Дослідження концепції розвитку висотного будівництва в Україні з використанням інноваційних технологічних рішень [Текст] : автореф. магістра: спец. : 8.06010101 / Д. В. Сайков ; ЗДІА. – Запоріжжя, 2017. – 22 с.
10. Сайков, Д. В. Перспективи розвитку висотного будівництва в Україні [Текст] / Д. В. Сайков, І. А. Арутюнян // XXI науково-технічна конференція студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА (25.04-29.04.2016). – Запоріжжя : ЗДІА, 2016. – Т. 2. – С. 49-50.
11. Постанова Верховної Ради України Про попереднє схвалення законопроекту про внесення змін до Конституції України щодо децентралізації влади від 31 серп. 2015 року № 656-VIII [Електронний ресурс] / Офіційний портал Верховної Ради України. – Режим доступу: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/ 656-19
12. Современный экономический словарь [Текст] : економ. слов. / Б. А. Райзберг, Л. Ш. Лозовский, Е. Б. Стародубцева – 2-е изд., испр. – Москва : ИНФРА-М, 1999. – 479 с.
13. Олюха, В. Г. Оптимізація капітального будівництва: господарсько-правові проблеми [Текст] : монографія / В. Г. Олюха. – Київ : Центр учбової літератури, 2015. – 302 с.
14. Радкевич, А. В. Моделі оптимізації організаційних процесів будівельного виробництва підрядних підприємств України [Текст] / А. В. Радкевич, І. А. Арутюнян, Д. В. Сайков // Управління розвитком складних систем. – Київ, 2018. – № 33. – С. 124-130. – ISSN: 2219-5300.
15. Сайков, Д. В. Оптимізація будівельного виробництва підрядних організацій на базі програмних модулів [Текст] / Д. В. Сайков // Тези доповідей ІІІ міжнар. наук.-практ. конф. «Перевантаження будівництва: економіка, організація, менеджмент» (15.11-16.11.2017). – Київ : КНУБА, 2017. – С. 152-155.
16. Торкатюк, В. І. Сучасний стан будівельних підприємств [Текст] / В. І. Торкатюк, О. В. Чупілко та ін. // Тези доповідей наукової конференції Харьківської національної академії народного господарства. – Харків, 2011. – С. 57-59.
17. Радкевич, А. В. Оптимізація організаційних процесів будівельного виробництва як формотворча складова конкурентоспроможності підрядних підприємств [Текст] / А. В. Радкевич, І. А. Арутюнян, Д. В. Сайков // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. – Київ, 2018. – № 35. – С. 64-73.
18. Пинда, Ю. Сучасний стан та особливості розвитку будівельного сектора у Причорноморському регіоні України [Текст] / Ю. Пинда // Причорноморські економічні студії. – Одеса : Причорноморський науково-дослідний інститут економіки і інновацій, 2016. – Вип. 9, ч. 2. – С. 41-46.
19. Радкевич, А. Повышение уровня конкурентоспособности подрядных предприятий на базе оптимизации организационных процессов строительного производства [Текст] / А. Радкевич, И. Арутюнян, Д. Сайков // Mokslas ir praktika: aktualijos ir perspektyvos. Tarptautinė mokslinė-praktinė konferencija 2018 m. gegužės 11-12 d. – Marijampolė, Kaunas: LSU, 2018. – С. 131-132. – ISBN: 978-9955-645-75-7.

© А. В. Радкевич, І. А. Арутюнян, Н. О. Данкевич, Д. В. Сайков, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

А. В. РАДКЕВИЧ[1*], И. А. АРУТЮНЯН[2], Н. А. ДАНКЕВИЧ[3], Д. В. САЙКОВ[4]

[1*] Кафедра «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 247 18 65, эл. почта bely-a@gmail.com, ORCID 0000-0003-4059-2357
[2] Кафедра «Промышленное и гражданское строительство», Запорожская государственная инженерная академия, пр. Соборный, 226, Запорожье, Украина, 69006, тел. +38 (066) 900 78 28, эл. почта iranaarutunan@gmail.com ORCID 0000-0002-5049-3742
[3] Кафедра «Промышленное и гражданское строительство», Запорожская государственная инженерная академия, пр. Соборный, 226, Запорожье, Украина, 69006, тел. +38 (066) 482 42 78, эл. почта DankevichNatali28@gmail.com ORCID 0000-0002-7146-9303
[4] Кафедра «Промышленное и гражданское строительство», Запорожская государственная инженерная академия, пр. Соборный, 226, Запорожье, Украина, 69006, тел. +38 (095) 599 11 56, эл. почта vip.s.danil@gmail.com

ДЕТЕРМИНАЦИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ПОДХОДОВ ОБЛИГАТОРНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПОДРЯДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Цель. Урегулирование вопроса оптимизации строительного производства подрядных предприятий является актуальной задачей и обостряется с учетом текущих динамических трансформаций на строительном рынке в разрезе регионов Украины. **Методика.** Ведущая роль оптимизационных моделей заключается в дискретизации и модернизации организационных процессов строительного производства подрядных предприятий, которые являют собой базовые структуры по поставке завершенных объектов строительства. Исследование сосредоточено на детерминации необходимости оптимизации строительных процессов и анализе концепции расчета имплементационной эффективности оптимизационных моделей на подрядном предприятии. **Результаты.** Рассмотрено современное состояние отечественного строительного рынка на базе аналитико-статистических данных. Установлено, что конъюнктура строительных рынков имеет средние, в основном низкие, показатели конкурентоспособности, наблюдается неритмичное развитие и формирование отечественного строительного сектора. **Научная новизна.** Разработаны аналитико-теоретические основы по актуализации и концептуализации внедрения оптимизационных моделей и разработке принципиально новых. **Практическая значимость.** Теоретико-методологические основы анализа являются научным толчком к практическому формированию инновационных подходов к организации строительного производства на современном этапе развития строительного рынка в Украине.

Ключевые слова: строительный рынок; подрядное предприятие; организация строительного производства; оптимизационная модель

A. V. RADKEVICH[1*], I. A. ARUTIUNIAN[2], N. O. DANKEVICH[3], D. V. SAIKOV[4]

[1*]Departament of Building production and geodesy, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian, Lazarian St. 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 247 18 65, e-mail bely-a@gmail.com ORCID 0000-0003-4059-2357
[2]Departament of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia State Engineering Academy, Sobornyi Avenu 226, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (066) 900 78 28, e-mail iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-5049-3742
[3]Departament of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia State Engineering Academy, Sobornyi Avenu 226, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (066) 482 42 78, e-mail DankevichNatali28@gmail.com, ORCID 0000-0002-7146-9303
[4]Departament of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia State Engineering Academy, Sobornyi Avenu 226, Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (095) 599 11 56, e-mail vip.s.danil@gmail.com

DETERMINATION OF CONCEPTUAL APPROACHES OBLIGATABILITY TO OPTIMIZATION MODELS IMPLEMENTATION INTO BUILDING PRODUCTION FOR DOMESTIC CONTRACTING COMPANIES

© А. В. Радкевич, І. А. Арутюнян, Н. О. Данкевич, Д. В. Сайков, 2017

Purpose. The issue settlement of building production optimizing for contracting companies is an urgent task and is becoming more acute with regard to the current dynamic transformations in building market in context of Ukrainian regions. **Methodology**. The leading role of optimization models lies in discretization and modernization to organizational processes of building production for contracting companies, which are the basic structures for delivery of completed building projects. The study focuses on determination of need to optimize building processes and analysis of calculating concept the implementation efficiency of optimization models in contracting company. **Findings**. It has been considered the current state of domestic building market on the basis of analytical and statistical data; established that conjuncture of building markets has average, mainly low competitiveness indicators, there is a non-rhythmic development and formation of domestic building sector. **Originality**. Analytical and theoretical foundations were developed for actualization and conceptualization to implementation of optimization models and development of fundamentally new ones. **Practical value**. The theoretical and methodological foundations of analysis are scientific impetus to the practical formation of innovative approaches to organization of building production at the current stage of building market development in Ukraine.

Keywords: building market; contracting company; organization of building production; optimization model

REFERENCES

1. Pinda R. Regionalni osoblyvosti rozvytku budivnytstva v Ukraini [Regional peculiarities of construction development in Ukraine]. *Regionalni aspekty rozvytku produktyvnykh syl Ukrainy – Regional aspects of the productive forces development of Ukraine*, 2013, issue 18, pp. 75-81.
2. Diachenko K. S. Suchasnyi stan budivelnykh pidpryiemstv [The current state of construction companies]. Tezy dopovidei naukovoi konferentsii Kharkivskoi natsionalnoi akademii narodnoho hospodarstva [Proc. of Scientific Conf. of Kharkiv National Academy of National Economy]. Kharkiv, 2011, pp. 127-128.
3. Vykonannia budivelnykh robit v Ukraini u sichni-chervni 2017 roku [Implementation of construction works in Ukraine on January-June 2017]. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy – State Statistics Service of Ukraine*, 2017. [Electronic resource]. Available at: http://www.ukrstat.gov.ua
4. Vykonannia budivelnykh robit u m. Kyievi u sichni-travni 2017 roku [Implementation of construction works in Kyiv on January-May 2017]. *Gholovne upravlinnja statystyky u m. Kyjevi – Main Department of Statistics in Kyiv*, 2017. [Electronic resource]. Available at: http://www.kyiv.ukrstat.gov.ua
5. Vykonannia budivelnykh robit u Zaporizhkii oblasti v sichni-travni 2017 roku [Implementation of construction works in Zaporizhzhia region on January-May 2017] *Gholovne upravlinnja statystyky u Zaporizkii oblasti – Main Department of Statistics in Zaporizhzhya Region*, 2017. [Electronic resource]. Available at: http://www.zp.ukrstat.gov.ua
6. Vykonannia budivelnykh robit u Luhanskii oblasti v sichni-travni 2017 roku [Implementation of construction works in Luhansk region on January-May 2017]. *Gholovne upravlinnja statystyky u Luhanskii oblasti – Main Department of Statistics in Luhansk Region*, 2017. [Electronic resource]. Available at: http://www.lg.ukrstat.gov.ua
7. Obsjagh vykonanykh budiveljnykh robit u 2010-2016 rr. za vydamy budiveljnoji produkciji [Volume of completed construction works in 2010-2016 by types of constructions]. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy – State Statistics Service of Ukraine*, 2017. [Electronic resource]. Available at: http://www.ukrstat.gov.ua
8. Pro obsjaghy vykonanykh budiveljnykh robit za sichenj-chervenj 2017 roku [On volumes of completed construction works on January-June 2017]. *Ministerstvo reghionaljnogho rozvytku, budivnyctva ta zhytlovo-komunaljnogho ghospodarstva Ukrajiny – Ministry of Regional Development, Construction, Housing and Communal Services of Ukraine*, 2017. [Electronic resource]. Available at: http://www.minregion.gov.ua
9. Sajkov D. V. Doslidzhennja koncepciji rozvytku vysotnogho budivnyctva v Ukrajini z vykorystan-njam innovacijnykh tekhnologhichnykh rishenj. Avtoreferat maghistra [Research of the concept of high-rise construction development in Ukraine with the use of innovative technological solutions. Master's Abstract]. Zaporizhzhja, 2017. 22 p.
10. Sajkov D. V., Arutjunjan I. A. Perspektyvy rozvytku vysotnogho budivnyctva v Ukrajini [Prospects for Development of High-Rise Construction in Ukraine]. Materialy XXI naukovo-tekhnichna konferencija studentiv, maghistrantiv, aspirantiv i vykladachiv ZDIA (25.04-29.04.2016) [Proc. Of the 11th Scientefic and Technical Conf. of students, masters, graduate students and professors of ZSEA]. Zaporizhzhja, 2016, pp. 49-50.
11. Postanova Verhovnoi Rady Ukrainy Pro poperednie skhvalennia zakonoproektu pro vnesennia zmin do Konstytutsii Ukrainy schodo detsentralizatsii vlady vid 31 serp. 2015 roky № 656-VIII [Resolution of Verkhovna Rada of Ukraine On Prior Approval of Draft Law on Amendments to Constitution of Ukraine on

© А. В. Радкевич, І. А. Арутюнян, Н. О. Данкевич, Д. В. Сайков, 2017

Decentralization of State Power of August 31, 2015 № 656-VIII]. *Ofitsiinyi portal Verkhovnoi Rady Ukrainy – Official portal of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 2015. [Electronic resource]. Available at: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/656-19

12. Raizberg B. A., Lozovskii L. Sh., Starodubtseva E. B. *Sovremennyi ekonomicheskii slovar* [Modern Economic Dictionary]. Moskow, Infa-M Publ., 1999. 479 p.
13. Oliukha V. H. *Optimizatsiia kapitalnoho budivnytstva: hospodarsko-pravovi problem. Monografia* [Optimization of capital construction: economic and leguratory problems. Monograph]. Kyjiv, Tsentr uchbovoi literatury Publ., 2015. 302 p.
14. Radkevich A. V. Modeli optimizatsii orhanizatsiinykh protsessiv budivelnoho vyrobnytstva pidriadnykh pidpryiemstv Ukrainy [Optimization models for organizational processes of the construction production of Ukrainian contracting companies]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system – Management of complex systems development*, 2018, issue 33, pp. 124-130.
15. Saikov D. V. Optymizatsiia budivelnoho vyobnytstva pidriadnykh orhanizatsii na bazi prohramnykh moduliv [Optimization for Building Production of Contractor Companies on the Software Basis]. Programa ta tezy dopovidei III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Perevantazhennia budivnytstva: ekonomika, orhanizatsia, menedzhment (15.11-16.11.2017)» [Proc. of the 3th Int. Scientific and Practical Conf. «Congestion of construction: economy, organization, management»]. Kyjiv, 2017, pp. 152-155.
16. Torkatiuk V. I., Chupilko O. V. Suchasnyi stan budivelnykh pidpryiemstv [Current state of building companies]. Tezy dopovidei naukovoi konferetsii Kharkivskoi natsionalnoi akademii narodnoho hospodarstva [Proc. of the Scientific Conf. of Kharkiv National Academy of National Economy]. Kharkiv, 2011, pp. 57-59.
17. Radkevich A. V. Optimizatsiia orhanizatsinykh protsessiv budivelnoho vyrobnytstva yak formotvorcha skladova konkurentospromozhnosti pidriadnykh pidpryiemstv [Optimization for organizational processes of construction production as a formative component of the competitiveness of contracting companies]. *Schliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh fomuvannia rynkovykh vidnosyn – Ways of increasing the efficiency of construction in conditions of market relations formation*, 2018, no. 35, pp. 64-73.
18. Pinda Y. Suchasnyi stan ta osoblyvosti rozvytku budivelnoho sektora u Prychornomorskomu rehioni Ukrainy [The current state and peculiarities of the construction sector development in the Black Sea region of Ukraine]. *Prychornomorski ekonomichni studii – Black Sea Economic Studies*, 2016, issue 9, vol. 2, pp. 41-46.
19. Radkevich A. V., Arutiunian I. A., Saikov D. V. Povysheniie urovnia konkurentosposobnosti podriadnykh predpriiatii na base optimizatsii organizatsionnykh protsessov stroitelnoho proizvodstva [Enhancing the competitiveness level of contracting companies based on optimization for organizational processes of building production]. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii «Nauka i praktika: problemy i perspectivy (10.05-11.05.2018)» [Proc. of International Scientific and Practical Conf. «Science and Practice: Problems and Perspectives»]. Marijampolė, Kaunas, 2018, pp. 131-132.

Надійшла до редколегії 20.03.2017
Прийнята до друку 29.09.2017

© А. В. Радкевич, І. А. Арутюнян, Н. О. Данкевич, Д. В. Сайков, 2017

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.072.2.042.3-021.431

С. Д. СИНЧУК*

*Кафедра «Строительная механика и гидравлика», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха 7, Харьков, Украина, 61050, тел. +38 (057) 730 10 70, эл. почта sinchuk.sophia@gmail.com, ORCID 0000-0002-2373-4205

К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Цель. Разработка нового подхода к рационализации комбинированной конструкции с учетом конструктивных, технологичных, эксплуатационных и экономических требований. **Методика.** Для достижения поставленной цели используется метод уравнивания изгибающих моментов, основанный на свойствах распорных систем, а именно: в комбинированных балочных конструкциях определяющими по затратам материала являются элементы, испытывающие напряженное состояние в виде сжатия с изгибом; в элементах, работающих на сжатие с изгибом, уменьшение размеров сечения в большей степени определяется уменьшением изгибающего момента; изгибающие моменты возрастают от опоры к середине пролета. **Научная новизна.** На основании проведенных расчетов, используя вышеизложенную методику, составлен алгоритм оптимального проектирования шпренгельной балки под действием постоянной и временной нагрузки. Представленное решение позволяет получить эффективную комбинированную конструкцию с переменным числом стоек, в зависимости от требуемой длины пролета, соответствующую принятому критерию оптимальности. **Практическая значимость.** Использование данного подхода и алгоритма оптимизации, основанного на использовании конструктивных особенностей шпренгельной балки и требующего минимизации возникающих изгибающих моментов, позволит значительно уменьшить трудоемкость подобного расчета, а также, подобрать оптимальные значения поперечных сечений для каждого конкретного случая.

Ключевые слова: комбинированная система; шпренгельная балка; изгибающий момент; линия влияния; временная нагрузка, рационализация сечения

Введение

Развитие сети автомобильных и железных дорог Украины, в том числе высокоскоростных, приводит к необходимости строительства или существенной реконструкции пересечений транспортных потоков с пассажирскими. Существующая улично-дорожная сеть, не рассчитана на увеличившиеся транспортные потоки, что обуславливает необходимость создания новых пешеходных переходов, в том числе пешеходных мостов. В качестве одного из элементов пролетных строений пешеходных мостов применяется шпренгельная балка. Вопросы снижения материалоемкости строительства или реконструкции, их сроков реализации, трудо- и энергозатрат напрямую зависят от эффективности предложенных конструктивных решений. Разработано много методов решения задач оптимального проектирования в канонической постановке [1-6]. Вопросами рационализации конструкции комбинированных систем занимались как отечественные, так и зарубежные исследователи [7, 9, 10].

Методика

Построение линий влияния

В качестве комбинированной конструкции рассмотрим шпренгельную балку. Шпренгельная балка состоит из трех элементов: балочного, нижнего пояса шпренгеля и стоек, которые являются связями между нижним поясом и балкой. Для расчета на подвижную нагрузку построим линии влияния изгибающего момента, продольных и поперечных усилий в элементах шпренгельной балки. В данном случае для построения используем условия равновесия. На рис. 1 представлены линии влияния для элементов шпренгельной балки. Указаны обобщенные значения характерных ординат и размеры однозначных участков линий влияния и положения их вершин.

Рассмотрим произвольное сечение j-й панели балки. При грузе справа от сечения z_{ij} запишем функцию для определения изгибающего момента в сечении балки в j -панели.

© С. Д. Синчук, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

$$M_{ij} = R_0 \cdot z_{ij} - N_j \cdot h_{ij}, \qquad (1)$$

где

$$N_j = H / \cos\alpha_j, \qquad (2)$$

$$h_{ij} = \left[y_{j-1} + \frac{y_j - y_{j-1}}{z_j} \right] \cdot (z_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} z_k) \cos\alpha_j. \qquad (3)$$

тогда с учетом (2) и (3), получим:

$$M_{ij}(x) = R_0 z_{ij} - H \left[\begin{array}{l} y_{j-1} + \dfrac{y_j - y_{j-1}}{z_j}(z_{ij} - \\ -\sum_{k=1}^{j-1} z_k) \end{array} \right], \qquad (4)$$

где R_0 – линия влияния опорной реакции, H – линия влияния распора.

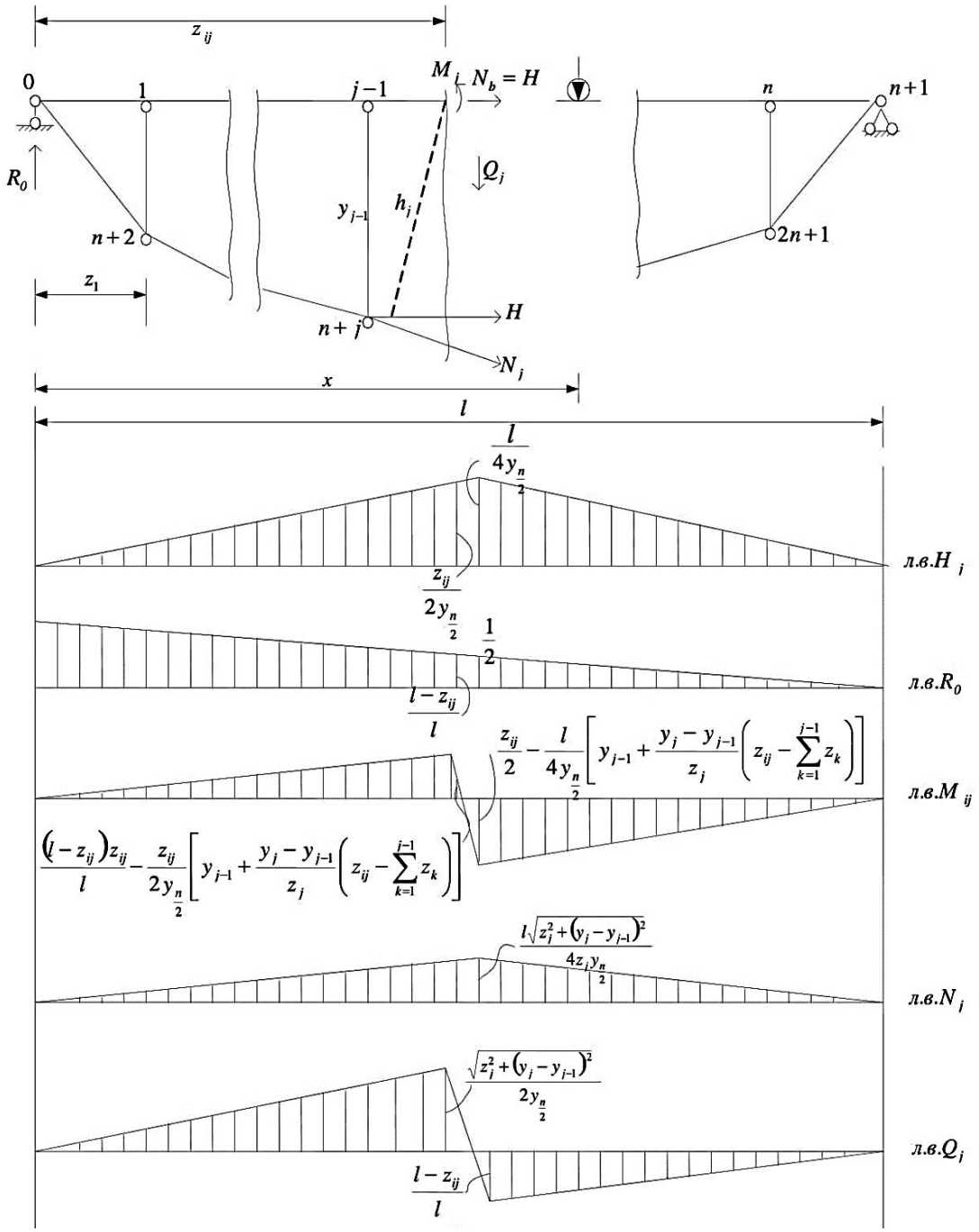

Рис. 1. Линии влияния усилий в шпренгельной балке

© С. Д. Синчук, 2017

Запишем функцию продольной силы в элементе нижнего пояса

$$N_j(x)=\frac{\sqrt{z_j^2+(y_j-y_{j-1})^2}}{2y_{n/2}} \quad (5)$$

и функцию продольного усилия в стойках шпренгеля

$$N_{j,n+j}=N_j(x)\sin\alpha_j-N_{j-1}(x)\sin\alpha_{j-1}=$$
$$=H(x)(tg\alpha_j-tg\alpha_{j-1}),$$

$$N_{j,n+j}(x)=H(x)\left(\frac{y_j-y_{j-1}}{z_j}-\frac{y_j-y_{j-1}}{z_{j-1}}\right). \quad (6)$$

Функция поперечного усилия в балке

$$Q_j=R_a-N_j/\sin\alpha_j. \quad (7)$$

Найдем положение нулевой точки линии влияния изгибающих моментов:

$$u=\frac{a\cdot l/2+bz_{ij}}{a+b}. \quad (8)$$

Результаты

Для получения расчетных усилий необходимо загрузить линии влияния невыгодным образом:

– загружение временной нагрузкой положительного участка линии влияния;

– загружение временной нагрузкой отрицательного участка линии влияния;

– загружение временной нагрузкой линии влияния по всей длине.

Рассмотрим первое невыгодное загружение (рис. 2).

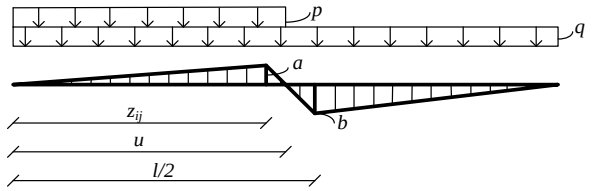

Рис. 2. Схема первого невыгодного загружения. Линия влияния M_{ij}

В этом случае изгибающий момент будет равен:

$$M^1=\frac{q+p}{2}\cdot a\cdot u-\frac{q}{2}\cdot b\cdot(l-u). \quad (9)$$

Определим абсциссу сечения z_{ij}^0, в котором момент M_{ij}, будет принимать максимальное значение. Из условия максимума

$$\frac{\partial M_{ij}}{\partial z_{ij}}=0,$$

получим

$$\frac{\partial M_{ij}}{\partial z_{ij}}=\frac{q+p}{2}\left[u\frac{\partial a}{\partial z_{ij}}-(l-u)\frac{\partial b}{\partial z_{ij}}+(a+b)\frac{\partial u}{\partial z_{ij}}\right], \quad (10)$$

где

$$\frac{\partial a}{\partial z_{ij}}=\frac{l-2z_{ij}}{l}-$$
$$-\frac{1}{2y_{n/2}}\left[y_{j-1}+\frac{y_j-y_{j-1}}{z_j}\left(2z_{ij}-\sum_{k=1}^{j-1}z_k\right)\right], \quad (11)$$

$$\frac{\partial b}{\partial z_{ij}}=\frac{1}{2}-\frac{1}{4y_{n/2}}\frac{y_j-y_{j-1}}{z_j}, \quad (12)$$

$$\frac{\partial u}{\partial z_{ij}}=\frac{\left(\frac{1}{2}\frac{\partial a}{\partial z_{ij}}+b+z_{ij}\frac{\partial b}{\partial z_{ij}}\right)(a+b)}{(a+b)^2}-$$
$$-\frac{\left(\frac{\partial a}{\partial z_{ij}}+\frac{\partial b}{\partial z_{ij}}\right)\left(a\frac{l}{2}+bz_{ij}\right)}{(a+b)^2} \quad (13)$$

Для получения наибольшего отрицательного момента смоделируем второе невыгодное загружение (рис. 3).

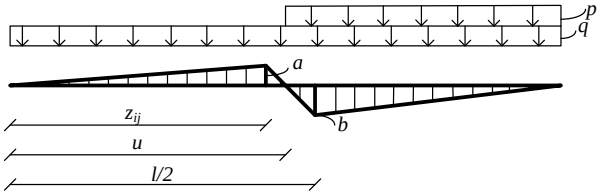

Рис. 3. Схема второго невыгодного загружения. Линия влияния M_{ij}

Тогда величина момента будет равна

$$M^2=\frac{q}{2}\cdot a\cdot u-\frac{q+p}{2}\cdot b\cdot(l-u). \quad (14)$$

© С. Д. Синчук, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

Определение наибольших расчетных усилий в стержнях выполним, сочетая усилия от временной и постоянной нагрузок. Если знаки усилий одинаковы, т.е. $signN^p = signN^q$, то $N_{расч} = N^p + N^q$. Если – разные, то рассматривается два сочетания:

$$N_{1расч} = N^q \text{ и } N_{2расч} = N^p + N^q.$$

Из этих сочетаний выбираются расчетные усилия для данного стержня:

1) если $signN_{1расч} = signN_{2расч}$,

то $N_{расч} = \max(N_{1расч}, N_{2расч})$;

2) если $signN_{1расч} \neq signN_{2расч}$,

$|N_{1расч}| > |N_{2расч}|$ то $N_{расч} = N_{1расч}$ (или наоборот);

3) если $signN_{1расч} \neq signN_{2расч}$ и, допустим, что $signN_{1расч} = -1$, а $|N_{1расч}| < |N_{2расч}|$, то при оптимизации для стержня рассматриваются два расчетных состояния и то, при котором площадь сечения является большей, и принимается за действительное.

Так как в балке, помимо изгибающих моментов, возникают еще и продольные усилия, равные распору H в шпренгеле, найдем выражения для них при первом и втором невыгодных загружениях. Загрузим линию влияния H (рис. 1), учитывая, что $N_b = H$.

Продольное усилие в балке при первом невыгодном загружении линии влияния:

$$N^1_{соотв} = -\frac{1}{8y_{\frac{n}{2}}}(ql^2 + 2pz_{ij}^2). \qquad (15)$$

При втором невыгодном загружении линии влияния:

$$N^2_{соотв} = -\frac{1}{8y_{\frac{n}{2}}}(ql^2 + p)(l^2 + 2pz_{ij}^2). \qquad (16)$$

Третье невыгодное загружение служит расчетным состоянием для стержней, образующих шпренгель, а также как одно из альтернативных расчетных состояний самой балки. В этом случае постоянной, и временной подвижными нагрузками загружается вся балка. Тогда наибольший распор в балке равен:

$$\max H = \frac{l^2(q+p)}{8y_{\frac{n}{2}}}. \qquad (17)$$

Соответственно наибольшее продольное сжимающее усилие:

$$\max N = -\max H = -\frac{l^2(q+p)}{8y_{\frac{n}{2}}}. \qquad (18)$$

Для балки необходимо еще найти изгибающие моменты при третьем загружении (рис. 4) или соответствующие $N_{\max}$. Загружаем линию влияния M_{ij}.

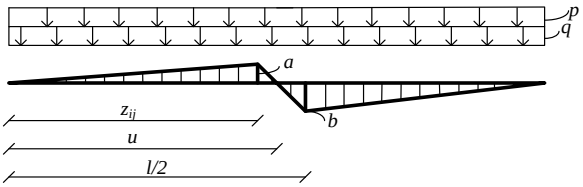

Рис. 4. Схема третьего невыгодного загружения. Линия влияния M_{ij}

Запишем условия максимума для $M_{ij}^{соотв}$:

$$M_{ij}^{соотв} = \frac{q+p}{2} \cdot (a \cdot u - b \cdot (l-u)). \qquad (19)$$

Когда расчетные усилия выбраны, находятся оптимальные значения топологических переменных по алгоритму, описанному в [8].

Научная новизна и практическая значимость

Определение объема шпренгельной балки

Объем шпренгельной балки определяется как сумма объемов балки, стоек и элементов нижнего пояса шпренгеля:

$$V = V^{(б)} + V^{(ст)} + V^{(ш)}. \qquad (20)$$

Балка работает на сжатие с изгибом, размер сечения определяется из условия прочности:

$$\frac{|N^{(б)}|}{A^{(б)}} + \frac{M^{\max}}{W_z} \le mR_y, \qquad (21)$$

где $M^{\max}$ – наибольший из опорных и пролетных изгибающих моментов; $N^{(б)}$ – продольное

© С. Д. Синчук, 2017

усилие в балке; mR_y – расчетное сопротивление.

Соответственно объем балки:

$$V^{(б)} = A^{(б)} \cdot l . \quad (22)$$

Элементы нижнего пояса шпренгеля растянуты, поэтому размеры сечений определяются из условия прочности на растяжение:

$$A_j^{(ш)} \geq N_j^{(ш)} / mR_y . \quad (23)$$

Соответственно объем нижнего пояса шпренгеля равен:

$$V_j = 2\sum_{j=1}^{n/2-1} A_j \sqrt{z_j^2 + (y_j - y_{j-1})^2} + A_{n/2}^{(ш)} z_{n/2}. \quad (24)$$

Стойки сжаты, поэтому размеры сечения определяются из условия устойчивости:

$$A_j^{(с)} \geq N_j^{(с)} / (\varphi \cdot mR_y), \quad (25)$$

где $N_j^{(с)}$ – продольное усилие в элементе.

Из (24) методом последовательных приближений определяются $A_j^{(с)}$ и φ. Следовательно, объем стоек будет равен:

$$V_{j,n+j}^{(c)} = 2\sum_{j=1}^{n/2} A_j^{(c)} y_j . \quad (26)$$

Выводы

Для шпренгельной балки с *n*-м количеством стоек были построены линии влияния внутренних усилий. Найдены значения изгибающих моментов по трем видам сочетаний постоянной и временной нагрузки.

Определено значение максимального продольного усилия. Исходя из этих данных, получено значение суммарного объема конструкции, что позволяет выполнить ее оптимизацию с заданным критерием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ватуля, Г. Л. Некоторые особенности задачи оптимизации шпренгельных балок [Текст] / Г. Л. Ватуля, Ю. П. Китов, М. А. Веревичева, С. Д. Синчук // Сб. научн. тр. УкрГУЖТ. – Харьков, 2016. – Вып. 161. С. 36-47.
2. Ватуля, Г. Л. Расчет и проектирование комбинированных и сталебетонных конструкций [Текст]: дисс. д-ра техн. наук : 05.23.01 / Ватуля Глеб Леонидович ; – Харьков, 2015. – 430 с.
3. Виноградов, А. И. Проблема оптимального проектирования в строительной механике [Текст] / А. И. Виноградов. – Харьков : Вища школа, 1973. – 168 с.
4. Гоголь, М. В. Проектування і розрахунок комбінованих мостових переходів [Текст] / М. В. Гоголь, М. Р. Більський, І. Д. Пелешко // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2012. – Вип. 3. – С. 33-38.
5. Китов, Ю. П. Влияние параметров проектирования на оптимальность конструкции стальных балок [Текст] / Ю. П. Китов, Г, Л. Ватуля // Зб. наукових праць УкрДАЗТ. – Харків, 2011. – Вип. 125. С. 24-33.
6. Китов, Ю. П. Некоторые соображения о критериях оптимальности [Текст] / Ю. П. Китов, Г. Л. Ватуля, М. А. Веревичева // Зб. наукових праць УкрДАЗТ. – Харків, 2014. – Вип. 143. С. 124-131.
7. Клюев, С. В. Оптимальное проектирование строительных конструкций на основе эволюционных и генетических алгоритмов [Текст] / С. В. Клюев, А. В. Клюев. – Lambert, 2011. 128 с.
8. Лазарев, И. Б. Математические методы оптимального проектирования конструкций [Текст] / И. Б. Лазарев. – Новосибирск : НИИЖТ, 1974. – 191 с.
9. Лучко, Й. Й. Будова та експлуатація штучних споруд [Текст] / Й. Й. Лучко, О. С. Распопов. – Львів : Каменяр, 2011. – 879 с.
10. Основы расчета и проектирования комбинированных и сталебетонных конструкций [Текст] / Э. Д. Чихладзе, Г. Л. Ватуля, Ю. П. Китов и др.; под ред. Э. Д. Чихладзе. – Киев : Транспорт Украины, 2006. – 136 с.
11. Пелешко, І. Д. Про формулювання задач оптимізації металевих стрижневих конструкцій в системах автоматизованого проектування [Текст] / І. Д. Пелешко, В. В. Юрченко // Теорія і практика будівництва, Вісник НУ "Львівська політехніка" – Львів : НУ "Львівська політехніка", 2002. № 441. – С. 148-152.
12. Фесик, С. П. Справочник по сопротивлению материалов [Текст] / С. П. Фесик. – Киев : Будівельник, 1982. – 230 с.
13. Dimou, C. K. Reliability-Based Optimal Design of Truss Structures Using Particle Swarm Optimization / C. K. Dimou, V. K. Koumousis // Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE. – Vol. 2/3 (2009). – pp. 100-109.
14. Farzin Aminifar Optimal Design of Truss Structures via an Augmented Genetic Algorithm / Farzin Aminifar, Farrokh Aminifar, Daryoush Nazarpour // Turkish Journal of Engineering&Environmental Sciences. – Vol. 37(2013). – pp. 56-68.

© С. Д. Синчук, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

С. Д. СІНЧУК*

*Кафедра «Будівельна механіка та гідравліка», Український державній університет залізничного транспорту, пл. Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 70, ел пошта sinchuk.sophia@gmail.com,
ORCID 0000-0002-2373-4205

ДО ПИТАННЯ РАЦІОНАЛІЗАЦІЇ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ

Мета. Розробка нового підходу до раціоналізації комбінованої конструкції, враховуючи конструктивних, технологічних, експлуатаційних та економічних вимог. **Методика.** Для досягнення поставленої мети використовується метод зрівняння згинальних моментів, що базується на властивостях розпірних систем, а саме: в комбінованих балочних конструкціях визначаючими по витратах матеріалу є елементи, що працюють під дією напруженого стану у вигляді стискання зі згином; в елементах, які працюють на стискання зі згином, зменшення розмірів перерізу значною мірою визначається зменшенням згинального моменту; згинальні моменти збільшуються від опори до середини прогону. **Наукова новизна**. На основі проведених розрахунків, використовуючи вищеописану методику, був розроблений алгоритм оптимального проектування шпренгельної балки під дією постійного та тимчасового навантаження. Представлене рішення дозволяє отримати ефективну комбіновану конструкцію зі змінним числом стійок, залежно від необхідної довжини прогону, що відповідає прийнятому критерію оптимальності. **Практична значимість.** Використання даного підходу та алгоритму оптимізації, який базується на використанні конструктивних особливостей шпренгельної балки та вимагає мінімізації виникаючих згинальних моментів, дозволить значно зменшити трудомісткість подібного розрахунку, а також, підібрати оптимальні значення поперечних перерізів для кожного конкретного випадку.

Ключові слова: комбінована система; шпренгельна балка, згинальний момент, лінія впливу; тимчасове навантаження; раціоналізація перерізу

S. D. SINCHUK*

*Department of Structural Mechanics and Hydraulics, Ukrainian State University of Railway Transport, Feierbakh sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 10 70, e-mail sinchuk.sophia@gmail.com, ORCID 0000-0002-2373-4205

TO QUESTION OF COMBINED SYSTEMS RATIONALIZATION

Purpose. Developing a new approach to the rationalization of the combined structure, taking into account constructive, technological, operational and economic requirements. **Methodology.** The bending moment adjustment method representations to achieve the goal, based on the properties of the thrust-systems, namely: in the combination beam construction cost material defining elements are experiencing stress state of compression with a bend; in cells operating at the bending compression, reducing the size of the cross section largely determined by the decrease of the bending moment; bending moments increase from the support to the middle of the span. **Originality.** On the basis of calculations using the methodology set forth above, the algorithm of optimal design of truss beams under the influence of permanent and temporary load. The present solution allows to obtain an effective design combined with a variable number of racks, depending on the required span length, corresponding to the received optimality criterion. **Practical value.** The use of this approach and the optimization algorithm based on the use of the design features of truss beams and requires minimization of bending moments, will significantly reduce the complexity of the calculation, as well as to find the optimal values of the cross sections for each case.

Keywords: combine structure, truss beam, bending moment, influence line, temporary load and structure rationalization.

REFERENCES

1. Vatulya G. L., Kitov Y. P., Verevicheva M. A., Sinchuk S. D. Neketorue osobennosty zadachy optimizatsii shprengelnyh balok [Some features of the optimization problem truss beams]. *Sbornik nauchnyh trudov Ukrainskogo gosudarstvennogo zheleznodorozhnogo universiteta – Proc. of Ukrainian State University of Railway Transport*, 2016, issue 161. pp. 36-47.

© С. Д. Синчук, 2017

2. Vatulya G. L. Raschet i proectirovanie kombinirovannukh i stalebetonnukh konstruktsii. Dokt. Diss. [Calculation and Design of Composite and Reinforced Concrete Structures. Doct. Diss.]. Kharkiv, 2015. 430 p.
3. Vinigradov A. I. *Problema optimalnogo proektirovaniya v stroitelnoy makhanike* [The problem of optimal design in structural mechanics]. Kharkiv, Vyshcha shkola Publ., 1973. 168 p.
4. Gogol M. V., Bil'skiy M. R., Peleshko I. D. Proektuvannya i rozrahunok kombinovanykh mostovykh perehodiv [Design and calculation of composite bridges]. M*osty ta tuneli: tepriya, doslidzhennya, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2012, issue 3, pp. 33-38.
5. Kitov Y. P., Vatulya G. L. Vliyanie parametrtov proektirovaniya na optimalnost konstruktsii stalnykh balok [Influence of design parameters on the optimal design of steel beams]. *Sbornik nauchnyh trudov Ukrainskogo gosudarstvennogo zheleznodorozhnogo universiteta – Proc. of Ukrainian State University of Railway Transpor*t, Kharkiv, 2011, issue 125, pp. 24-33.
6. Kitov Y. P., Vatulya G. L., Verevicheva M. A. Nekotopye soobrazheniya o kriteriyah optimalnosti [Some considerations on optimality criteria]. *Sbornik nauchnyh trudov Ukrainskogo gosudarstvennogo zheleznodorozhnogo universiteta – Proc. of Ukrainian State University of Railway Transport*, Kharkiv, 2014, issue 143, pp. 124-131.
7. Kluev S. V., Kluev A. V. *Opimalnoe proektirovanie stroitelnyh konstruktsiy na osnove evolyutsyonnuh i geneticheskih algoritmov* [Optimal design of building structures on the basis of evolutionary and genetic algorithms]. Lambert, 2011, 128 p.
8. Lazarev I. B. *Matematicheskie metody opimalnogo proektirovaniya konstruktsiy* [Mathematical methods of optimal design constructions]. Novosibirsk, NIIZHT Publ., 1974. 191 p.
9. Luchko Y. Y., Raspopov O. S. *Budova ta ekspluatatsiya shtuchnyh sporud* [The structure and operation of engineering structures]. Lviv, Kamenyar Publ., 2011. 879 p.
10. Chikhladze E. D., Vatulya G. L., Kitov Y. P. *Osnovy rascheta proectirovaniya kombinirovannukh i stalebetonnukh konstruktsii* [Fundamentals of calculation and design of composite and reinforced concrete structures]. Kyjiv, Transport Ukrainy Publ., 2006. 136 p.
11. Peleshko I. D., Yurchenko V. V. Pro formulyuvannya zadach optimizatsii metalevykh stryzhnevykh konstryktsiy v systemakh avtomatyzovanogo proektuvannya [About the formulation of optimization metal beam structures in computer-aided design]. *Visnyk NU "Lvivska Politekhnika" – Bulletin of "Lvivska Politekhnika"*. Lviv, 2002, issue 441, pp. 148-152.
12. Fesyk S. P. *Spravochnik po soprotivleniyu materialov* [Handbook of resistance of materials]. Kyjiv, Budivelnyk Publ., 1982. 230 p.
13. Dimou C. K., Koumousis V. K. Reliability-Based Optimal Design of Truss Structures Using Particle Swarm Optimization. *Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE*. Vol. 2/3 (2009), pp. 100-109.
14. Farzin Aminifar, Farrokh Aminifar, Daryoush Nazarpour Optimal Design of Truss Structures via an Augmented Genetic Algorithm. *Turkish Journal of Engineering&Environmental Sciences*. Vol. 37(2013), pp. 56-68.

Надійшла до редколегії 04.09.2017
Прийнята до друку 11.0912.2017

© С. Д. Синчук, 2017

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 625.151.2-029:6

В. С. СИДОРЕНКО[1], Є. М. ФЕДОРЕНКО[2], О. В. ГУБАР[3*], М. А. АРБУЗОВ[4]
В. С. АНДРЄЄВ[5]

[1] Кафедра «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта neris@ua.fm
[2] Кафедра «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта neris@ua.fm
[3*] Кафедра «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта neris@ua.fm, ORCID 0000-0001-8683-5372
[4] Кафедра «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта 10max@ukr.net
[5] Кафедра «Колія та колійне господарство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, ел. пошта avs_diit@ukr.net ORCID 0000-0002-0862-2790

РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ВУЗЛА КОРЕНЕВОГО СКРІПЛЕННЯ СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ

Мета. В статті запропоновано технічне рішення конструкції вузла кореневого скріплення стрілочних переводів що відповідає умовам експлуатації залізниць. **Методика.** Для досягнення поставленої мети, авторами проаналізовані існуючі конструкції кореневого скріплення стрілочних переводів та сформовано пропозиції які потрібно використати при розробці нових технічних рішень кореневих скріплень. Конструкції кореневих скріплень, мають забезпечувати просту конструкцію; мати не велику кількість деталей; бути ремонтопридатними; дозволяти використовувати спеціальні пристрої для механізації монтажно-демонтажних робіт; мати не велику собівартість; забезпечувати високий показник надійності. Забезпечувати високу точність по ширині колії. Конструкції повинні мати можливість регулювання ширини колії до нормативних показників у боковому напрямку та якщо потрібно (по прямому). Конструкції кореневих скріплень повинні бути придатними для всіх кліматичних умов України. **Результати.** Пропозиції були використані при розробці та удосконаленні технічних рішень кореневого скріплення. Було розроблене кореневе скріплення яке отримало назву кореневе скріплення вкладишо-накладочне типу Р та розроблено удосконалене кореневе скріплення, удосконалена конструкція отримала назву кореневе скріплення вкладишо-накладочне типу СД. Розроблені технічні рішення конструкції кореневих скріплень відповідають вимогам, і при поточному утриманні стрілочного переводу вирішують проблему у необхідності регулювання ширини колії у вузлі кореня вістряка. **Наукова новизна.** Встановлено, що технічне рішення кореневого скріплення вкладишо-накладочного типу СД має переваги над технічним рішенням кореневого скріплення вкладишо-накладочного типу Р так як має можливість переміщення кореня вістряка за рахунок зміни розташування регулюючого елемента на польову сторону, тим самим полегшує поточне утримання колії. **Практична значимість.** Розроблено пропозиції для регулювання ширини колії за допомогою регулюючого елемента кореневого скріплення вкладишо-накладочного типу СД, у пропозиціях враховано вимоги при різних умовах експлуатації, а саме для головних, приймально-відправних та інших колій з урахуванням відповідних допусків для них, наведено відповідні схеми комплектування регулюючих пластин.

Ключові слова: стрілочні переводи; кореневе скріплення; вкладишо-накладочний тип; технічне рішення

Вступ

У світовій практиці експлуатації стрілочних переводів використовуються різноманітні конструкції кореневих скріплень для самих різних умов, від типів рейок до типів шпал.

1. Аналіз конструкцій існуючих кореневих скріплень стрілочного переводу:

1.1 Шкворневе скріплення стрілочного переводу (зображене на рис. 1) [1] можна зустріти у стрілочних переводах типів Р38 та Р43 старого виробництва, воно багато-детальне малопотужне і на сьогоднішній час в конструкціях стрілочного переводу не застосовується [2].

Роботи щодо вдосконалення конструкції шкворневого скріплення проводилися постій-

© В. С. Сидоренко, Є. М. Федоренко, О. В. Губар, М. А. Арбузов, В. С. Андрєєв, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

но, як варіант для стрілочних переводів марки 1/9 з рейками Р50 показано на рис. 2 [1].

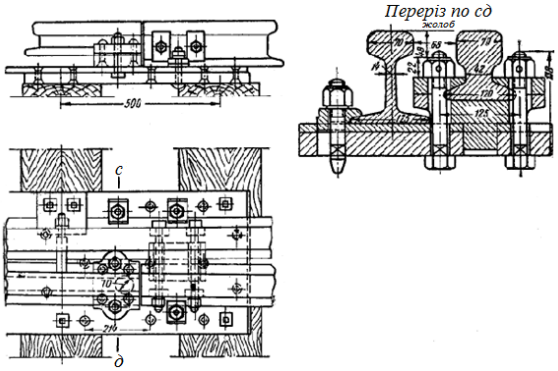

Рис. 1. Шкворневе скріплення вістряка низького профілю

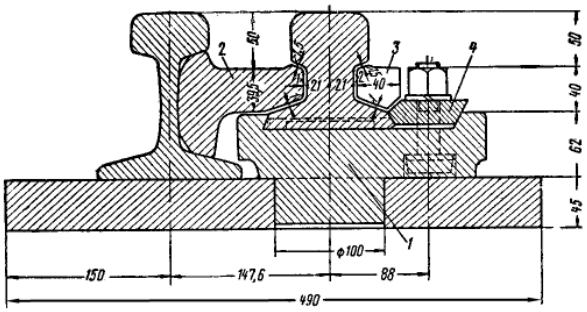

Рис. 2. Шкворневе покращене кореневе кріплення стрілки марки 1/9 з рейок типу Р50:
1 – кореневий башмак; 2 – фасонний кореневої вкладиш; 3 – пальцеподібним відросток; 4 – затискна планка

На рис. 3 зображено шкворневе скріплення стрілочного переводу у колії.

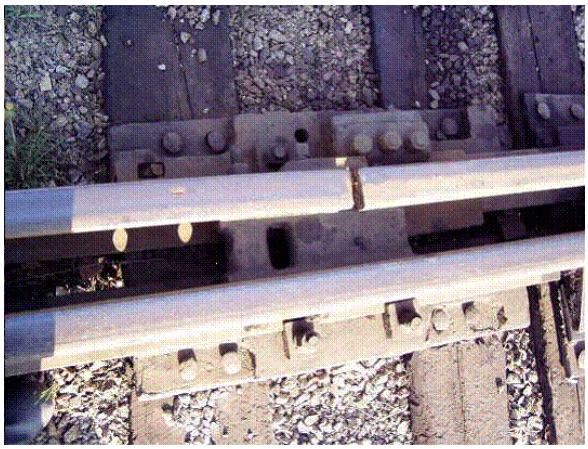

Рис. 3. Шкворневе скріплення вістряка (загальний вигляд)

1.2 Вкладишо-накладочне кореневе скріплення стрілочного переводу (зображене на рис. 4) [3] головним чином використовується на стрілочних переводах, призначених для експлуатації при звичайних швидкостях руху. Дане скріплення більш міцне, надійне та достатньо просте в експлуатації, тому воно отримало найбільше розповсюдження на вітчизняних стрілочних переводах сучасного виготовлення [2].

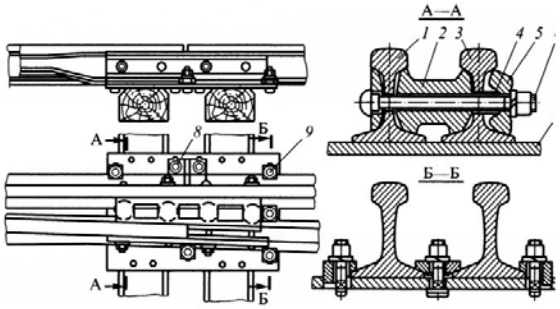

Рис. 4. Кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу:
1– рамна рейка; 2 – вкладиш; 3 – вістряк; 4 – розпірна втулка; 5 – накладка з чотирма отворами; 6 – стиковий болт; 7 – міст; 8 – упорка; 9 – клема

Роботи щодо вдосконалення конструкції вкладишо-накладочного скріплення проводилися постійно, як варіант кореневе накладочне скріплення вістряка з випресованим коренем показано на рис. 5 [3].

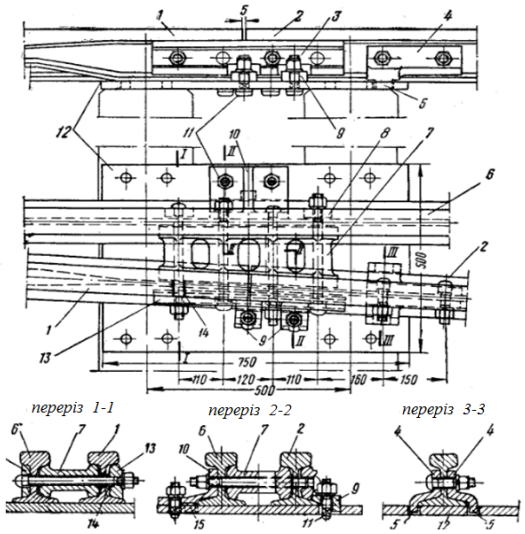

Рис. 5. Кореневе накладочне скріплення вістряка з випресованим коренем:
1 – вістряк; 2 – колійна рейка; 3 – накладка коренева; 4 – накладка протиугінна; 5 – шип протиугінної накладки; 6 – рамна рейка; 7 – вкладиш кореневий; 8 – шайба-накладка; 9 – лапки-удержки; 10 – упорка коренева; 11 – болти закладні ; 12 – місток кореневий; 13 – відігнутий кінець кореневої накладки; 14 – розпірна втулка; 15 – шип кореневої упорки [3]

© В. С. Сидоренко, Є. М. Федоренко, О. В. Губар, М. А. Арбузов, В. С. Андрєєв, 2017

На рис. 6 зображено вкладишо-накладочне кореневе скріплення стрілочного переводу.

Рис. 6. Кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу у розібраному стику

1.3 Накладний стик стрілочного переводу при гнучких вістряках, поділяється на стик із острожкою підошви у перед кореневій частині зображених на рис. 7, а), та на стик при гнучких вістряках без острожки підошви показаного на рис. 7, б) [1].

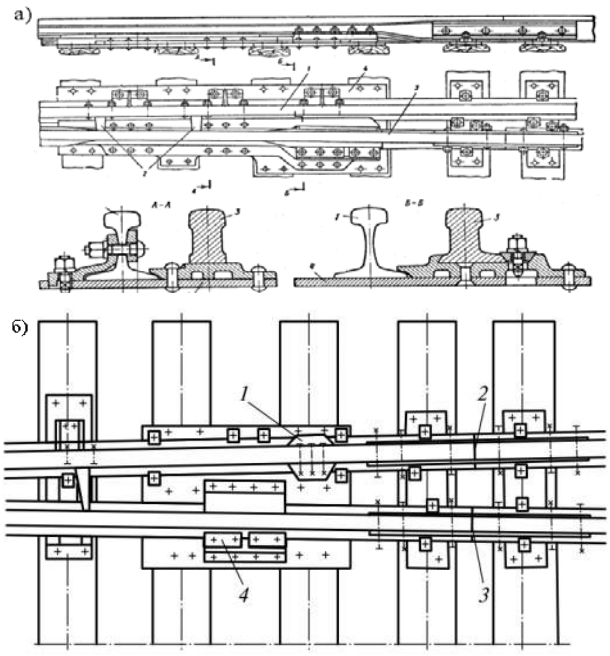

Рис. 7. Пристрій кореневий частини гнучкого вістряка: а) звичайний стик при гнучких вістряках із острожкою підошви у перед кореневій частині; б) звичайний стик при гнучких вістряках без острожки підошви:
1 – протиугінний пристрій рамної рейки; 2 – задній стик рамної рейки; 3 – кореневий стик вістряка; 4 – протиугінний пристрій вістряка

На рис. 8 зображено кореневий пристрій у виді звичайного стику.

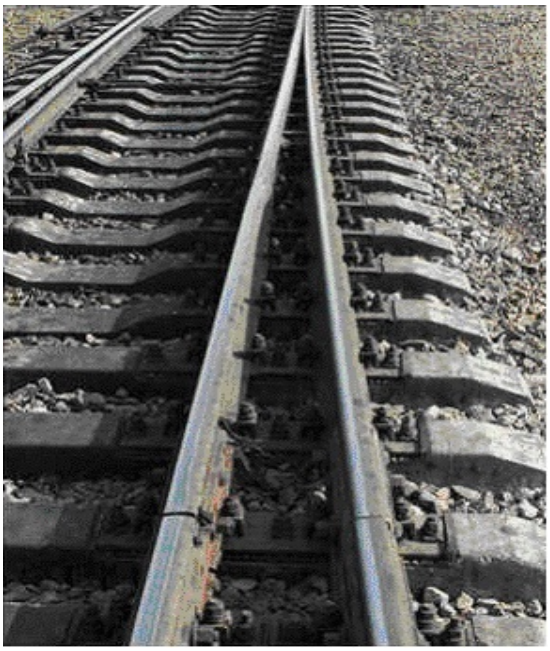

Рис. 8. Кореневий пристрій у виді звичайного стику

Даний накладний стик при гнучких вістряках широко застосовується у СП для швидкісного руху. При цьому корінь вістряка жорстко закріплюється як правило на мосту, а переміщення вістряків у те чи інше направлення здійснюється за рахунок їх згинання у гнучкій частині, у зоні прилеглої до кореня. Дане скріплення являється найкращою конструкцією кореневого скріплення [2].

Проведено аналіз існуючих конструкцій кореневих скріплень та встановлено, що не існує універсальної кореневої конструкції яка б давала змогу регулювати ширину колії.

Сформовано пропозиції які потрібно використати при розробці нових технічних рішень кореневих скріплень:

а) конструкції кореневих скріплень, по можливості, мають відповідати таким вимогам: забезпечувати просту конструкцію; мати не велику кількість деталей; бути ремонтопридатними; дозволяти використовувати спеціальні пристрої для механізації пристрої для механізації монтажно-демонтажних робіт; мати не велику собівартість; забезпечувати високий показник надійності;

б) забезпечувати можливість складання колії з високою точність по ширині;

© В. С. Сидоренко, Є. М. Федоренко, О. В. Губар, М. А. Арбузов, В. С. Андрєєв, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

в) конструкції, що розробляються, повинні мати можливість регулювання ширини колії до нормативних показників у боковому напрямку;

г) конструкції кореневих скріплень повинні бути придатними для всіх кліматичних умов України.

Дані пропозиції будуть використані при розробці технічних рішень кореневих скріплень стрілочного переводу.

Методика

Розробка технічного рішення вузла кореневого скріплення стрілочного переводу.

На сьогодні при поточному утриманні колії існує проблема у необхідності регулювання ширини колії, у вузлі кореня вістряка.

Проаналізувавши питання існуючих кореневих скріплень, прийнято рішення, щодо актуальності розробки технічного рішення кореневого скріплення із можливістю регулювання ширини колії.

Основні вимоги до конструкцій.

Нове технічне рішення кореневого скріплення повинно відповідати таким вимогам.

1. Конструкції кореневих скріплень, по можливості, повинні:
   - бути ремонтопридатними;
   - дозволяти використовувати спеціальні пристрої для механізації монтажно-демонтажних робіт;
   - мати невелику собівартість;
   - забезпечувати високі показники надійності;
   - забезпечувати простоту конструкції.

2. Конструкції кореневих скріплень, мають забезпечувати, при переводі вістряків із одного положення в інше, вільний їх поворот.

3. Конструкції кореневих скріплень, мають перешкоджати повздовжньому переміщенню вістряка (його угон).

4. Конструкції кореневих скріплень, мають створювати правильне та надійне примикання вістряка до рейки з'єднувальної частини.

5. Конструкції кореневих скріплень, мають зберігати незмінність розташування кореня вістряка відносно рамної рейки.

6. Конструкції кореневих скріплень, мають бути придатними для всіх кліматичних умов України.

7. Конструкції кореневих скріплень повинні давати змогу регулювати ширину колії по боковому напрямку.

Беручи до уваги зазначені вимоги розглянуті було розроблено кореневе скріплення з вилитими ребордами.

Дане скріплення отримало назву «Кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу Р» [5] і зображене на рис. 9 та рис. 10. Надалі розглянемо це кореневе скріплення детальніше.

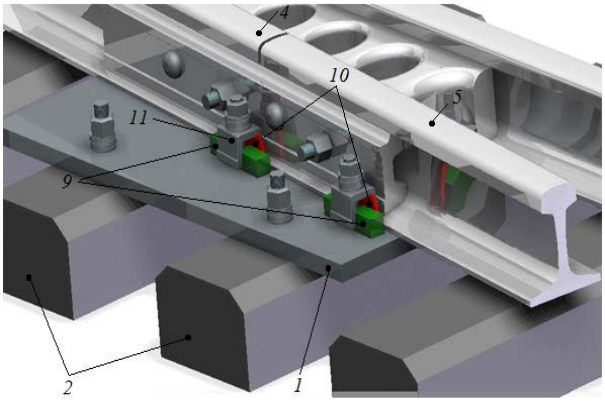

Рис. 9. Кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу Р (вид із середини колії)

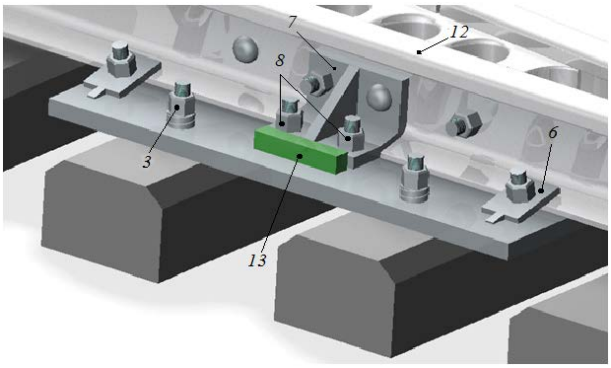

Рис. 10. Кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу Р (вид із польової сторони)

Вузол скріплення було розроблено із вкладишо-накладочного кореневого скріплення. У якому вилили реборду з зовні навпроти упорки та замінили дві клеми із середини. На місцях двох клем вилили дві реборди під клемні болти на відстані 9 мм від вістряка та рейки в цей проміжок установили регулюючий елемент.

Регулюючий елемент складається із трьох регулюючих пластин.

Даний вузол кореневого скріплення вкладишо-накладочного типу Р складається із наступних елементів котрі зображені на рис. 9 та рис. 10 кореневий міст 1, котрий кріпиться до шпал 2, чотирма закладними болтами 3; із

© В. С. Сидоренко, Є. М. Федоренко, О. В. Губар, М. А. Арбузов, В. С. Андрєєв, 2017

польової сторони кореневий міст 1 кріпиться до рамної рейки 12, клемними болтами 6, упорка 7 котра кріпиться до кореневого мосту 1, болтами 8, вилита реборда 13 навпроти упорки 7 не дає можливості рухатись колії на польову сторону; з середини колії кореневий міст 1 кріпиться до рейки 4 і вістряка 5 клемними болтами 11. За допомогою вилитих реборд 9 з середини колії та регулюючих пластин 10 регулюється ширина колії.

За допомогою даного кореневого скріплення можна встановити шаблон колії 1520 мм боковому напрямку.

Кореневе скріплення працює таким чином. При вібрації від рухомого складу послабляються болти 6 та 11, а вилита реборда 13 яка знаходиться навпроти упорки 7 із польової сторони не дає можливості рухатись на польову сторону упорки 7. За допомогою вилитих реборд 9 із середини колії та регулюючих пластин10 регулюється ширина колії, та зникає можливість руху рейки 4 і вістряка 5 у середину колії.

Для підтвердження прав на інтелектуальну власність запропонованого кореневого скріплення вкладишо-накладочного типу Р, подано відповідні документи до Українського інституту інтелектуальної власності та отримано рішення u2018 03133 про видачу деклараційного патенту на корисну модель затверджене Державною службою інтелектуальної власності України.

Було отримано патент на корисну модель «Кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу Р» № 127417, Бюл. № 14 [5].

Але дане технічне рішення не дозволяє переставляти регулюючий елемент у вигляді регулюючих пластин на польову сторону. Тому цей недолік слід враховувати при удосконаленні технічного рішення.

Результати

Удосконалення технічного рішення кореневого скріплення.

Беручи до уваги зазначені вимоги розглянуті та недоліки які було прийнято рішення в удосконаленні технічного рішення кореневе скріплення з вилитими ребордами.

Розглянемо удосконалений варіант (рис. 11, рис. 12 та рис. 13), що отримав назву «Кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу СД» [6].

Даний вузол кореневого скріплення вкладишо-накладочного типу СД складається із наступних елементів котрі зображені на рис. 11 рис. 12 та рис. 13.

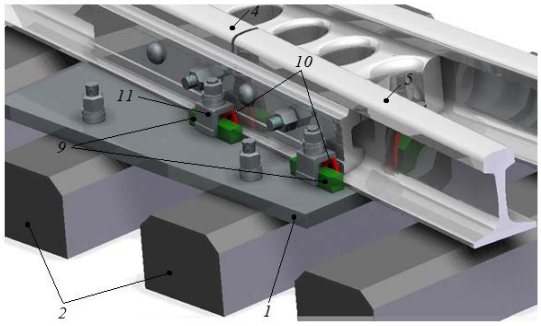

Рис. 11. Кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу СД (вид із середини колії)

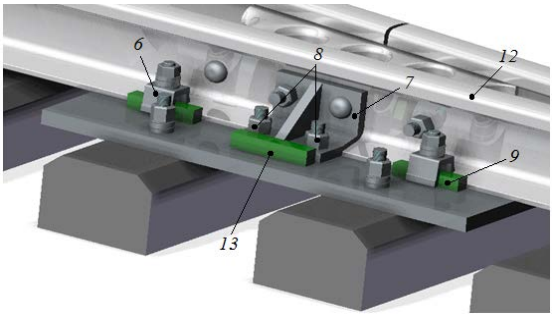

Рис. 12. Кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу СД (вид із польової сторони колії)

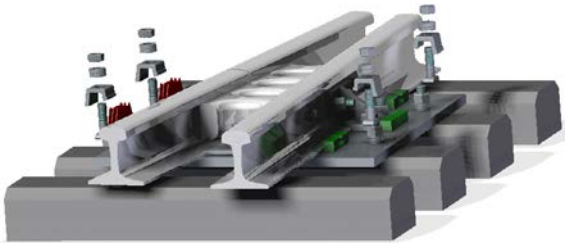

Рис. 13. Кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу СД (вид із боку у розібраному стані)

Кореневий міст 1, котрий кріпиться до шпал 2, чотирма закладними болтами 3; із польової сторони кореневий міст 1 кріпиться до рамної рейки 12, клемними болтами 6, упорка 7 котра кріпиться до кореневого мосту 1, болтами 8, вилита реборда 13 навпроти упорки 7 не дає можливості рухатись колії на польову сторону; з середини колії кореневий міст 1 кріпиться до рейки 4 і вістряка 5 клемними болтами 6. За допомогою вилитих реборд 9 із середини колії

© В. С. Сидоренко, Є. М. Федоренко, О. В. Губар, М. А. Арбузов, В. С. Андрєєв, 2017

ISSN 2413-6212 (Online), ISSN 2227-1252 (Print)
Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2017, № 12

та із польової сторони колії, регулюючих пластин 10 регулюється ширина колії.

За допомогою даного кореневого скріплення можна встановити шаблон колії 1520 мм боковому напрямку.

Кореневе скріплення працює таким чином. При вібрації від рухомого складу болти 6 послабляються, вилита реборда 13 котра знаходиться навпроти упорки 7 із польової сторони не дає можливості рухатись на польову сторону упорки 7. За допомогою вилитих реборд 9 із середини, та із польової сторони колії, і регулюючих пластин 10 регулюється ширина колії, та зникає можливість руху рейки 4 і вістряка 5 у середину колії, та на польову сторону.

Для підтвердження прав на інтелектуальну власність запропонованого технічного рішення кореневого скріплення вкладишо-накладочного типу СД, подано відповідні документи до Українського інституту інтелектуальної власності та отримано рішення u2018 03142 про видачу деклараційного патенту на корисну модель затверджене Державною службою інтелектуальної власності України.

Було отримано патент на корисну модель «Кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу СД» № 127418, Бюл. № 14 [6].

Порівняння розробленого та удосконаленого технічного рішення кореневого скріплення.

Проведемо порівняння розроблених варіантів кореневих скріплень стрілочного переводу.

Кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу СД має такі переваги над кореневим скріплення вкладишо-накладочного типу Р:

- кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу СД за рахунок вилитих реборд із польової сторони перешкоджає боковому переміщенню даного вузла;
- кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу СД створює правильне та надійне примикання вістряка до рейки з'єднувальної частини;
- кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу СД має можливість переміщення кореня вістряка за рахунок зміни розташування регулюючого елемента на польову сторону, тим самим полегшує поточне утримання колії.

Порівняння показано у схематичному варіанті зображеному на рис. 14.

Рис. 14. Схематичне порівняння конструкцій кореневого скріплення стрілочного переводу

Наукова новизна та практична значимість

Пропозиції по розміщенню регулюючого елемента кореневого скріплення вкладишо-накладочного типу СД.

Із самого початку вузол кореневого скріплення вкладишо-накладочного типу збирається так, щоб регулюючий елемент який складається із трьох регулюючих пласти розміщувався із середини колії.

Далі при експлуатації колії з'являється знос рейки та вістряка стрілочного переводу. Для приведення ширини колії до норм утримання і допусків утримання [2], витяг з яких наведено у табл. 1, регулюючі пластини переміщають на польову сторону, та вставляють таким чином, щоб регулювальні пластини у притул прилягали до рейки та вістряка. Складають кореневе скріплення таким чином щоб відступи були мінімальними.

Таблиця 1

Допуски утримання за шириною колії звичайних і криволінійних стрілочних переводів колії 1520 мм

Місце виміру	Категорія колії	Допустимі відхилення від нормативної ширини колії, мм	
		у бік збільшення	у бік зменшення
Вістря гостряка, корінь прямого гостряка, корінь гостряка бокової колії	головні	+6	-3
	приймально-відправні	+6	-3
	інші	+10	-3

© В. С. Сидоренко, Є. М. Федоренко, О. В. Губар, М. А. Арбузов, В. С. Андрєєв, 2017

Розроблено пропозиції по розміщенню регулюючого елемента кореневого скріплення вкладишо-накладочного типу СД. Окремо розроблено пропозиції для головних колій, приймально-відправних колій, та інших колії.

Для пластин з товщинами 2, 3, 4 мм, що у сумі складають 9 мм, розроблено пропозиції щодо їх розміщення для головних та приймально-відправних колій (табл.) 2, згідно діапазону допусків для головних та приймально-відправних колій [2].

Таблиця 2

Пропозиції по розміщенню пластин для головних колій та приймально-відправних

Із польової сторони	Із середини колії	Ширина колії, мм
0	2; 3; 4	1520
2	3; 4	1522
3	2; 4	1523
4	2; 3	1524
2; 3	4	1525
2; 4	3	1526
3; 4	2	1527
2; 3; 4	0	1529

Для пластин з товщинами 3, 4, 5 мм, що у сумі складають 12 мм, розроблено пропозиції щодо їх розміщення для інших колій (табл. 3), згідно діапазону допусків для інших колій [2].

Таблиця 3

Пропозиції по розміщенню пластин для інших колій

Із польової сторони	Із середини колії	Ширина колії, мм
0	3; 4; 5	1520
3	4; 5	1523
4	3;5	1524
5	3; 4	1525
3; 4	3	1527
3; 5	4	1528
4; 5	5	1529
3; 4; 5	0	1532

Висновки

Проведено аналіз існуючих конструкцій кореневих скріплень та встановлено, що не існує універсальної кореневої конструкції яка б давала змогу регулювати ширину колії. Визначено клас кореневих скріплень, які кращі за своїми динамічними характеристиками, та із високою якістю та надійністю і встановлено межі зміни параметрів з числа тих, які найбільш істотно впливають на процеси взаємодії рухомого складу та колії.

Сформовано пропозиції які потрібно використати при розробці нових технічних рішень кореневих скріплень:

1. Конструкції кореневих скріплень, по можливості, мають відповідати таким вимогам: забезпечувати просту конструкцію; мати не велику кількість деталей; бути ремонтопридатними; дозволяти використовувати спеціальні пристрої для механізації пристрої для механізації монтажно-демонтажних робіт; мати не велику собівартість; забезпечувати високий показник надійності.

2. Забезпечувати високу точність по ширині колії.

3. Конструкції повинні мати можливість регулювання ширини колії до нормативних показників у боковому напрямку та якщо потрібно (по прямому).

4. Конструкції кореневих скріплень повинні бути придатними для всіх кліматичних умов України.

Ці пропозиції були використані при розробці та удосконаленні технічних рішень кореневого скріплення. Було розроблене кореневе скріплення яке отримало назву кореневе скріплення вкладишо-накладочне типу Р та розроблено удосконалене кореневе скріплення, удосконалена конструкція отримала назву кореневе скріплення вкладишо-накладочне типу СД.

Розроблені конструкції кореневих скріплень відповідають вимогам, і при поточному утриманні стрілочного переводу вирішують проблему у необхідності регулювання ширини колії у вузлі кореня вістряка.

При порівнянні розробленого та удосконаленого технічного рішення кореневого скріплення стрілочного переводу отримані результати, що кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу СД має переваги щодо ко-

© В. С. Сидоренко, Є. М. Федоренко, О. В. Губар, М. А. Арбузов, В. С. Андрєєв, 2017

реневого скріплення вкладишо-накладочного типу Р:

- кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу СД за рахунок вилитих реборд із польової сторони перешкоджає боковому переміщенню даного вузла;
- кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу СД створює правильне та надійне примикання вістряка до рейки з'єднувальної частини;
- кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу СД має можливість переміщення кореня вістряка за рахунок зміни розташування регулюючого елемента на польову сторону, тим самим полегшує поточне утримання колії.

Було розроблено пропозиції для регулювання ширини колії за допомогою регулюючого елемента кореневого скріплення вкладишо-накладочного типу СД, у пропозиціях враховано вимоги при різних умовах експлуатації, а саме для головних, приймально-відправних та інших колій з урахуванням відповідних допусків для них, наведено відповідні схеми комплектування регулюючих пластин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Даниленко, Э. И. Стрелочные переводы железных дорог Украины. Технология производства, эксплуатация в пути расчеты и проектирование [Текст] / Э. И. Даниленко, С. Д. Тараненко, А. П. Кутах / под ред. Э. И. Даниленко. – Киев : Киевский институт железнодорожного транспорта, 2001. – 296 с.
2. Даніленко, Е. І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом : підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х томах) [Текст] / Е. І. Даніленко. – Київ : Інпрес, 2010. Т. 1. – 521 с.
3. Даниленко, Э. И. Проектирование и расчет стрелочных переводов для высоких скоростей движения : учеб. пособие [Текст] / Э. И. Даниленко. – Днепропетровск, ДИИТ, 1989. – 74 с.
4. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0269) [Текст] / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган, В. О. Яковлєв та інші. – Киев : ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.
5. Пат. 127417 Україна, МПК B61G 7/04, E01B 9/66, E01B 11/00, E01B 25/26. Кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу Р [Текст] / Сидоренко В. С., Губар О. В., Мирка О. В., Надопта А. О., Мельник А. О. (Україна) ; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № u 2018 03133 ; Бюл. № 14. – 4 с.
6. Пат. 127418 Україна, МПК, E01B 5/16, E01B 7/00, E01B 25/06, B61G 7/00. Кореневе скріплення вкладишо-накладочного типу СД [Текст] / Сидоренко В. С., Губар О. В., (Україна) ; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – № u 2018 03142, Бюл. № 14. – 4 с.

В. С. СИДОРЕНКО[1], Е. М. ФЕДОРЕНКО[2], А. В. ГУБАРЬ[3*], М. А. АРБУЗОВ[4], В. С. АНДРЕЕВ[5]

[1] Кафедра «Путь и путевое хозяйство Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, эл. почта neris@ua.fm
[2] Кафедра «Путь и путевое хозяйство Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, эл. почта neris@ua.fm
[3*] Кафедра «Путь и путевое хозяйство Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, эл. почта neris@ua.fm, ORCID 0000-0001-8683-5372
[4] Кафедра «Путь и путевое хозяйство Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, эл. почта 10max@ukr.net
[5] Кафедра «Путь и путевое хозяйство Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепр, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 42, эл. почта avs@ukr.net, ORCID 0000-0002-0862-2790

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ УЗЛА КОРНЕВОГО СКРЕПЛЕНИЯ СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА

© В. С. Сидоренко, Є. М. Федоренко, О. В. Губар, М. А. Арбузов, В. С. Андрєєв, 2017

Цель. В статье предложено техническое решение конструкции узла корневого скрепления стрелочных переводов, которое соответствует условиям эксплуатации железных дорог. **Методика.** Для достижения поставленной цели, авторами проанализированы существующие конструкции корневого скрепления стрелочных переводов и сформулированы предложения которые нужно использовать при разработке новых технических решений корневых скреплений. Конструкции корневых скреплений, должны обеспечивать простоту конструкции; иметь не большое количество деталей; быть ремонтоспособным; позволять использовать специальные устройства для механизации монтажно-демонтажных работ; иметь не большую себестоимость; обеспечивать высокий показатель надежности. Обеспечивать высокую точность по ширине пути. Конструкции должны иметь возможность регулирования ширины пути к нормативным показателям по боковому направлению и если необходимо (по прямому). Конструкции корневых скреплений должны быть приспособленными для всех климатических условий Украины. **Результаты.** Предложения были использованы при разработке и усовершенствовании технических решений корневого скрепления. Было разработано корневое скрепление которое получило название корневое скрепление вкладышо-накладочного типа Р и разработано усовершенствованное корневое скрепление, усовершенствованная конструкция получила название корневое скрепление вкладышо-накладочного типу СД. Разработанные технические решения конструкции корневых скреплений соответствуют требованиям, и при текущем содержании стрелочного переводу решают проблему в необходимости регулировки ширины пути в узле корня остряка. **Научная новизна.** Установлено, что техническое решение корневого скрепления вкладышо-накладочного типу СД имеет преимущества над техническим решением корневого скрепления вкладышо-накладочного типу Р так как имеет возможность перемещения корня остряка за счет изменения положения регулирующего элемента на полевую сторону, тем самым облегчает текущее содержание пути. **Практическая значимость.** Разработаны предложения для регулирования ширины пути с помощью регулирующего элемента корневого скрепления вкладышо-накладочного типу СД, в предложениях учтены требования при разных условиях эксплуатации, а именно для главных, приемоотправочных и других путей с учетом соответствующих допусков для них, приведены соответствующие схемы комплектации регулирующих пластин.

Ключевые слова: стрелочные переводы; корневое скрепление; вкладышо-накладочный тип; техническое решение

V. S. SYDORENKO[1], YE. M. FEDORENKO[2], O. V. HUBAR[3*], M. A. ARBUZOV [4], V. S. ANDRIEIEV[5]

[1] Department «Track and track facilities» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail neris@ua.fm
[2] Department «Track and track facilities» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail neris@ua.fm
[3*] Department «Track and track facilities» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 42, e-mail neris@ua.fm, ORCID 0000-0001-8683-5372
[4] Department «Track and track facilities» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373-15-42, e-mail 10max@ukr.net
[5] Department «Track and track facilities» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373-15-42, e-mail avs@ukr.net ORCID 0000-0002-0862-2790

DEVELOPMENT OF A TECHNICAL SOLUTION OF THE KNOTTING ROOT SCRIPALS OF A SWITCHING TRANSMISSION

Purpose. The article proposes a technical solution to the design of the root-fastening assembly of turnouts, which corresponds to the operating conditions of the railways. **Methodology**. To achieve the stated goal, the authors analyzed the existing designs of root binding of turnouts and formulated proposals that should be used when developing new technical solutions for root binding. The designs of root bonds should provide simplicity of construction, have a few number of parts, be repairable; allow to use of special devices for the mechanization of installation and dismantling works, have a few cost, provide high reliability. It must also to provide high accuracy along the width of the path. Structures should be able to control the width of the path to the standard indicators in the lateral direction, and if necessary (in a straight line). The designs of root bonds should be adapted for all climatic conditions of Ukraine. **Findings**. Proposals have been used in the development and improvement of technical solutions for root

© В.С. Сидоренко, Є.М. Федоренко, О.В. Губар, М. А. Арбузов, В. С. Андреєв, 2017

bonding. A root binding was developed which was called the root binding of the insert-nodule type P and an improved root binding was developed, the improved design was called the root binding of the insert-nodular type SD. The developed technical solutions for the design of root bonds meet the requirements, and with the current content of the switch, they solve the problem of the need to adjust the width of the path in the knit root node. **Originality**. It has been established that the technical solution of root fastening of the insert-overlay type of CD has advantages over the technical solution of root fastening of the insert-overlay type P since it has the ability to move the root of the wit by changing the position of the regulating element to the field side, thereby facilitating the current maintenance of the path. **Practical value**. Proposals were developed for regulating the width of the path using the regulating element of the root fastening of the liner-overlay type of CD, the proposals took into account the requirements for different operating conditions, namely for the main, receiving and other routes taking into account the corresponding tolerances for them, the corresponding schemes of the control plates are given.

Keywords: turnouts; root binding; liner overlay type; technical solution

REFERENCES

1. Danilenko E. I., Taranenko S. D., Kutah A. P. Strelochnye perevody zheleznyh dorog Ukrainy. Tehnologija proizvodstva, jekspluatacija v puti raschety i proektirovanie [Railroad switches of the Ukrainian railways. Production technology, operation in the way calculations and design]. Kyjiv, Kievskij institut zheleznodorozhnogo transporta, 2001. 296 p.
2. Danilenko E. I. Zaliznychna kolija. Ulashtuvannja, proektuvannja i rozrakhunky, vzajemodija z rukhomym skladom : pidruchnyk dlja vyshhykh navchaljnykh zakladiv (u 2-kh tomakh) [Railway track. Arrangements, designing and calculations, interaction with rolling stock: textbook for higher educational institutions (in 2 volumes)]. Kyjiv, Inpres Publ., 2010. Vol. 1. 521 p.
3. Danilenko E. I. Proektirovanie i raschet strelochnyh perevodov dlja vysokih skorostej dvizhenija : ucheb. posobie [Design and calculation of switches for high speeds: studies. Allowance]. Dnepropetrovsk, DIIT, 1989. 74 p.
4. Danilenko E. I., Orlovskyi A. M., Kurhan M. B., Yakovliev V. O. Instruktsiia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts Ukrainy (ЦП-0269) [Instruction on the arrangement and maintenance of the railways of Ukraine (ЦП-0269)]. Kyjiv, TOV «NVP Polihrafservis» Publ., 2012. 456 p.
5. Sydorenko V. S., Hubar O. V., Myrka O. V., Nadopta A. O., Melnyk A. O. *Koreneve skriplennia vkladysho-nakladochnoho typu R* [Root fastening of insert-insert type P] Patent UA, no. 127417 u 2018 03133.
6. Sydorenko V. S., Hubar O. V. *Koreneve skriplennia vkladysho-nakladochnoho typu SD* [Root attachment of insert-insert type SD] Patent UA, no. 127418 u 2018 03142.

Надійшла до редколегії 13.11.2017
Прийнята до друку 21.11.2017

© В. С. Сидоренко, Є. М. Федоренко, О. В. Губар, М. А. Арбузов, В. С. Андрєєв, 2017

Наукове видання

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

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

Випуск 12
(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. 8,26. Тираж 50 пр. Зам. № 35

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 залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2017. Випуск 12.