

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

10-ї Міжнародної науково-технічної конференції

**«ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ
ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД І БУДІВЕЛЬ
НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ»**



20-22 листопада 2024 року, м. Харків

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF RAILWAY TRANSPORT

**Тези доповідей 10-ої Міжнародної
науково-технічної конференції**

**«ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ
ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД І БУДІВЕЛЬ
НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ»**

Abstracts of the 10th International Scientific and Technical Conference

**«RELIABILITY AND DURABILITY OF RAILWAY TRANSPORT
ENGINEERING STRUCTURES AND BUILDINGS»**

Харків 2024

Kharkiv 2024

10-а Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 20-22 листопада 2024 р.: Тези доповідей. - Харків: УкрДУЗТ, 2024. - 225 с.

Збірник містить тези доповідей науковців вищих навчальних закладів України та інших країн, підприємств транспортної та будівельної галузі за трьома напрямками: залізниця, автомобільні дороги, промисловий транспорт і геодезичне забезпечення; будівельні конструкції, будівлі та споруди; будівельні матеріали, захист і ремонт конструкцій та споруд.

10th International Scientific and Technical Conference "Reliability and durability of railway transport engineering structures and buildings" Kharkiv, November 20-22, 2024: Abstracts. - Kharkiv: UkrSURT, 2024. - 225 p.

The proceedings include abstracts of presentations by researchers from higher education institutions in Ukraine and other countries, as well as representatives of enterprises in the transport and construction industries. The topics are organized into three main areas: railways, highways, industrial transport, and geodetic support; building structures, buildings, and facilities; and construction materials, including the protection and repair of structures and facilities.

© Український державний університет залізничного транспорту, 2024

© Ukrainian State University of Railway Transport, 2024

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ ШЛЯХИ СПОЛУЧЕННЯ, БЕЗПЕКА РУХУ ТА УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

SECTION TRANSPORTATION WAYS, TRAFFIC SAFETY AND TRANSPORT MANAGEMENT

BENCHMARKING OF TRAM WAY INFRASTRUCTURE

Stefan Edlinger 13

SURVEYING THE TERRAIN AND OBSERVING DAMAGE AND DESTRUCTION OF INFRASTRUCTURE FACILITIES AS A RESULT OF HOSTILITIES ON THE TERRITORY OF UKRAINE

Evgeniya Ugnenko, Anna Shevchenko, Grygoriy Shariy, Nataliia Bielikova, Yevhen Korostelov 14

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КРИВОЛІНІЙНИХ ДІЛЯНОК БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ

М.А. Арбузов, С.В. Костюречко 17

ЗМІНА ХАРАКТЕРИСТИК ДЕЯКИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОЛІЇ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В УМОВАХ КОЛІЙ НЕЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Н.В. Бугаєць, А.В. Муригін, О.О. Овчинніков, В.В. Тертичний 19

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОГРЕСИВНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМИ ПРОЦЕСАМИ ВАГОНРЕМОНТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Д.І. Волошин, Л.В. Волошина, О.І. Плєскач, І.І. Плєскач 21

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОБІЛЬНОГО РЕЙКОЗМАЩУВАЧА ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ МАСТИЛ РІЗНОЇ В'ЯЗКОСТІ

С.В. Воронін, В.О. Стефанов, О.В. Батюк, В.О. Гамора, С.О. Стефанов 23

УПОВІЛЬНЕННЯ ЗНОСУ РЕЙОК В КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ ШЛЯХОМ ПОКРАЩЕННЯ МАСТИЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ОЛИВ РЕЙКОЗМАЩУВАЧІВ

С.В. Воронін, В.О. Стефанов, О.О. Суранов, Д.В. Онопрейчук, Є.Ю. Семенко 25

В УКРАЇНІ ВИДАНИЙ НОВИЙ ПІДРУЧНИК ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ	
<i>Е.І. Даніленко</i>	26
СУЧАСНА НОРМАТИВНА БАЗА ПРОЄКТУВАННЯ Й БУДІВНИЦТВА ВІДОМЧИХ (ТЕХНОЛОГІЧНИХ) ДОРІГ	
<i>В.В. Ільченко, М.А. Дем`янець</i>	28
УМОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ	
<i>А.М. Карюк, І.В. Ясир</i>	30
ЗАСТОСУВАННЯ ДАТЧИКІВ ДЛЯ ДОВГОСТРОКОВОГО МОНІТОРІНГУ СТАНУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ	
<i>Д.М. Курган, В.В. Ковальчук, Р.В. Маркуль, Д.Л. Ковальський</i>	32
ВПЛИВ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА РЕМОНТ І ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ В КРИВИХ	
<i>М.Б. Курган, Н.П. Хмелевська</i>	34
ВПРОВАДЖЕННЯ ОСНОВ ЗЕЛЕНОЇ ЛОГІСТИКИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ	
<i>М.Д. Ломотько</i>	37
РОБОТА ПЕРЕЇЗНОГО НАСТИЛУ НА МУЛЬТОМОДАЛЬНОМУ ТЕРМІНАЛІ ПРИ РОБОТІ ВАЖКИХ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ МАШИН	
<i>В.А. Мірошник, О.Ф. Лужицький, С.С. Стасенко, П.А. Овчинников, Р.В. Іванов</i>	39
ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ МЕТОДОМ DINSAR	
<i>С.В. Нестеренко</i>	41
ЩОДО ПАРАМЕТРІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ПЛАВНІСТЬ ТА БЕЗПЕКУ РУХУ В МЕЖАХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕЇЗДІВ	
<i>О.М. Патласов, О.О. Філіп'єв</i>	43
ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ БЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ, АРМОВАНИХ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЮ СТАЛЕВОЮ ТА КОМПОЗИТНОЮ АРМАТУРОЮ	
<i>А.А. Плугін, С.В. Панченко, М.А. Муригін, Д.А. Плугін Е.Ф. Наджафов, О.В. Лобяк</i>	45
АДАПТАЦІЯ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ СТАЛЕБЕТОННИХ ТА МЕТАЛОІН'ЄКЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ В НЕЛІНІЙНІЙ ПОСТАНОВЦІ	
<i>А.А. Плугін, А.О. Безуглий, Є.А. Проказа, А.О. Цинка, Д.А. Фаст</i>	49

НОВИЙ КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО БЕЗБАЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ <i>А.А. Плуґін, Ю.Л. Тулей, Н.О. Муригіна, О.А. Плуґін, М.А. Муриґін, С.М. Мусієнко</i>	52
ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО РЕЙОК ЗГІДНО ДСТУ EN 13674-1:2018 <i>Д.О. Потапов, В.Г. Вітольберг, А.С. Малішевська, С.В. Винниченко</i>	55
ВПЛИВ ПРЯМОЛІНІЙНОСТІ РЕЙОК НА РІВЕНЬ СИЛ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ ТА РУХОМОГО СКЛАДУ <i>Д.О. Потапов, В.Г. Вітольберг, О.А. Фоменко, А.С. Лукашенко</i>	57
МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ БЕЗПЕКИ ЕЛЕМЕНТІВ ЗУПИНКОВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТА <i>С.І. Пустюльга, В.П. Самчук, В.М. Придюк, О.П. Шимчук, Д.Я. Кислюк</i>	59
ФОРМУВАННЯ ПАРКІВ МАШИН З УМОВИ МІНІМАЛЬНИХ ВИТРАТАМИ ПАЛИВА ПРИ БУДІВНИЦТВІ ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ <i>М.П. Ремарчук, Я.В. Чмуж, О.О. Галицький., О.В. Кебко</i>	61
ВИЗНАЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ТА ГАРАНТІЙНИХ СТРОКІВ СЛУЖБИ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ <i>О.О. Сорока</i>	63
АНАЛІЗ АЛЬТЕРНАТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ШПАЛ МЕТРОПОЛІТЕНІВ <i>Д.А. Фаст, Н.В. Бугаєць, О.О. Овчинніков, С.Б. Сопотяк, А.С. Мінка</i>	65
ПОТЕНЦІЙНІ НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ СТАНУ ГЕОМЕТРІЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ <i>С.С. Чесак</i>	67
АКТУАЛІТЕТИ ЗЕМЕЛЬНОГО РОЗВИТКУ ГРОМАД ТА ОБОРОННОЇ СТІЙКОСТІ УКРАЇНИ <i>Г.І. Шарій, Є.Б. Угненко, Сорочук Н.І., Є.М. Коростельов, О.М. Ужвієва</i>	69
ПЕРСПЕКТИВНІ МЕТОДИ ВИКОНАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ТА АНАЛІЗУ ОТРИМАНИХ ДАНИХ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЕЖЕННІ ПОШКОДЖЕНИХ ВНАСЛІДОК ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ РФ БУДІВЕЛЬ <i>В.В. Яременко, О.М. Агафонов</i>	71
ANALYTICAL SOLUTIONS OF SIMPLIFIED EQUATIONS OF A MATERIAL POINT IN BALLISTICS PROBLEMS FOR TRAJECTORIES OF MOTION WITH AN ANGLE INCLINATION TO THE HORIZON CLOSE TO 90° <i>A. Zadorozhnyi, O. Stakhovsky, Y. Chovnyuk, S. Buhaievskiy, O. Shutovsky</i> ,	74

**СЕКЦІЯ
БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ, БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ**

**SECTION
STRUCTURES, BUILDINGS AND FACILITIES**

ЕТАПИ ДОСЛІДЖЕННЯ САМОНАПРУЖЕННЯ У НЕРОЗРІЗНИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТАХ ПРОГОНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ <i>А.В. Гасенко, К.Г. Штанько</i>	75
ПРО АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК КІЛЬЦЕВИХ ПЛАСТИН НА НЕОДНОРІДНІЙ ПРУЖНІЙ ОСНОВІ <i>Ю.С. Крутій, М.Г. Сур'янінов, А.О. Пернері, Г.С. Карнаухова, О.В. Клименко</i>	77
РОЗРАХУНОК НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ IDEA STATICA І LIRA-SAPR <i>О.А. Фесенко, В.М. Колякова, Л. Андрійченко, А. Третяк</i>	79
ДОВГОВІЧНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД ІЗ ЗАЛІЗОБЕТОНУ <i>О.Л. Тют'якін, О.І. Дубінчик</i>	81
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК З БЕТОНУ І ФІБРОБЕТОНУ <i>М.Г. Сур'янінов, С.П. Неутов, І.Б. Корнесєва</i>	83
НОВІТНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ СТАЛЄВИХ ФЕРМ <i>М.В. Гоголь, Т.А. Галінська, Д.П. Сидорак, М.М. Гоголь</i>	85
ВИЗНАЧАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ ДІАГРАМИ ДЕФОРМУВАННЯ СТИСНУТОГО БЕТОНУ ЗА ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ <i>О.В. Ромашко-Майструк, В.М. Ромашко, М.О. Мамчур</i>	87
АЛГОРИТМ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ АРМОВАНИХ БІБЕТОННИХ БАЛОК ПРЯМОКУТНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ <i>Д.Б. Романенко</i>	89
ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНИХ СТАНІВ АНТЕННИХ СПОРУД ЗВ'ЯЗКУ <i>М.В. Бібік, Ю.О. Падун</i>	91
ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ ШВІВ ПЛАСТИКОВИХ ТРУБ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМ СПОСОБОМ <i>М.В. Павлюченков</i>	93
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГОЛОВНИХ БАЛОК МОСТОВИХ КРАНІВ ІЗ ПОПЕРЕДНЬОЮ НАПРУГОЮ <i>А.В.Ткачов, О.А. Ткачов, С.В. Мироненко</i>	94

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНОМІРНОСТІ НАГРІВАННЯ ФРАГМЕНТУ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ЗА СТАНДАРТНИМ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ ПОЖЕЖІ	
<i>О.М. Нуянзін, В.О. Степаненко, В.Е. Янішевський, А.В. Перегін, А.О. Майборода</i>	95
МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗШИРЕННЯ ТРІЩИН ДЛЯ БЕТОННИХ ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ	
<i>В.П. Мітрофанов, П.Б. Мітрофанов</i>	98
МОДЕЛЮВАННЯ ГРАНИЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ЗАХИСНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ЗА ЕКСТРЕМАЛЬНИМ КРИТЕРІЄМ ПРИ НАВАНТАЖЕННЯХ ВІД ВИБУХОВОЇ ХВИЛІ	
<i>О.В. Лобяк, О.В. Опанасенко, О.П. Воскобійник</i>	100
ПРО АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК БАЛКИ НА ПРУЖНІЙ ОСНОВІ ЗІ СТЕПЕНЕВОЮ НЕОДНОРІДНІСТЮ	
<i>Ю.С. Крутій, М.Г. Сур'янінов, А.О. Перпері, В.В. Вакуленко</i>	102
ТОЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ БАЛКИ НА НЕОДНОРІДНІЙ ПРУЖНІЙ ОСНОВІ	
<i>Ю.С. Крутій, А.О. Перпері, Н.А. Теорло</i>	105
DETERMINATION OF RATIONAL GEOMETRIC PARAMETERS OF ROPE DRUM	
<i>L.M. Kozar, A.V. Yevtushenko, Y.V. Romanovych, M.L. Kozar</i>	107
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГИНІВ В ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ДВОШАРНІРНИХ АРКАХ З ВИСОКОМІЦНОГО БЕТОНУ НА ДІЮ КОРОТКОЧАСНИХ СТАТИЧНИХ ОДНОРАЗОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ	
<i>Б.В. Караван, В.В. Караван, С.В. Філіпчук, П.П. Попрожук</i>	109
ГНУЧКІ ПЛАСТИНИ НА СТОВПАХ І ВІЛЬНИМ ОПИРАННЯМ ДВОХ ПРОМІЖНИХ СТОРІН	
<i>В.П. Кожушко, С.О. Бугаєвський, С.М. Краснов</i>	111
МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ КВАЗІКРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ЗСУВІ	
<i>О.О. Довженко, В.В. Погрібний, В.Л. Швайковський, М.О. Міщенко, М.В. Пенц</i>	114
РОЗРАХУНОК НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ШПОНКОВОГО З'ЄДНАННЯ ПРИ РУЙНУВАННІ ШВА ЗА СТИСНУТОЮ СМУГОЮ	
<i>О.О. Довженко, М.О. Міщенко, Г.Р. Шершерія</i>	116
ЗМІНА НАПРУЖЕНЬ У ПЕРЕРІЗІ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК ПІД ЧАС БІСТАДІЙНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ САМОНАПРУЖЕНИХ ПЕРЕКРИТТІВ СХОВИЩ	
<i>О.В. Семко, А.В. Гасенко, Л.В. Гасенко</i>	118

ПІДГОТОВКА ФІБРОБЕТОННИХ КУБИКІВ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ ВПЛИВ ВИСОКОЇ ТЕМПЕРАТУРИ, ДО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
<i>С.Ю. Берестянська, Є.І. Галагура, Л.Б. Кравців, М.О. Ковальов, І.Д.Потанов</i>	120
ЕФЕКТИВНА КОНСТРУКЦІЯ ПОКРИТТЯ ТРАНСПОРТНОГО СКЛАДУ КЛАСУ В+	
<i>Д.О. Банніков, Є.А. Місюра</i>	123
ВПЛИВ ПОВТОРНИХ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ ЛОТКІВ ВОДОВІДВЕДЕННЯ	
<i>О.В. Андрійчук, І.М. Ясюк, С.О. Ужegov, Л.О. Талах</i>	126
ПРО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ ЖОСТКОСТІ БУДІВЕЛЬ (СПОРУД), ЩО ЗАЗНАЛИ НЕРІВНОМІРНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ОСНОВ І ФУНДАМЕНТІВ, НАПРУЖЕНИМИ СТАЛЕВИМИ ПОЯСАМИ	
<i>В.В. Погрібний, О.В. Семко, Д.М. Овсій, О.М. Овсій</i>	128
ABOUT DYNAMIC CALCULATION OF CIRCULAR SOLID PLATES ON AN INHOMOGENEOUS ELASTIC FOUNDATION	
<i>Yu.S. Krutii, A.O. Perperi, D.V. Velychko</i>	130
ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ ОПОРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ВАГ	
<i>Д.О. Банніков, Л.І. Клочко</i>	133
ТЕХНОЛОГІЯ ВЛАШТУВАННЯ ПЛИТНИХ ФУНДАМЕНТІВ З СУМІСНОЮ ШПУНТОВОЮ СТІНКОЮ В УМОВАХ УЩІЛЬНЕНОЇ ЗАБУДОВИ	
<i>І.Б. Мудрий, М.М. Фречка</i>	136
АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗАЛІЗОБЕТОННИЙ БАЛОК, ЯКІ ПІДСИЛЕНІ ШЛЯХОМ НАРОЩУВАННЯ ПОЗДОВЖНЬОЇ АРМАТУРИ	
<i>А.Г. Азізова, Д.М. Овсій, О.М. Овсій</i>	138
ПРО УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ МАЛОГАБАРИТНИХ ШВИДКОСПОРУДЖУВАНИХ ЗАХИСНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ МОДУЛЬНОГО ТИПУ	
<i>О.В. Семко, Т.А. Галінська, Д.М. Овсій, О.М. Овсій</i>	140
ФОРМУВАННЯ УЗАГАЛЬНЕНИХ МОДЕЛЕЙ (ВИПАДКІВ) КОРОЗІЙНОГО УШКОДЖЕННЯ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ СТАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ	
<i>Т.А. Галінська, Д.М. Овсій, О.М. Овсій</i>	143

ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНІ ВИШУКУВАННЯ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ТА БУДІВЕЛЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ	
<i>Р.А. Міщенко, Д.М. Овсій</i>	146
BASIC APPROACHES TO FORECASTING ENERGY NEEDS OF OPERATED BUILDINGS TAKING INTO ACCOUNT THE FACTOR OF ACHIEVING THE EXPEDIENT LEVEL OF ENERGY EFFICIENCY	
<i>V.V. Hrankina, O.M. Xrenov, O.M. Milanko, I.O. Khudyakov, S.V. Romanenko</i>	148
СТІЙКІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ ДО РІЗНОГО ТИПУ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУР	
<i>В.В. Шевченко, О.М. Непомящий, В.М. Вировой</i>	150
ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВАНТАЖНОГО КАНАТУ	
<i>Н.М. Фідровська</i>	152
ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ СТАЛЕВИХ БАЛОК ПЕРЕКРИТТЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ ПРООН УКРАЇНИ	
<i>Н.О. Костира, О.В. Башинський</i>	154
ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ БАЛКОВИХ ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З АРМУВАННЯМ ЛИСТАМИ	
<i>Н.В. Табаркевич, А.С. Візір</i>	156
ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОЇ МІЦНОСТІ АРМАТУРИ В ЗРУЙНОВАНОМУ ЗАЛІЗОБЕТОННОМУ ПЛОНІ	
<i>С.М. Скребнєва, О.О. Табаркевич</i>	158
ЧИСЕЛЬНО-АНАЛІТИЧНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВНУТРІШНІХ ЗУСИЛЬ У ПЕРЕРІЗАХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ	
<i>А.В. Томашевський</i>	160
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРУГЛИХ ОПОР У СВІТОВИХ СТАНДАРТАХ	
<i>А.В. Махінько, Н.О. Махінько, С.О. Скляренко, Д.Є. Рулов</i>	162
АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АРМУВАННЯ ҐРУНТОЦЕМЕНТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ОСНОВИ ФУНДАМЕНТУ РЕЗЕРВУАРА	
<i>А.О. Мозговий, К.В. Спіранде, А.А. Бутенко, О.М. Агафонов</i>	164

**СЕКЦІЯ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ЗАХИСТ І РЕМОНТ
КОНСТРУКЦІЙ ТА СПОРУД**

**SECTION
CONSTRUCTION MATERIALS, PROTECTION AND REPAIR
OF STRUCTURES AND BUILDINGS**

THE INFLUENCE OF CARBONATE ADDITIVES ON THE FORMATION
OF THE STRUCTURE OF CEMENT STONE

O. Borziak, T. Rucińska, V. Zhuravel 167

THE RELEVANCE OF INCREASING THE CORROSION RESISTANCE
OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER
EXPOSURE TO SEA WATER

Yu Wei 169

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СПІЛЬНОЇ ДІЇ АГРЕСИВНИХ ВОДНИХ
СЕРЕДОВИЩ ТА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ НА ЦЕМЕНТНІ
КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ

М.С. Гудименко, В.В. Журавель, О.С. Борзяк, Г.М. Шабанова 170

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕНЕТРАЦІЇ ХЛОРИД-ІОНІВ В СТРУКТУРІ
ЦЕМЕНТНИХ КОМПОЗИТІВ З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ПІД ВПЛИВОМ
ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

В.В. Журавель 172

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЕОЦЕМЕНТНИХ
МАТРИЦЬ ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ІММОБІЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ І
УПАРЕНИХ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

С.Г. Гузій 174

ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДИФУЗІЇ ВОДИ ПРИ ЗАХИСТІ
ДЕРЕВИНИ ГІДРОФОБІЗУВАЛЬНОЮ СУМІШШЮ

Ю.В. Цапко, Т.М. Ткаченко, О.Ю. Цапко, О.П. Бондаренко 176

ВІБРОПРЕСОВАНІ ДРІБНОЗЕРНИСТІ НАДЖОРСТКІ БЕТОНІ ІЗ
ЗАСТОСУВАННЯМ МІНЕРАЛЬНИХ СУМІШЕЙ НОВОГО
ПОКОЛІННЯ НА ОСНОВІ ПЕРЕРОБЛЕНИХ ЗОЛОШЛАКОВИХ
ВІДВАЛІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ УКРАЇНИ

І.С. Лічнов, М.А. Саницький, В.О. Казанов 178

ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ АРМОВАНИМ
ТОРКРЕТБЕТОНОМ

А.В. Мазурак, Р.І. Кінаш, Т.Ю. Осадчук, Т.А. Мазурак, В.В. Гораль 180

ВИКОРИСТАННЯ БІОВУГІЛЛЯ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОЇ СКЛАДОВОЇ
ЦЕМЕНТНИХ КОМПОЗИЦІЙ ТА БЕТОНІВ

О.Т. Мазурак, У.Д. Марущак, Р.А. Мазурак 182

НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВІ САМОУЩІЛЬНЮВАЛЬНІ ФІБРОАРМОВАНІ БЕТОНИ НА ОСНОВІ НАНОМОДИФІКОВАНИХ ЦЕМЕНТУЮЧИХ СИСТЕМ	
<i>Б.Г. Русин, М.А. Саницький, Н.І. Сидор, Т.С. Кропивницький</i>	184
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВКИ MASTER FIX НА МІЦНІСНІ ТА ДЕФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ҐРУНТІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ	
<i>В.О. Процюк, О.П. Шимчук, С.Я. Дробишинець</i>	186
ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНОПЛЯНОГО УТЕПЛЮВАЧА	
<i>Ю.В. Цапко, О.Ю. Цапко, О.П. Бондаренко, Р.В. Ліхнівський</i>	188
СТАБІЛІЗАЦІЙНІ ПРОТИАВАРІЙНІ ЗАХОДИ В ЖИТЛОВОМУ БУДИНКУ, ПОШКОДЖЕНОМУ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ	
<i>Т.П. Донець</i>	190
РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ МЕТАЛЕВИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ КІЛЬЦЕВОГО ПЕРЕРІЗУ В УМОВАХ АГРЕСИВНИХ ВПЛИВІВ	
<i>А.А. Плугін, В.Д. Жван, О.В. Лобяк, О.А. Калінін, О.О. Овчинніков</i>	192
ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ БЕТОНУВАННЯ ШВИДКОТВЕРДНУЧИХ БЕТОНІВ	
<i>Є.Є. Бабіч, В.В. Лащівський, В.В. Марчук, О.Є. Поляновська</i>	194
ЦЕМЕНТИ, МОДИФІКОВАНІ ДИСПЕРСІЯМИ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК, ЯК ОСНОВА ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ РОЗЧИНІВ З ПОКРАЩЕНИМИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ	
<i>К.К. Пушкарьова, О.П. Бондаренко, А.С. Марціх</i>	196
ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ВОДОПОГЛИНАННЯ ЦЕМЕНТНО-ПІЩАНИХ ЗРАЗКІВ З МІКРОНАПОВНЮВАЧАМИ	
<i>Л.В. Трикоз, О.С. Зінченко, О.А. Калінін, А.В. Никитинський</i>	198
ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТОПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ПІДСИЛЕННЯ ОСНОВ ШТУЧНИХ СПОРУД	
<i>О.А. Дудін, А.С. Зверєва, М. Фассін, І.С. Коваленко, О.А. Фоменко, О.О. Філімонов</i>	200
ПИТАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ГАЛЕРЕЙ СИЛОСІВ	
<i>В.М. Луцьковський, Л.А. Циганенко, Г.М. Циганенко, Д.Г. Волков</i>	202
ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФІБРОБЕТОНУ З ФІБРОЮ РІЗНОГО ТИПУ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ ПРИЗМ НА РОЗТЯГ ПРИ ЗГИНІ	
<i>М.Г. Сур'янінов, С.П. Неутов, І.Б. Корнеєва</i>	204

БАГАТООСЕРЕДКОВЕ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ	
<i>В.М. Вировой, О.О. Коробко, В.Г. Суханов, С.В. Семенова</i>	206
ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКОВАНОГО ПОЛІМЕРНОГО СКЛАДУ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЗЧЕПЛЕННЯ МІЖ СТЕКЛОПЛАСТИКОВИМИ ТА БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВИМИ СТЕРЖНЯМИ І БЕТОНОМ	
<i>В.Ю. Мірошніков, Б. Юніс, В.М. Соболев, Н.В. Саєнко</i>	208
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЦИКЛІЧНИХ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА МІЦНІСТЬ КЛЕЄВОГО З'ЄДНАННЯ БЕТОННИХ БЛОКІВ	
<i>В.Ю. Мірошніков, Б. Юніс, В.М. Соболев, Н.В. Саєнко</i>	210
ПОГЛЯД НА МІСТ ПОНТОННО-КАНАТНОЇ КОНСТРУКЦІЇ З ТОЧКИ ЗОРУ КОНЦЕПЦІЇ ТЕНСЕГРІТИ	
<i>П.А. Овчинников, О.Л. Тютькін</i>	212
ВПЛИВ МІНЕРАЛОГІЧНОГО СКЛАДУ НА ПРОЦЕСИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ НАНОМОДИФІКОВАНОГО БІЛОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ	
<i>К.К. Пушкарьова, М.О. Кочевих, Л.О. Кушнієрова, Л.В. Терещенко</i>	214
ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ РАДІАЦІЙНОЗАХИСНИХ МЕТАЛОНАСИЧЕНИХ КОМПОЗИТІВ	
<i>Д.В. Аношко, О.А. Гончар, М.О. Кочевих, Л.О. Кушнієрова</i>	216
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА ВПРОВАДЖЕННЯМ ПАРАМЕТРИЧНОГО ОБ'РУНТУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	
<i>О.С. Герасименко, О.В. Романенко, І.В. Подтележнікова, Н.О.Муригіна, Ю.О. Баран</i>	218
ВПЛИВ МІКРОНАПОВНЮВАЧІВ ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ НА УСАДКОВІ ДЕФОРМАЦІЇ РОЗЧИНІВ ДЛЯ НАЛИВНОЇ ПІДЛОГИ	
<i>С.Ю. Шептун, М.А. Кусков</i>	220
PERSPECTIVE FOR CREATING GRADIENT CONCRETE FOR ELECTROCORROSION-RESISTANT PRODUCTS AND STRUCTURES	
<i>Y. Zhenhua, D. Plugin, I. Rusu</i>	222
ОСОБЛИВОСТІ ВЛАШТУВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ НА ПІДТОПЛЕНИХ І ПОТЕНЦІЙНО ПІДТОПЛЮВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ	
<i>О.І. Бондаренко, Г.Г. Стріжельчик, І.В. Храпатова, Є.П. Василенко, О.Є. Ляпін</i>	224

**СЕКЦІЯ
ШЛЯХИ СПОЛУЧЕННЯ, БЕЗПЕКА РУХУ
ТА УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ**

**SECTION
TRANSPORTATION WAYS, TRAFFIC SAFETY
AND TRANSPORT MANAGEMENT**

UDC 625.46(100)

BENCHMARKING OF TRAM WAY INFRASTRUCTURE

Stefan Edlinger¹, Dipl.-Ing.

¹*Wiener Linien GmbH & Co KG (Vienna, Austria)*

Tram systems play a critical role in urban transportation, offering a sustainable, cost-effective, and efficient mode of public transportation [1], [2]. However, the characteristics of tram infrastructure and vehicles varies significantly across cities and countries, influenced by diverse historical, technical, operational, topological, and socioeconomic factors [3]. This paper presents an extensive benchmarking framework [4] designed to evaluate and compare tram infrastructure across multiple urban contexts. The benchmarking questionnaire consists of 76 questions integrating key performance indicators (KPIs) related to operation, topology, track infrastructure, maintenance, and repair, as well as traction power installation and telecommunications. Comparable benchmarks are scarce and have been undertaken mostly in less detail, confidential and mostly focusing operational characteristics (e.g. Verein für den zwischenbetrieblichen Vergleich (ZBV) [5], S·for·T Management Consultants GmbH & Co. KG [6] and BOLTS International Light Rail and Tram Benchmarking Group [7]) or on new construction projects (e.g. Andersson P. G. (2010) [8]). In total 213 questionnaires were sent to tram and light rail operators worldwide in October 2023 with 38 usable returns from cities in Europe and Oceania, a response rate of 17.8 % has been achieved. Considering the extent of the questionnaire, this is a reasonable response rate considering response rates for e-mail notification surveys [9].

To compare the anonymized results of tram networks with different sizes and characteristics, the data has been normalized by total length of track and the number of available seat kilometers in the network. Results highlight the disparities in infrastructure performance and offer insights into best practices for optimizing tram systems.

With focus on the reliability of structures and buildings in Railway Transport, the benchmark shows the differences in service life of rails (straight and curved), turnouts, track covering, slab track as well as the great varieties of maintenance

principles, immediate action limits, interventions, and track renewal rates. Moreover, it is greatly visible that open track is more standardized than closed track.

The benchmarking approach can serve as a decision-making tool for scientists, policymakers, transit authorities, and urban planners, promoting targeted investments and policy interventions to enhance the effectiveness and sustainability of tram networks globally. Based on the results, standardization is desirable, as it can foster uniformity in best practices and facilitate the exchange of knowledge and resources across regions, leading to more efficient and scalable improvements in tram systems worldwide.

[1] Pietrzak, K., & Pietrzak, O. (2022). Tram system as a challenge for smart and sustainable urban public transport: Effects of Applying Bi-Directional Trams. *Energies*, 15(15), 5685. <https://doi.org/10.3390/en15155685>.

[2] Moreno, T., Reche, C., Rivas, I., Minguillón, M. C., Martins, V., Vargas, C., Buonanno, G., Parga, J., Pandolfi, M., Brines, M., Ealo, M., Fonseca, A. S., Amato, F., Sosa, G., Capdevila, M., De Miguel, E., Querol, X., & Gibbons, W. (2015). Urban air quality comparison for bus, tram, subway and pedestrian commutes in Barcelona. *Environmental Research*, 142, 495–510. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.07.022>.

[3] Megna, G., & Bracciali, A. (2022). Technical comparison of commercially available trams and review of standardization frame and design principles. *Urban Rail Transit*, 8(1), 16–31. <https://doi.org/10.1007/s40864-021-00163-6>.

[4] Stapenhurst, T. (2009). *The Benchmarking Book: A How-to-guide to Best Practice for Managers and Practitioners*. Routledge.

[5] Verein für den zwischenbetrieblichen Vergleich. . (n.d.). <http://www.z-b-v.de/>.

[6] S-for-T Management Consultants GmbH & Co. KG. (n.d.). S-for-T. <https://s-for-t.de/home>.

[7] BOLTS – International Light Rail and Tram Benchmarking Group. (n.d.). <https://trambenchmarking.org/>.

[8] Andersson P. G. et. al., *Investment and maintenance costs of tramways – benchmarking European tramway systems*, Lund 2010.

[9] Moffett, S., Anderson-Gillespie, K., & McAdam, R. (2008). Benchmarking and performance measurement: a statistical analysis. *Benchmarking an International Journal*, 15(4), 368–381. <https://doi.org/10.1108/14635770810887203>.

UDC 528.4

SURVEYING THE TERRAIN AND OBSERVING DAMAGE AND DESTRUCTION OF INFRASTRUCTURE FACILITIES AS A RESULT OF HOSTILITIES ON THE TERRITORY OF UKRAINE

*Evgeniya Ugnenko¹, Anna Shevchenko¹, Grygoriy Shariy²,
Nataliia Bielikova¹ and Yevhen Korostelov¹*

¹*Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine*

²*The Yuri Kondratyuk Poltava National Technical University, Poltava, Ukraine*

The infrastructure was almost the first to take the brunt of a full-scale war at dawn on February 24, 2022, and the enemy still does not stop his attacks. In addition to damage, infrastructure suffers less visible but no less painful financial and economic losses (fig. 1-2).



Fig. 1. Sleepy district of Mykolaiv
(April 27, 2023)



Fig. 2. Destruction of the Kakhovka
hydroelectric dam (June 6, 2023)

The situation is given for constant monitoring and watchfulness for damages and ruins for further analysis and assessment of damages, restoration and survival of entrances for reconstruction, as well as for the investigation of victims in importantly accessible areas, or places with active combat actions.

Modern technologies of monitoring systems and safeguarding effective tools for capturing and removing objective information about the camp of the territory, damage and destruction caused by combat actions. The variety of drones, satellites, video surveillance systems, seismic sensors and other advanced technologies allow the collection of many data and images, so that we can then analyze that aria to understand the conflict.

Drone is a mobile tool with high detail of data. If the height of the drone's skyline sounds within the range of 100 to 300 meters above the ground, then you can take pictures of the building in centimeters per pixel.

Drones allow you to collect a large amount of information in the shortest terms. The peculiarity of drones is the possibility of using spectral cameras, which allow take photographs in the near infrared spectrum. On the basis of such signs, NEVI-indexes are considered.

Drones can be both strong and weak sides.

Among the pluses are the efficiency of capture, mobility, high accuracy (\emptyset 2 cm), the possibility of capture in the minds of darkness.

And among the minuses - the influx of weather minds on the quality of the results, the visibility of the zones, where it is not possible to carry out a survey (the territory of airports, military and regime facilities), the height of the yoke drone.

Today, drones are one of the best technologies that open up new horizons. But, unfortunately, the russian federation of victorious advanced technologies for driving in, ruining that grief. Launching unmanned apart at night, ix richly folded in the air and hitting the targets at the hour.

The analysis of the received data allows us to find out the scale of destruction and damage, to determine the priorities of recovery and reconstruction, as well as to direct the necessary resources to the recovery of the most affected areas. A comprehensive overview of the situation also helps the government, international organizations and

humanitarian agencies to make informed decisions and provide the necessary assistance to rebuild and support affected communities.

The purpose of surveying the area with monitoring and surveillance systems is not only to record damage and destruction, but also to provide a reliable basis for reconstruction and recovery. Analyzing the collected data, it is possible to reveal the adequacy of housing, medical and social services, which are necessary for the return of people to a normal life. Surveying the area also helps to identify environmental problems, such as pollution of water sources or damage to the natural environment, which can have long-term consequences for the ecosystem and the health of residents.

Scientific analysis of the collected data allows establishing the causes and consequences of hostilities, to determine the dependence between destruction and the use of certain weapons or tactics, as well as to improve the strategies of international organizations and humanitarian agencies in the prevention and management of conflicts. In addition, this data can be used to formulate recovery policies, spatial planning and prevention of similar conflicts in the future.

Ukraine faced great challenges as a result of hostilities on its territory. Analyzing damage and destruction using monitoring and surveillance systems has become an integral part of the recovery and reconstruction process. Such an analysis allows obtaining objective data, setting priorities and developing a recovery strategy, and also contributes to the safety of residents and the creation of a stable and ecologically clean environment.

However, it is important to remember that proper recovery and promotion of peaceful life in the affected areas requires not only technology and analytical approach, but also great efforts and joint action on the part of the government, international partners, public and local residents. It is necessary to ensure the effective coordination of works, as well as the involvement of the necessary financial, technical and human resources for the restoration of the affected areas and the support of communities.

As a result of the study, it will be possible to draw a conclusion about the importance of monitoring and surveillance systems in the process of restoration and reconstruction of the affected regions of Ukraine. Such systems provide an opportunity to obtain objective information necessary for making informed decisions and implementing effective recovery measures.

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КРИВОЛІНІЙНИХ ДІЛЯНОК БЕЗСТИКОВОЇ КОЛІЇ

IMPROVEMENT OF THE DESIGN OF CURVED SECTIONS LONG WELDED TRACK

к-т. техн. наук М.А. Арбузов¹, аспірант С.В. Костюречко²

¹*Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)*

²*ТОВ «МЕГАПРОМСНАБ» (м. Дніпро)*

М.А. Arbuzov¹, PhD (Tech), S.V. Kosturechko², PhD student

¹*Ukrainian State University of Science and Technologies (Dnipro)*

²*"MEGAPROMSNAB" LLC (Dnipro)*

Безстикова колія – це перспективна конструкція залізничної колії, що має ряд переваг. Основна перевага – відсутність стиків. Тому безстикова колія має кращі динамічні показники взаємодії колії та рухомого складу, має меншу кількість несправностей та меншу інтенсивність їх накопичення. Але недоліком є температурні напруження, що можуть призводити до втрати стійкості рейкошпальної решітки.

В кривих ділянках стійкість безстикОВОЇ колії знижується через наявну кривизну. Безстикова колія при роздільних (КБ, СКД) і безболтових клемно-пружних (КПП) скріпленнях, залізобетонних шпалах на щебеневому баласті укладається в кривих радіусом не менше 350 м на коліях всіх категорій [1]. До того ж пліті вкладаються на залізобетонну підрейкову основу. Для колії на залізобетонних шпалах норма ширини колії на прямих і кривих при радіусах 300 м і більше встановлена однаковою – 1520 мм. В кругових та перехідних кривих при радіусах від 200 м до 450 м дозволяється застосовувати конструкції колії, які забезпечують регулювання ширини колії до 1535 мм [2]. Таким проміжним скріпленням, що дозволяє регулювати ширину колії, є СКД-65Б, КПП-5К. Тому з точки зору скріплення сьогодні є можливість вклати пліті і в криві радіусом менше 350 м.

На перевальних ділянках Львівської залізниці наявні криві радіусом 200-290 м. В таких кривих безстикОВОЇ колії вклати не дозволено. Ланкова колія вкладається на дерев'яній підрейковій основі, яка у важких умовах швидко зношується. Криві ділянки є зонами підвищеного динамічного впливу екіпажу на колію. Норми їх утримання та відхилення від них можуть приводити до суттєвого обмеження швидкостей руху поїздів. Тому більш практичним у важких умовах є укладання колії на залізобетонних шпалах. Але слабким місцем ланкової колії на залізобетонних шпалах є стикова зона. Розладнання колії в стиках призводять до значних трудовитрат на утримання таких ділянок. Необхідним з технічної точки зору є укладання плітей в таких кривих. Тому

вдосконалення конструкції криволінійних ділянок безстикової колії радіусом менше 350 м розширить сферу їх укладання та зменшить витрати на поточне утримання крутих кривих.

В результаті проведених досліджень та натурних випробувань стійкості безстикової колії в кривих радіусом 200-350 м встановлено, що експлуатація такої колії можлива [3-5]. Проте при певних умовах інтервал закріплення плітей безстикових плітей може бути вузьким через невисоку стійкість криволінійної ділянки. Мета даного дослідження – визначення необхідної конструкції кривих для укладання плітей безстикової колії без обмежень по кривизні.

Критична поздовжня стискаюча сила викликає втрату стійкості колійної решітки. Критична сила в кривих викликає поперечне переміщення криволінійної решітки. Для заперечення поперечного переміщення необхідно збільшити опір шпал зсуву в баласті та збільшити жорсткість при вигині рейко-шпальної решітки.

Жорсткість при вигині – це жорсткість стрижня, що згинається, обумовлена як добуток модуля пружності матеріалу на момент інерції його поперечного перерізу відносно нейтральної осі.

У конструкційному проектуванні жорсткість балки - це здатність балки протистояти відхиленню або вигину при застосуванні згинального моменту. Згинальний момент виникає, коли сила прикладається до балки, закріпленої на одному або обох кінцях. На жорсткість балки впливає як матеріал балки, так і форма поперечного перерізу балки.

Одним з найважливіших завдань дослідження роботи безстикової колії є визначення приведенного моменту інерції рейко-шпальної рами, що характеризує жорсткість рейкової ланки, тобто опір ланки викривленню. Приведений момент інерції підраховується за силою, прикладеною до ланки, по прогину та довжині рейкової ланки. Приведеним його називають тому, що момент інерції підраховують за формулами, виведеними для балки. Крім того, враховують модуль пружності для металу, а насправді його слід врахувати і для бетону. Рейкова ланка не є однорідною балкою, а є решіткою з напівжорстким приєднанням рейок в перерізах проміжних скріплень, складених з елементів, виготовлених з різних матеріалів.

[1] Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України [Текст] : ЦП-0266; затв. Наказом 3 033-Ц від 01.02.2012.- К., 2012.- 150 с.

[2] Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0269) / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган, В. О. Яковлев та інші. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.

[3] Проведення досліджень та випробувань устрою та експлуатації безстикової колії в кривих радіусом 200-350 м / Д. М. Курган, М. А. Арбузов, О. В. Губар // Звіт про науково-дослідну роботу. – 2018. – 41 с.

[4] Kurhan D. Determination of Load for Quasi-static Calculations of Railway Track Stress-strain State // Acta Technica Jaurinensis. – 2016. – Vol. 9(1). – pp. 83-96. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.v9.n1.400>

[5] Kurhan D, Kurhan M, Horváth B, Fischer S. Determining the Deformation Characteristics of Railway Ballast by Mathematical Modeling of Elastic Wave Propagation // Applied Mechanics. – 2023. – Vol. 4(2). – pp. 803-815. <https://doi.org/10.3390/applmech4020041>

**ЗМІНА ХАРАКТЕРИСТИК ДЕЯКИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОЛІЇ В
ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В УМОВАХ КОЛІЙ
НЕЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ**

**CHANGE IN THE CHARACTERISTICS OF SOME ELEMENTS OF THE
TRACK DEPENDING ON THE TERM OF OPERATION UNDER THE
CONDITIONS OF TRACKS NOT IN GENERAL USE**

*канд. техн. наук Н.В. Бугаєць¹, А.В. Муригін²,
канд. техн. наук О.О. Овчинніков¹, аспірант В.В. Тертичний¹*
¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)
²Відокремлений підрозділ «Харківська дистанція колії», АТ «Укрзалізниця»

*N.V. Bugaets¹, A.V. Murygin², O.O. Ovchynnikov¹, PhD (Tech.),
V.V. Tertychnyi¹, postgraduate students*
¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)
²Separate Subdivision «Kharkiv Track Maintenance Division», JSC «Ukrzaliznytsia»

Досліджуючи взаємодію колії і рухомого складу, в умовах колій незагального користування, а також для прогнозування роботи елементів залізничної колії після певного періоду експлуатації і для прийняття рішень про можливість збільшення цього періоду, необхідно проаналізувати чинники, які впливають на тривалість роботи цих елементів.

Питання динаміки взаємодії, колії і рухомого складу, є особливо актуальними для умов колій з високими осьовими навантаженнями, що характерно для промислових залізниць. При виконанні розрахунків враховуються специфічні умови експлуатації (криві малих радіусів, круті ухили профілю колії, значна кількість стрілочних переводів) і особливості рухомого складу, який обертається по цих коліях (підвищена жорсткість ресорних комплектів, необресорена маса, відстань між осями, діаметри коліс і інші).

При виконанні дослідження схема колії була представлена у вигляді просторової конструкції, яка складалася з рейок – балок, які спираються на багато пружно – дисипативних опор (вузлів проміжних скріплень і шпал), з урахуванням їх просторової жорсткості і дисипативних властивостей..

На просторову жорсткість проміжних скріплень в основному впливають пружні характеристики амортизуючи прокладок і прикріплювачів: клемних і закладних болтів.

Виконуючи розрахунки напруженого стану рейкошпальної основи використовувались чисельні значення усіх цих характеристик, які були отримані в результаті експериментів [1].

При проведенні експериментальних робіт було встановлено, що в процесі експлуатації означені параметри можуть змінюватися в широкому діапазоні. Тому виникла необхідність спеціального вивчення цих процесів.

Таблиця 1 – Залежність змін жорсткостей прокладок при стисненні від терміну їх служби в колії (років)

Тип скріплення	Тип прокладки	Емпірична залежність $u_{np}^{\partial un}(t) = f(t) \text{ (кН / м)}$	Середня помилка апроксимації (%)
1	2	3	4
КБ	ЦП-143	$u_{np}^{\partial un}(t) = u_{np}^{\partial un} + 0,08 \cdot 10^4 t$	4,17
	ЦП-260	$u_{np}^{\partial un}(t) = u_{np}^{\partial un} + 0,16 \cdot 10^4 t$	2,17
	ЦП-4	$u_{np}^{\partial un}(t) = u_{np}^{\partial un} + 0,51 \cdot 10^4 t$	2,84
	ЦП-153	$u_{np}^{\partial un}(t) = u_{np}^{\partial un} + 0,28 \cdot 10^4 t$	3,33
	ЦП-163	$u_{np}^{\partial un}(t) = u_{np}^{\partial un} + 0,17 \cdot 10^4 t$	4,34

При виконанні випробувань прокладок, які були в експлуатації при сумісній дії на них стискаючих і зсовуючих сил було одержано емпіричну залежність змін жорсткості прокладок при зсуві від строку роботи їх в колії. Збільшення цієї жорсткості після 10-18 років експлуатації для гумових і гумовокордових прокладок скріплення КБ складає в середньому 23-34%. Застосовуючи лінійний закон зміни жорсткості прокладок при зсуві від терміну служби, були одержані орієнтовні залежності, приведені в таблиці 1.

[1] Даренський О.М., Бугаєць Н.В., Аналіз результатів розрахунків напруженого стану рейкошпальної основи залізничних колій промислового транспорту. Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 2. – С. 67-70.

[2] Даренський О.М., Вітольберг В.Г., Копилов І.Л., Просторова жорсткість проміжного скріплення типу КПП-5. // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. - 2014. - Вип. 144. - С. 113-118. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2014_144_22.

**ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОГРЕСИВНОЇ СИСТЕМИ
УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЧИМИ ПРОЦЕСАМИ ВАГОНОРЕМОНТНИХ
ПІДПРИЄМСТВ**

**THE FORMATION OF A PROGRESSIVE PRODUCTION PROCESS
MANAGEMENT SYSTEM FOR WAGON REPAIR ENTERPRISES**

*канд. техн. наук Д.І. Волошин¹, канд. техн. наук Л.В. Волошина¹,
аспірант О.І. Плєскач¹, аспірант І.І. Плєскач¹*

¹*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*D.I. Voloshyn¹, PhD (Tech.), L.V. Voloshyna¹, PhD (Tech.),
postgraduate student O.I. Pleskach¹, postgraduate student I.I. Pleskach¹
¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

На сучасний момент процеси управління виробничими системами вагоноремонтних підприємств (ВРП), організації технологічних процесів основного та допоміжного виробництва та підтримання у часі технологічної бази характеризуються нестабільністю та невизначеністю [1]. Вказаний стан підприємств потребує розробки та впровадження дієвих механізмів впливу на виробничі системи з метою зниження незапланованих виробничих втрат та нівелювання негативних факторів виробництва.

Впровадження системи з оцінювання і аналізу виробничих ризиків дозволить забезпечити необхідний рівень надійності виробничих процесів ремонту вагонів при мінімальних витратах всіх видів ресурсів [2].

Для управління ризиками можна використовувати класичну модель, яка включає наступні етапи [3]:

- ініціювання процесу управління ризиками;
- загальне оцінювання ризиків (ідентифікація, оцінка і аналіз ризику);
- контроль ризиків (зниження рівня ризику або повне їх усунення);
- інформування про ризики (всередині підприємства);
- аналіз отриманих результатів (моніторинг).

Всі види ризиків у виробничій системі та випадки їх прояву з урахуванням результатів оцінки їх імовірності і наслідків, а також вибору засобів контролю фіксуються в реєстрі ризиків (табл. 1).

Для формалізації причинно-наслідкових зв'язків, що обумовлюють виникнення різного виду відмов у виробничій системі можливим є використання процедурних механізмів АВНКВ – «Аналізу видів, наслідків і критичності відмов» [4].

Особливістю запропонованого підходу є виявлення так званих «критичних елементів виробництва» або «критичних технологічних процесів». До них

відносять такі, вплив яких на виробниче середовище призводить до відмови загальної системи та унеможлиблює виконання виробничого завдання [5].

Таблиця 1 – Приклад реєстру ризиків для ВРП

№	Найменування позиції реєстру	Зміст позиції реєстру
1	Аналіз ризику	Опис можливих обставин виникнення ризику
2	Вид ризику	Вид ризику відповідно до прийнятого на ВРП класифікатора ризиків
3	Локалізація ризику	Структурний підрозділ, у межах діяльності якого виявлений ризик
...

Якісна оцінка показника критичності окремої відмови елемента виробничої системи визначалася, як:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n \quad (1)$$

де K_n – бальні оцінки показника критичності відмови елементів.

За результатами проведених досліджень були визначені показники оцінювання ризиків (табл.2).

Таблиця 2 – Результати розрахунку окремих показників ризику

Найменування показника	Результат	Одиниця вимірювання
Забезпеченість трудовими ресурсами	85	%
Ефективність трудових ресурсів	80	%
Ефективність технологічних ресурсів	70	%
Надійність технологічного обладнання	50	%
Ефективність системи матеріально-технічного постачання	60	%

Для отримання повної інформації про поведінку виробничої системи у часі та можливі сценарії розвитку її станів в межах дослідження було запропоновано використання причино-наслідкового аналізу. Його особливістю є використання комплексного підходу на основі комбінування двох відомих методів – «дерева відмов» та «дерева подій».

[1] Волошин Д.І. До питання підвищення надійності роботи виробничих підрозділів підприємств з ремонту вагонів // 36. наук.праць. Харків : УкрДУЗТ, 2015. Вип.157. С. 128-131.

[2] Волошин Д.І., Волошина Л.В. Забезпечення підтримки управління логістичними системами вагоноремонтних підприємств. Збірник матеріалів V Міжнародної конференції «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід» (29 листопада 2022 р., Дніпро, Україна) Матеріали. Електронне видання. – Дніпро, Журфонд, 2022. с.137–140.

[3] Bilal M. Ayyub. Risk Analysis in Engineering and Economics. A Chap-man & Hall Book, 2014. 640p.

[4] EC 60812 Analysis techniques for system reliability - Procedures for failure mode and effect analysis (FMEA).

[5] Волошин Д.І. Проблеми забезпечення надійності виробничих підрозділів з ремонту вагонів. Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту» Матеріали конференції. Кременчук: КрНУ, 2020. С. 80–82.

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОБІЛЬНОГО
РЕЙКОЗМАЩУВАЧА ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ
МАСТИЛ РІЗНОЇ В'ЯЗКОСТІ**

**IMPROVEMENT OF THE PARAMETERS OF A MOBILE RAIL
LUBRICATOR FOR EFFICIENT APPLICATION OF LUBRICANT**

*д-р техн. наук С.В. Воронін¹, канд. техн. наук В.О. Стефанов¹,
д-р юрид. наук О.В. Батюк², аспірант В.О. Гамора¹,
аспірант С.О. Стефанов¹*

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

²Волинський національний університет імені Лесі Українки (м. Луцьк)

*S.V. Voronin¹, Dr.Sc. (Tech.), V.O. Stefanov¹, PhD (Tech.),
O.V. Batiuk², Dr.Sc. (Law), V.O. Hamora¹, PhD student,
S.O. Stefanov¹, PhD student*

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

²Lesya Ukrainka Volyn National University (Lutsk)

У сучасному залізничному транспорті змащування рейок і коліс в кривих ділянках колії є ключовим фактором для зменшення зношування елементів рухомого складу та підвищення ефективності експлуатації за рахунок зниження коефіцієнта тертя [1, 2]. Традиційні методи змащування часто не забезпечують рівномірного покриття і потребують значних ресурсів для встановлення відповідного обладнання [3]. У відповідь на ці виклики, була вдосконалена та досліджена система аерозольного змащування, що дозволяє ефективно наносити мастильні матеріали різної в'язкості на рейки та гребені коліс.

Експериментальна форсунка (рис.1), за допомогою якої проводились дослідження, складається з наступних основних елементів: корпусу форсунки з різними діаметрами отвору (позиція 1), сопло для подачі мастила (позиція 2), контргайки (позиція 3) для регулювання аерозольного факела, трійника (позиція 4) для змішування повітря з мастильним матеріалом, пружиною (позиція 5), кулькою (позиція 6) та сідлом клапану (позиція 7).

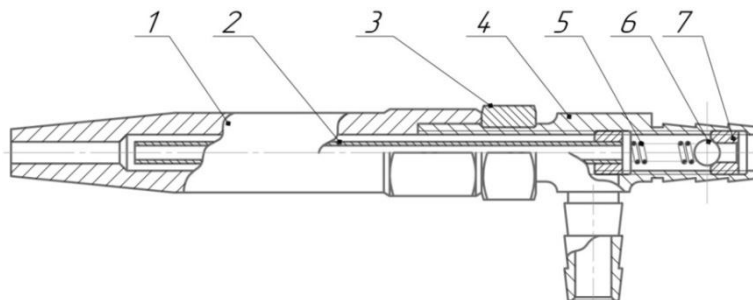
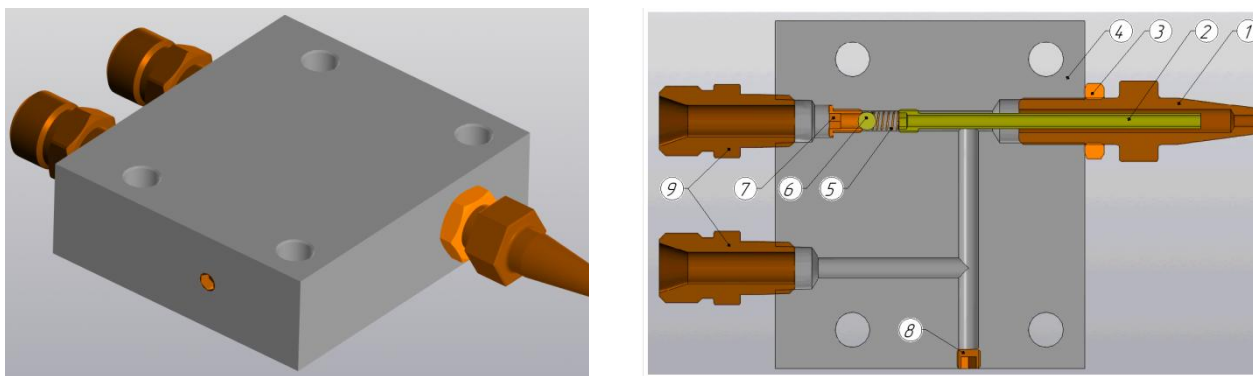


Рис. 1. Конструктивні елементи експериментальної форсунки
1 – корпус форсунки; 2 – сопло ; 3 – контргайка; 4 – трійник; 5 – пружина;
6 – кулька зворотного клапану; 7 – сідло клапану

Для проведення експериментальних досліджень був обраний наступний діапазон параметрів: діаметр отвору корпусу форсунки – 1-3 мм, тиск повітря – 0-0,5 МПа. Використовувались наступні мастила різної в'язкості: РС-6 «В», Рельсол-М та Рельсол-ГС. Результати показали, що дана форсунка може рівномірно розпилювати всі досліджувані мастила за умови оптимальних параметрів її налаштування. Як приклад, при тиску 0,15 МПа і діаметрі сопла 3 мм із використанням Рельсол-ГС розпилення є рівномірним без пульсацій [4].

На основі експериментальних даних було розроблено прототип нової конструкції форсунки, що зберігає ключові характеристики попередньої моделі (рис. 2). Її корпус має чотири отвори для кріплення на кронштейні, що сприяє зручному та надійному встановленню та налаштуванню.



а)

б)

Рис. 2. Прототип нової конструкції форсунки:

а - загальний вигляд форсунки; б – вид форсунки в розрізі

1 – корпус форсунки; 2 – сопло ; 3 – контргайка; 4 – корпус; 5 – пружина; 6 – кулька зворотного клапану; 7 – сідло клапану; 8 – заглушка; 9 - штуцер

Застосування запропонованої форсунки дозволить підвищити ефективність мобільного рейкозмащувача, забезпечивши точнішу подачу мастильного матеріалу та зручність при її встановленні та обслуговуванні.

[1] Valeriy Kossov, Andrey Lunin, Andrey Spirov, Yury Panin, Natalja Ivaškovska, Aleksandrs Nikolajevs. The technology of rail lubrication by the hauling locomotive in train formation. Procedia computer science. Volume 149. 2019. P. 331-335. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.144>

[2] Csontos, G., Augusztinovicz, F., & Bocz, P. (2021). Optimal operation of a rail lubrication device with respect to noise reduction and wheel/rail friction coefficient. Acta Technica Jaurinensis, 14 № 2, P. 138–154. URL: <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00592>

[3] Баб'як М.О., Джус В. С., Шпира А. Т., Житков С. Б. Аналіз проблеми ефективної експлуатації рейкозмащувачів на львівській залізниці. 75 міжнародної науково-практичної конференції «проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» 2015. Р. 119. URL: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/7075d3e6-a5bf-418a-b23c-013cd2a654ea/content>

[4] Воронін С.В., Стефанов В.О., Суранов О.О., Гамора В.О., Стефанов С.О. Дослідження систем аерозольного нанесення мастильного матеріалу в контакт «колесо-рейка». Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Випуск 208, 2024. С. 7-23. URL: https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnik_nauk_prac_208-1.pdf

**УПОВІЛЬНЕННЯ ЗНОСУ РЕЙОК В КРИВИХ ДІЛЯНКАХ КОЛІЇ
ШЛЯХОМ ПОКРАЩЕННЯ МАСТИЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ОЛИВ
РЕЙКОЗМАЩУВАЧІВ**

**SLOWING THE WEAR OF RAILS IN CURVED SECTIONS OF THE
TRACK BY IMPROVING THE LUBRICATION CAPACITY OF RAIL
LUBRICATOR OILS**

*д-р техн. наук С.В. Воронін¹, канд. техн. наук В.О. Стефанов¹,
канд. техн. наук О.О. Суранов¹, канд. техн. наук Д.В. Онопрейчук¹,
д-р філософії Є.Ю. Семенко²*

¹Український державний університет залізничного транспорту, Україна

²Національна академія Національної гвардії України, Україна

*S.V. Voronin¹, Dr.Sc. (Tech.), V.O. Stefanov¹, PhD (Tech.),
O.O. Suranov¹, PhD (Tech.), D.V. Onopreychuk¹, PhD (Tech.),
E.Yu. Semenko², doctor of philosophy.*

¹Ukrainian State University of Railway Transport, (Ukraine)

²National Academy of the National Guard of Ukraine, (Ukraine)

Розглядається один з напрямків зменшення зносу залізничних рейок в кривих ділянках колії шляхом додавання до мастильних матеріалів рейкозмащувачів протизношувальної присадки, створеної на основі попередніх досліджень в галузі нанотехнологій та трибології [1]. Застосована присадка являє собою очищену вуглецеву сажу, яка містить в своєму складі вуглецеві фулерени та нанотрубки. Вуглецева сажа була отримана методом електродугового випаровування хімічно чистого вуглецю у середовищі гелію.

Наведені результати порівняльних лабораторних досліджень трибологічних характеристик мастильних матеріалів для рейкозмащувачів на чотирьохкульковій машині тертя. Номенклатура досліджуваних матеріалів обрана на основі аналізу конструкцій та досвіду експлуатації рейкозмащувачів залізниць України. Обрані для дослідження мастильні матеріали: «Агрінол Рельсол ГС», «Агрінол Рельсол М», «MARIOL NT», олива И-30А із додаванням вуглецевої сажі.

Проведеними випробуваннями встановлено, що серед досліджених товарних мастильних матеріалів найкращі протизношувальні властивості мають «Агрінол Рельсол ГС» та «MARIOL NT» [2]. Згідно отриманих даних можна вважати за доцільне застосування вказаних матеріалів в рейкозмащувачах різного типу, оскільки знос рейок в кривих буде мінімальним, якщо порівнювати з іншими досліджуваними матеріалами.

Застосування суміші відпрацьованих моторних олив та графітового порошку, а також чистої оливи И-20А не є доцільним, оскільки їх протизношувальні

властивості набагато гірші [3]. У разі виробничої необхідності, можливе застосування суміші оливи И-30А та вуглецевої сажі, оскільки трибологічні характеристики цієї суміші суттєво покращені, та наближаються до характеристик товарного мастила «Агрінол Рельсол ГС».

Найбільш ефективними матеріалами серед досліджуваних, з точки зору мінімуму зносу рейок в кривих ділянках колії, є суміш «Агрінол Рельсол ГС та 0,2 % вуглецевої сажі», а також товарне мастило «MARIOL NT». Цей висновок є попереднім, оскільки для остаточне підтвердження ефективності будь якого мастильного матеріалу потребує стендового моделювання контакту колеса із рейкою та, за необхідності, експлуатаційних випробувань.

[1] СТП-Н 04-009:2017 Мастила та оливи для тягового рухомого складу, машин та механізмів ПАТ «Укрзалізниця». Порядок допуску до застосування, затверджений наказом ПАТ «Укрзалізниця» № 765 від 13.12.2017.

[2] Місцева інструкція по експлуатації та ремонту пристрою рейкозмашування на базі електровозів ВЛ11М в локомотивному депо Львів-Захід. Львів, 2015, 7 с.

[3] S.V. Voronin, A.V. Suranov, A.A. Suranov The effect of carbon nano-additives on the tribological properties of industrial oils Journal of Friction and Wear.- AllertonPress, Inc., 2017.- Vol. 38.- № 5.- pp. 359-363.

УДК 625.144.1

В УКРАЇНІ ВИДАНИЙ НОВИЙ ПІДРУЧНИК ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

A NEW TEXTBOOK FOR RAILROAD TRACK DESIGN WAS PUBLISHED IN UKRAINE

докт. техн. наук, професор Е.І. Даніленко¹

¹Державний університет інфраструктури та технологій (м. Київ)

Dr. Sci., professor E.I. Danilenko¹

¹State University of Infrastructure and Technologies (Kiev)

В Україні виданий новий підручник для вищих навчальних закладів «Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії». Підручник виданий в 2019-2020 р.р. в 2-х томах видавництвом «Хай-Тек Прес» (м. Київ) та авторським колективом викладачів ВНЗ залізничного транспорту України: КІЗТ ДУІТ (м. Київ), УкрДУЗТ (м. Харків), ДНУЗТ (м. Дніпро) за загальною редакцією д.т.н., професора, Заслуженого діяча науки і техніки України Даніленка Е.І.

Підручник призначений для студентів, магістрів, аспірантів ВНЗ спеціальностей 273 «Залізничний транспорт» та 275 «Транспортні технології» денної та заочної форм навчання. Рекомендується також для використання інженерно-технічними працівниками колійної галузі Укрзалізниці.

В 1-му томі підручника, що включає 4 розділи на 344 с., описано основоположні принципи оптимального проектування конструкції залізничної колії, викладено послідовність етапів вибору та раціонального проектування основних елементів конструкції верхньої будови колії; розглянуто конструкції та методи проектування стрілочних переводів та інших конструкцій з'єднань і пересічень колії, в тому числі розглянуті особливості проектування стрілочних переводів для прискореного і швидкісного руху поїздів.

При проектуванні і розрахунках рейкової колії та стрілочних переводів розглянуто особливості їх проектування в прямих і кривих ділянках, призначених для експлуатації поїздів зі звичайними швидкостями руху (до $V=140$ км/год), а також для прискореного руху $V=141-160$ км/год).

В 2-му томі підручника розглянуті питання улаштування, проектування та розрахунків безстикової рейкової колії; викладені основні методики розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість; наведені сучасні методики проектування і розрахунків залізничного земляного полотна; розглянуті техніко-економічні розрахунки, необхідні при виборі і обґрунтуванні раціональної конструкції верхньої будови колії.

Том 2 включає 4 розділи, які викладені на 552 с. друкованого тексту.

В розділі безстикової колії розглянуті питання улаштування, проектування та розрахунків безстикової рейкової колії; особливості улаштування безстикової колії при звичайному (типовому) конструктивному оформленні та в особливих умовах: на ділянках примикання до ланкової колії, до стрілочних переводів, на мостах і в тунелях, на переїздах та інш.; а також розглянуті питання технології виготовлення, транспортування і укладання рейкових плітей та закріплення їх на постійний режим експлуатації та регулювання температурних напружень в рейкових плітях.

В розділі розрахунків верхньої будови колії на міцність і стійкість розглянуті питання: визначення напружено-деформованого стану елементів верхньої будови колії від дії вертикальних та горизонтальних динамічних сил, що передаються від коліс рухомого складу; запропоновано новий метод теоретичних розрахунків напружень і деформацій в рейках залізничної колії, який враховує спільний вертикальний і горизонтальний вигини рейкової нитки спільно з одночасним крученням (метод суттєво відрізняється від існуючої на залізницях практики визначення напружень і деформацій за правилами наближених інженерно-технічних розрахунків); також розглянуті питання забезпечення несучої здатності конструкцій верхньої будови колії та забезпечення поздовжньої і поперечної стійкості рейкової колії при дії поздовжніх та поперечних горизонтальних сил.

В розділі проектування і розрахунків земляного полотна залізниць наведені сучасні методики розрахунків і проектування елементів конструкції земполотна для залізниць із забезпеченням необхідної щільності ґрунтів і стійкості укосів при дії поїзного навантаження та з забезпеченням необхідного захисту земполотна від шкідливих впливів поверхневих та підземних вод.

В розділі техніко-економічних розрахунків розглянуто сучасні методики з вибору раціональних конструкцій верхньої будови колії (в.б.к.) на основі:

визначення і порівняння строків служби елементів в.б.к.; періодичності призначення ремонтів колії; визначення капітальних та річних експлуатаційних витрат і порівняння сумарних техніко-економічних показників по розглядуваним варіантам конструкції верхньої будови колії.

Усі наведені методики проектування і розрахунків залізничної колії супроводжуються числовими прикладами, в яких розглянуті різноманітні інженерні задачі з проектування різних елементів залізничної колії.

Примітка. Анонсований тут новий підручник [3, 4] «Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії» доповнює основний підручник [1, 2] «Залізнична колія» (також в 2-х томах), (автор д.т.н., професор Даніленко Е.І.), який виданий у 2010 р. у тому ж самому виданні «Хай-Тек Прес» (м. Київ). Обидва підручника [1, 2] і [3, 4] є власністю колективу авторів, при необхідності їх можна придбати на кафедрі залізничної колії та колійного господарства КІЗТ ДУІТ (м. Київ).

[1] Даніленко Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомих складом: підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х томах). Київ: Інпрес, 2010. Т. 1. 522 с.

[2] Даніленко Е.І. Залізнична колія / Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомих складом / Підручник для вищих навчальних закладів. Т.2. - К.: Інпрес, 2010. – 456 с.

[3] Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії. Академічний курс в 2-х томах : підручник / за заг. ред. д.т.н., проф. Е.І. Даніленко. – Т.1. – К.: «Хай-Тек Прес», 2020. – 344 с.

[4] Проектування і розрахунки конструкцій залізничної колії. Академічний курс в 2-х томах : підручник / за заг. ред. д.т.н., проф. Е.І. Даніленко. – Т.2. – К.: «Хай-Тек Прес», 2020. – 552 с.

УДК 624.7.8

СУЧАСНА НОРМАТИВНА БАЗА ПРОЄКТУВАННЯ Й БУДІВНИЦТВА ВІДОМЧИХ (ТЕХНОЛОГІЧНИХ) ДОРІГ

MODERN NORMATIVE FRAMEWORK FOR DESIGNING AND CONSTRUCTING DEPARTMENTAL (TECHNOLOGICAL) ROADS

к.т.н., доцент В.В. Ільченко¹, М.А. Дем'янець¹

¹*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (Полтава)*

Ph.D., Associate Professor, V.V. Ilchenko¹, M.A. Demianets¹

¹*National University «Yury Kondratyuk Poltava Polytechnic» (Poltava)*

Згідно з класифікацією автомобільних доріг [1], яка існувала з певними змінами та доповненнями у 1998 – 2005 рр., передбачалося, що автомобільні дороги загального користування поділяються на дороги державного (магістральні та регіональні дороги) і місцевого значення (територіальні, районні та сільські дороги).

Зокрема до сільських автомобільних доріг належали [1, п. 4]:

– автомобільні дороги, які з'єднують адміністративні центри сільських населених пунктів з іншими населеними пунктами в межах району, інші населені пункти між собою;

– автомобільні дороги, що з'єднують підприємства з приймання та переробки сільськогосподарської продукції, які мають міжгосподарське, загальнорайонне значення і знаходяться поза межами міст і селищ міського типу, з мережею автомобільних доріг загального користування.

Усі інші автомобільні дороги, крім розташованих у населених пунктах, вважалися внутрішньогосподарськими технологічними дорогами, котрі обслуговуються власниками об'єктів, до яких вони прокладені [1, п. 5].

На той час проектування та будівництво автомобільних доріг загального користування здійснювалося згідно з нормативними вимогами ДБН В.2.3-4-2000 [3], а внутрішньогосподарських та виробничих доріг – згідно СНіП 2.05.11-83 [4] та СНіП 2.06.07-91 [5].

Згідно з класифікацією автомобільних доріг, яка прийнята в 2005 р., автомобільні дороги загального користування поділяються на дороги державного (міжнародні, національні, регіональні та територіальні дороги) і місцевого значення (обласні та районні дороги) [2, ст. 8]. Зокрема, до районних автомобільних доріг, які прийняли в себе мережу сільських автомобільних доріг, належать автомобільні дороги, що з'єднують адміністративні районні центри з іншими населеними пунктами, інші населені пункти між собою, з підприємствами, об'єктами культурного значення, іншими дорогами загального користування у межах району.

Крім автомобільних доріг загального користування, на території України існують вулиці й дороги міст та інших населених пунктів; відомчі (технологічні) автомобільні дороги; автомобільні дороги на приватних територіях [2, ст. 5]. Зокрема, до відомчих (технологічних) автомобільних доріг належать внутрішньогосподарські технологічні дороги, що знаходяться у власності юридичних або фізичних осіб [2, ст. 22].

На сьогодні проектування та будівництво нових і реконструкція існуючих автомобільних доріг загального користування здійснюється згідно з нормативними вимогами актуалізованого ДБН В.2.3-4:2015 [6]. У цей же час проектування, будівництво та реконструкція промислових автомобільних доріг здійснюється за вимогами морально застарілого та частково відміненого СНіП 2.06.07-91 [5], а проектування, будівництво та реконструкція внутрішньогосподарських автомобільних доріг з 1 січня 2011 року взагалі не нормується внаслідок відміни СНіП 2.05.11-83 [4] згідно до наказу Держбуду України [7]. Стосовно таких доріг лише в ст. 24 [2] зазначається, що проектування, будівництво, реконструкція, ремонт та утримання відомчих (технологічних) автомобільних доріг покладено на власників цих доріг.

Таким чином, сучасна нормативно-правова база не містить в собі понять «сільська автомобільна дорога» чи «сільськогосподарська автомобільна дорога», а також відсутні нормативно-технічні вимоги щодо проектування й будівництва внутрішньогосподарських (технологічних) автомобільних доріг.

Оскільки аграрний сектор є стратегічно важливим для сталого функціонування національної економіки, тому необхідно створити сприятливі умови для розвитку транспортної інфраструктури в сільській місцевості.

Нормативні вимоги на проектування й будівництво нових і реконструкцію існуючих промислових та відомчих (технологічних) автомобільних доріг мають відповідати вимогам норм ДБН В.2.3-4:2015 [6] та враховувати специфіку діяльності сільськогосподарських виробничих підприємств та організацій. Основні терміни та визначення понять щодо елементів автомобільних доріг слід приймати згідно Закону України «Про автомобільні дороги» [2] та діючих нормативних документів, що регламентують діяльність в сфері транспортної інфраструктури.

[1] Про класифікацію автомобільних доріг та перелік автомобільних доріг України державного значення: Постанова КМУ від 6.04.1998 № 455 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua>.

[2] Закон України «Про автомобільні дороги» від 08.09.2005 № 2862-IV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua>.

[3] ДБН В.2.3-4-2000. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. – К. : ДерждорНДІ., 2000.

[4] СНіП 2.05.11-83. Внутрішньогосподарчі автомобільні дороги в сільськогосподарських підприємствах і організаціях, 1984.

[5] СНіП 2.06.07-91. Промисловий транспорт. – Х: Харківський промтранспроєкт, 1991.

[6] ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. – К. : Мінрегіонбуд України, 2016.

[7] Про визнання такими, що втратили чинність, без заміни ... будівельних норм колишнього СРСР: наказ Держбуду України від 20.11.2009 №523 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://budstandart.ua>.

УДК 656:338.47

УМОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

CONDITIONS OF THE ORGANIZATION OF THE TRANSPORT SYSTEM OF UKRAINE

к.т.н., доцент А.М. Карюк¹, І.В. Ясир¹

¹*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (Полтава)*

A. Kariuk¹, PhD (Tech.), I. Yasyr¹

¹*National University «Yury Kondratyuk Poltava Polytechnic» (Poltava)*

Транспортна система України складається з кількох ключових видів: автомобільного, залізничного, авіаційного, водного (морського і річкового) та трубопровідного транспорту. Кожен з них має свої особливості та роль у забезпеченні вантажних та пасажирських перевезень.

Автомобільний транспорт є найпоширенішим засобом внутрішніх перевезень. Проте якість доріг залишається проблематичною через хронічний недолік фінансування та застарілу інфраструктуру. Автомобільні дороги України є основними артеріями для вантажних і пасажирських перевезень. Проте якість доріг протягом багатьох років була проблемою, через брак

фінансування на ремонт і модернізацію. Програма "Велике будівництво", започаткована в 2020 році, дала змогу модернізувати значну кількість шляхів, але через війну частина доріг на сході та півдні країни зруйнована.

Залізничний транспорт відіграє ключову роль у вантажоперевезеннях, проте йому також потрібна модернізація, включаючи електрифікацію ділянок та оновлення рухомого складу. Україна має одну з найбільших залізничних мереж у Європі. До війни залізниці використовувалися для перевезення вантажів (особливо сільськогосподарської продукції) та пасажирів. Нині залізниця відіграє ключову роль у військових та гуманітарних перевезеннях. Водночас багато ділянок на сході зазнали руйнувань або залишаються під контролем окупантів. Попри це, "Укрзалізниця" продовжує працювати в складних умовах.

Авіаційний транспорт має важливе значення для міжнародних перевезень, однак недостатній рівень розвитку регіональних аеропортів обмежує можливості внутрішніх перевезень. Авіаційна інфраструктура України суттєво постраждала. З початком війни цивільна авіація в країні майже не працює, оскільки більшість міжнародних авіакомпаній припинили польоти в українське небо. Лише військові та евакуаційні рейси здійснюються з певних летовищ. Багато аеропортів на сході та півдні країни знищені або окуповані.

Водний транспорт (морський і річковий) використовує величезний потенціал України як транзитної держави, але потребує значних інвестицій в порти та судноплавні канали. До війни морські порти, зокрема в Одесі, Миколаєві та Маріуполі, були важливими центрами експорту української сільськогосподарської продукції та інших товарів. Однак через блокаду Чорного моря та окупацію частини портів експорт значно ускладнений. Розблокування зернової угоди дало змогу частково відновити перевезення продукції морським шляхом, але ситуація залишається напруженою. Дніпро завжди був важливою транспортною артерією для внутрішніх перевезень. Проте військові дії на півдні та руйнування мостів обмежили використання річкових перевезень, хоча цей вид транспорту залишається актуальним для перевезення вантажів у безпечніших регіонах.

Транспортна система України залишається функціональною, але з серйозними обмеженнями. Війна значно вплинула на всі види транспорту, зокрема в регіонах, де ведуться активні бойові дії. Проте українська влада й надалі працює над відновленням та модернізацією інфраструктури, зокрема залізничної та дорожньої мережі, яка є критично важливою для економіки й оборони країни.

Розвиток та модернізація автомобільних доріг в Україні є пріоритетним завданням для уряду, оскільки це безпосередньо впливає на економічний та соціальний прогрес країни.

Основні проблеми, що стримують розвиток транспортної системи України:

Недостатня фінансова підтримка. Багато проектів із модернізації інфраструктури не мають достатнього фінансування, що веде до погіршення стану доріг, мостів та залізничних шляхів.

Застарілі технології та транспортні засоби. Значна частина транспортного обладнання не відповідає сучасним стандартам екологічної безпеки та енергоефективності.

Низька інтеграція транспортних систем. Відсутність координації між різними видами транспорту створює труднощі в логістиці, збільшує витрати часу і ресурсів.

Непрозорість і корупція в управлінні транспортною галуззю також негативно впливають на її розвиток і ефективність функціонування.

[1] Міністерство інфраструктури України. (2024). Національна транспортна стратегія України до 2030 року: звіт про виконання за 2023 рік. Київ: Міністерство інфраструктури України.

[2] Петренко, О.В., Іваненко, С.М. (2023). Сучасний стан та перспективи розвитку транспортної інфраструктури України. Київ: Видавництво "Логос".

[3] Ковальчук, А.А. (2024). Інтеграція транспортної системи України в європейську транспортну мережу: виклики та можливості. Економіка України, 3(716), 45-58.

[4] Державна служба статистики України. (2024). Транспорт і зв'язок України 2023: Статистичний збірник. Київ: Держстат.

[5] Шевченко, Л.І., Романенко, О.В. (2023). Цифрова трансформація транспортного сектору України: теорія і практика. Харків: Фоліо.

[6] European Commission. (2024). Transport in the European Neighbourhood Policy - Ukraine Progress Report 2023. Brussels: EC.

[7] Андрієнко, М.М., Павленко, В.В. (2024). Екологізація транспортної системи України: шляхи та інструменти. Екологічний вісник, 2, 12-25.

[8] Світовий банк. (2023). Оцінка транспортного сектору України: звіт. Вашингтон: Світовий банк.

[9] Українська логістична асоціація. (2024). Щорічний огляд ринку логістичних послуг України 2023. Київ: УЛА.

УДК 625.1:62-4

ЗАСТОСУВАННЯ ДАТЧИКІВ ДЛЯ ДОВГОСТРОКОВОГО МОНІТОРІНГУ СТАНУ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

APPLICATION OF SENSORS FOR LONG-TERM MONITORING OF RAILWAY TRACK CONDITION

*д-р техн. наук Д. М. Курган¹, д-р техн. наук В. В. Ковальчук²,
к-т. техн. наук Р. В. Маркуль¹, аспірант Д. Л. Ковальський¹*

¹Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)

²Національний університет «Львівська політехніка» (м. Львів)

*D. M. Kurhan¹, Dr. Sc. (Tech.), V. V. Kovalchuk², Dr. Sc. (Tech.),
R. V. Markul¹, PhD (Tech), D. L. Kovalskyi¹, PhD student*

¹Ukrainian State University of Science and Technologies (Dnipro)

²Lviv Polytechnic National University (Lviv)

Сьогодні існує багато способів моніторингу стану залізничної колії. В більшості випадків перевіряється або геометричний обрис залізничної колії або параметри її взаємодії з рухомим складом.

Для контролю характеристик взаємодії колії і рухомого складу використовуються відповідні датчики які можуть встановлюватися як на елементи залізничної колії так і на рухомий склад.

Дана робота є складовою частиною проекту щодо розробки методології встановлення датчиків (мережі датчиків) для постійного (довготривалого) контролю за станом залізничної колії. Однією з основних вимог до такої системи моніторингу є її вартість та обмеження в споживанні електричного живлення, яке повинне самовідновлюватися. Тому кількість датчиків, що можуть використовуватися на одній ділянці суттєво обмежена. З іншої сторони система моніторингу повинна охоплювати як можна більшу кількість факторів, що впливають на стан колії. Тому як основний параметр, що контролюється, розглядається жорсткість залізничної колії. На показники жорсткості колії будуть мати вплив як порушення в стані скріплень, шпал, забруднення і деградація баласту, так і зміни в геометричному обрисі колії, такі як просідання та нерівності.

З метою обґрунтування рекомендацій щодо розробки децентралізованої системи моніторингу стану залізничної колії в даній роботі були розглянуті декілька методів обладнання ділянки колії датчиками для довготривалого застосування. Загальною умовою було отримання даних щодо стану залізничної колії через оцінку характеристик її жорсткості на основі вимірювання показників взаємодії колії з рухомим складом мінімальною кількістю встановлених датчиків. Були проаналізовані наступні варіанти: 1) вимірювання напружень в рейках тензодатчиками [1, 2]; 2) вимірювання прискорень коливань рейок і шпал акселерометрами [3, 4]; 3) вимірювання швидкості поширення хвиль в баласті. Кожен з методів має як певні переваги, так і недоліки [5, 6].

Метод вимірювання напружень вигину в рейках тензодатчиками використовує недорогі датчики, які легко встановлюються в доступних місцях. Значення напружень не тільки опосередковано показують загальний стан колії, але й дають можливість безпосередньо оцінювати такий показник експлуатації як осьове навантаження поїздів. До недоліків потрібно віднести невелику чутність результатів до зміни модуля пружності підрейкової основи.

Метод вимірювання прискорень коливань рейок і шпал базується на застосуванні акселерометрів, які встановлюються в легкодоступних місцях елементів колії, і сьогодні є поширеним різновидом датчиків. Результат запису прискорень залежить не тільки від стану залізничної колії, а й від стану рухомого складу, особливо коліс. Це дасть змогу розширити сферу застосування моніторингової системи. Однак, така залежність від багатьох факторів є й суттєвим недоліком. Відокремлення і оцінка вібрації від певного фактору потребує амплітудно-частотного аналізу сигналу та інших математичних інструментів, тому результати не завжди мають однакове трактування.

Метод вимірювання швидкості поширення хвиль в баласті дає можливість безпосередньо оцінити стан баластного шару, як важливої складової залізничної колії в цілому. Однак застосування такого методу безпосередньо на

діючий ділянці потребує встановлення датчику під баластний шар, що має певні технологічні труднощі. Крім того, поєднання високої швидкості руху пружних хвиль в баласті з відносно невеликою його товщиною вимагає застосування апаратури, з можливостями сприймати та обробляти сигнал на суттєво більших частотах, ніж попередні методи.

На думку авторів, кожний з методів, що були розглянути, як самостійно, так і в комплексі з іншими, може мати застосування для побудови систем довготривалого моніторингу за станом залізничної колії. Такі системи можуть бути корисними як при вирішенні практичних задач утримання колії під час експлуатації, так і для наукових спостережень.

Дослідження проводились в рамках реалізації проєкту «Децентралізована система моніторингу стану об'єктів критичної інфраструктури транспорту із інтелектуальним прикриттям».

[1] Kurhan D. Determination of Load for Quasi-static Calculations of Railway Track Stress-strain State // Acta Technica Jaurinensis. – 2016. – Vol. 9(1). – pp. 83-96. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.v9.n1.400>

[2] Potapov D., Vitolberg V., Shumyk D., Boyko V., Kulik S. Study into stresses in rail track elements from high-speed rolling stock in Ukrainian main lines // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2684. – 020010. <https://doi.org/10.1063/5.0120022>

[3] Sysyn M., Kovalchuk V., Gerber U., Nabochenko O., Pentsak A. Experimental study of railway ballast consolidation inhomogeneity under vibration loading // Pollack periodica an International Journal for Engineering and Information Sciences. – 2020. – Vol. 15(1). – 27–36. <https://doi.org/10.1556/606.2020.15.1.3>

[4] Kovalchuk V., Koval M., Onyshchenko A., Kravets I., Bal O., Markul R., Vikhot S., Petrenko O., Rybak R., Milyanych A. Determining the strained state of prefabricated metal corrugated structures of a tunnel overpass exposed to the dynamic loading from railroad rolling stock // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. – Vol. 3/7(117). – pp. 50-58. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259439>

[5] Sysyn M., Gruen D., Gerber U., Nabochenko O., Kovalchuk V. Turnout Monitoring with Vehicle Based Inertial Measurements of Operational Trains: A Machine Learning Approach // Communications - Scientific Letters of the University of Zilina. – 2019. – Vol. 21(1). – pp. 42-48. <https://doi.org/10.26552/com.C.2019.1.42-48>

[6] Kurhan D, Kurhan M, Horváth B, Fischer S. Determining the Deformation Characteristics of Railway Ballast by Mathematical Modeling of Elastic Wave Propagation // Applied Mechanics. – 2023. – Vol. 4(2). – pp. 803-815. <https://doi.org/10.3390/applmech4020041>

УДК 625.113:625.173.4

ВПЛИВ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА РЕМОНТ І ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ В КРИВИХ

THE INFLUENCE OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES ON REPAIR AND MAINTENANCE RAILWAY TRACKS IN CURVES

*д-р техн. наук М. Б. Курган¹, аспірант Н.П. Хмелевська¹
¹Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)*

*Dr. Sc. (Tech.), M.B. Kurhan¹, PhD student N.P. Hmelevska¹
¹Ukrainian State University of Science and Technologies (Dnipro)*

За відсутності достатнього фінансування та інших об'єктивних причин роботи з утримання колії не виконуються в повному обсязі, що знижує

надійність технічних об'єктів щодо збереження у встановлених межах часу значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих умовах експлуатації.

Метою даної роботи є аналіз інноваційних технологій, які впливають на періодичність ремонтів і обслуговування залізничних кривих.

Методика передбачає аналіз і систематизацію даних для побудови відповідних залежностей і графіків, які можуть бути корисними в дистанціях колії при плануванні ремонтних робіт.

Технічні й організаційні заходи підвищення надійності утримання кривих включають наступні сценарії:

1. Модернізація та реконструкція колії в кривих спрямовані на покращення їхньої структури, збільшення пропускної спроможності та підвищення безпеки руху. Зв'язок з інноваціями: використання нових матеріалів, таких як високоякісна сталь для рейок або композитні матеріали для шпал, підвищує зносостійкість і довговічність колії, застосування інноваційних методів укріплення баласту та зміцнення основи колії; цифрове проектування та симуляція, що дозволяє оптимізувати проект реконструкції, враховуючи різні сценарії навантажень та експлуатації.

2. Технічне обслуговування та ремонт колії в кривих є важливими для забезпечення надійності та безпеки колій, особливо в кривих, де відбувається підвищений знос [1]. Зв'язок з інноваціями: сучасні машини для укладання рейок, шпал та баласту, оснащені автоматизованими системами керування, дозволяють швидко та точно виконувати ремонтні роботи, що знижує час простою та підвищує якість робіт; використання технологій на основі штучного інтелекту дозволяє прогнозувати необхідність ремонту на основі даних про знос, зібраних за допомогою сенсорів та інших моніторингових систем, що зменшує витрати на утримання колії.

3. Впровадження сучасних технологій моніторингу забезпечують постійний контроль за станом колії та дозволяють виявляти потенційні проблеми на ранніх стадіях. Зв'язок з інноваціями: датчики IoT, встановлені на кривих, дозволяють в реальному часі відстежувати параметри, такі як вібрації, температура, тиск і знос, що дає змогу оперативно реагувати на зміни та планувати обслуговування колії; використання дронів з камерами та системами машинного зору дозволяє швидко отримувати інформацію про стан колії навіть у важкодоступних місцях; аналіз зображень за допомогою алгоритмів штучного інтелекту дозволяє автоматично виявляти дефекти та пошкодження.

4. Режими руху поїздів включають управління швидкістю, розкладом та інтервалами між поїздами, що важливо для забезпечення безпеки та ефективності перевезень. Ведення поїзда з використанням режимних карт має певний зв'язок з інноваціями: сучасні системи керування, що використовують штучний інтелект і великі масиви даних, можуть автоматично коригувати режими руху поїздів на основі інформації про стан колії, погодних умов та інших факторів, що допомагає зменшити навантаження на колії та підвищити безпеку; інноваційні системи контролю швидкості дозволяють регулювати

швидкість поїздів на основі стану колії та інших параметрів, що знижує знос і ризик аварій [2].

Перераховані інноваційні технології не розглядаються в повному обсязі в цій роботі але окремі результати досліджень авторів наводяться у відповідних працях. Це інновації в проектуванні залізничних кривих [3]. Встановлено, що від точності та правильності проектування залежить динамічна поведінка поїздів у кривих, їхня стійкість та комфорт пасажирів. Зв'язок з інноваціями:

сучасне програмне забезпечення для проектування (програмні комплекси MoveRW, RWPlan);

моделювання та симуляція – варіантне проектування; різні методи зйомки плану залізниці й геодезичний контроль; моделювання динаміки руху для різних категорій поїздів;

зв'язок між видом кривих та інноваційними технологіями, пов'язаними з утриманням кривих ділянок колії [4, 5];

моніторинг та діагностика стану колії.

Інноваційні технології відіграють ключову роль у модернізації, реконструкції, технічному обслуговуванні та ремонті залізничних колій. Вони дозволяють підвищити працездатність залізничної колії, надійність утримання залізничних кривих, знижуючи ризик аварій та покращуючи загальну ефективність роботи залізничного транспорту.

[1] D. Potapov, S. Panchenko, Y. Leibuk, Y. Tuley, P. Plis, Effect of joint and isolated irregularities of the track on the wear of rails in curves, MATEC Web Conf., 230 (2018) 01012 doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823001012>

[2] Дослідження впливу стану залізничної колії в плані на плавність і безпеку руху поїздів / М. Б. Курган, Д. М. Курган, С.Ю. Байдак, Н.П. Хмелевська // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті, 2017, № 14. – С. 94-101.

[3] M. Kurhan, D. Kurhan, S. Baidak, N. Khmelevska, Research of railway track parameters in the plan based on the different methods of survey, Science and Transport Progress 2 (74) (2018) pp. 77-86, doi: <https://doi.org/10.15802/stp2018/129585>

[4] M. Kurhan, D. Kurhan, S. Baidak, N. Khmelevska Innovative Approaches to Railway Track Alignment Optimization, in Curved Sections. Acta Polytechnica Hungarica. 2024. Vol. 21(1), pp.207-220 doi: <https://doi.org/10.12700/APH.21.1.2024.1.13>

[5] Дослідження параметрів залізничної колії у плані за різними методами зйомки / М.Б. Курган, Д.М. Курган, С.Ю. Байдак, Н.П. Хмелевська // Наука та прогрес транспорту. – 2018. – № 2 (74). – doi: 10.15802/stp2018/129585. <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/10512>. – С. 77-86.

**ВПРОВАДЖЕННЯ ОСНОВ ЗЕЛЕНОЇ ЛОГІСТИКИ НА
ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ**

**IMPLEMENTATION OF THE FUNDAMENTALS OF GREEN LOGISTICS
IN RAILWAY TRANSPORT OF UKRAINE**

асистент М.Д Ломотько¹

¹*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

PhD M.D. Lomotko¹

¹*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Логістика являється ключовою складовою будь-якого ланцюга постачання вантажів та пасажирів. Але водночас логістика є одним із найбільших джерел забруднення навколишнього середовища. За даними Світового банку, транспорт відповідає за викиди парникових газів у світі в розмірі 25%. Для збереження клімату та забезпечення екологічності навколишнього середовища, була розроблена світова стратегія зменшення викидів CO₂ до 2050 року. Ця стратегія охоплює різні види транспорту, включаючи залізничний, морський, автомобільний та авіаційний [1].

Для екологічних перевезень в логістиці було введено поняття зелена логістика. Зелена логістика – це зменшення викидів і впливу на навколишнє середовище логістичної діяльності шляхом використання сталої політики під час усіх операційних процесів, від виробництва до утилізації продукту, що охоплює весь життєвий цикл продукту [2].

На залізничному транспорті України зелена логістика може бути досягнута за допомогою екологічно чистих і стійких практик у логістичній галузі. До таких практик відносять:

- екологічний транспорт;
- екологічні практики управління ланцюгом постачання;
- екологічна упаковка;
- екологічне складування.

До екологічного транспорту відносять наступні практики:

- оптимізація маршруту: оптимізація транспортного маршруту за рахунок використання технології GPS та програмного забезпечення для оптимізації маршруту;

- використання паливно-ефективних транспортних засобів: використання транспортних засобів, які мають систему економії палива, або використання електричних чи гібридних транспортних засобів, які зменшують викиди вуглецю.

- зменшення холостої роботи бензинових та дизельних двигунів: вимикання бензинових та дизельних двигунів при тривалій зупинці;

- регулярне технічне обслуговування транспортних засобів: регулярне технічне обслуговування транспортних засобів допомагає споживати менше палива та зменшує викиди;

- оптимізація навантаження: передбачає раціональне розміщення вантажів та запобіганню надмірного завантаження транспортних засобів, що призводить до збільшення витрат палива;

- сучасні системи управління парками: впровадження передових технологій в управлінні парками (автопарки, локомотивні депо, тощо), які допоможуть контролювати та покращувати продуктивність парків транспортних засобів.

До екологічних практик управління ланцюгом постачання належить наступне:

- зменшення відходів: зниження рівня надмірного використання ресурсів та сприяти повторному використанню ресурсів та переробці вже використаних. В ідеалі повинні отримати безвідходний процес;

- оптимізація споживання енергії: передбачає використання транспортних засобів та технологій, з найменшим споживанням енергії. Використання відновлювальних джерел електроенергії, наприклад енергію сонця, вітру, гідроелектростанції, тощо. Використання систем, які використовують аналітичні дані, датчики та автоматизацію, щоб регулювати споживання енергії на основі попиту в реальному часі, зменшуючи втрати та покращуючи загальну ефективність.

До екологічної упаковки відносять екологічно чисті пакувальні матеріали, такі як рослинні, перероблені та біологічні упаковки, що розкладаються. Не треба використовувати для упаковки пластик або картон, які не піддаються біологічному розкладанню. Екологічно чисті упаковки зменшують загальні відходи та зберігають ресурси. Це допомагає запобігти забрудненню навколишнього середовища, підтримати процеси переробки та зменшити вплив на навколишнє середовище.

Екологічне складування або зелене складування передбачає оптимізоване використання складських приміщень і обладнання, що зменшує кількість непотрібних операцій і, таким чином, скорочує викиди вуглецю. Екологічні складські приміщення забезпечують енергоефективність даних приміщень.

Використання світлодіодного освітлення, енергоефективних систем опалення, вентиляції та кондиціонування, а також вимикання світла та машин, коли вони не використовуються. Всі ці заходи сприяють енергоефективності, а також забезпечують економічну вигоду [1, 3].

[1]. Ломотько М.Д. Удосконалення технології доставки вантажів залізничним транспортом в умовах конкурентного середовища : дис. ... доктор філософії: 10.05.2024. Харків, 2024. 233 с.

[2]. Everything you need to know about Green Logistics. Maurice Ward Group: веб-сайт. URL: <https://www.mauriceward.com/everything-you-need-to-know-about-green-logistics/#:~:text=Green%20logistics%2C%20also%20known%20as,the%20product's%20entire%20life%20cycle>.

(дата звернення: 09.11.2024).

[3]. Definition of green logistics. How to implement green logistics? ADNOVS: веб-сайт. URL: <https://adnovs.com/blogs/what-is-green-logistics/> (дата звернення: 09.11.2024).

**РОБОТА ПЕРЕЇЗНОГО НАСТИЛУ НА МУЛЬТОМОДАЛЬНОМУ
ТЕРМІНАЛІ ПРИ РОБОТІ ВАЖКИХ ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ
МАШИН**

**OPERATION OF THE TRAFFIC DECK AT THE MULTIMODAL
TERMINAL DURING THE OPERATION OF HEAVY HANDLING
MACHINES**

*д-р філософії В.А. Мірошник¹, ст. викладач О.Ф. Лужицький¹,
ст. викладач С.С. Стасенко¹, аспірант П.А. Овчинников¹,
асистент Р.В. Іванов¹*

¹Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)

*V.A. Miroshnyk¹, PhD, O.F. Lugizkiy¹, S.S. Stasenko¹, PhD student, P.A.
Ovchinnikov¹, PhD student, R.V. Ivanov¹*

¹Ukrainian State University of Science and Technologies (Dnipro)

У зв'язку з військовою агресією РФ проти України та постійним ракетним обстрілом портів Чорноморського узбережжя вантажний потік з України та в Україну в більшості переорієнтувався на західний кордон країни. Через це виник великий попит на будівництво мультимодальних вантажних терміналів в західній частині України в місцях стикування колій європейської ширини 1435 мм та української шириною 1520 мм. [1]

Перевантаження контейнерних, сипучих та тарно-штучних вантажів на таких мультимодальних терміналах виконується за допомогою козлових кранів з різним навісним обладнанням, навантажувальних машин, річстакерів тощо. Найбільше навантаження на проїзну частину завдає саме річстакер, за параметрами якого навантаження на передню вісь з вантажем досягає від 100 т до 130 т в залежності моделі такого навантажувача. [2]

Часто організацією роботи мультимодального терміналу передбачено перетин річстакером залізничних колій. Переїзний настил залізничних переїздів можуть влаштовуватись різних типів: залізобетонної, дерев'яної, гумо-кордової та монолітної конструкції. Рекомендації Інструкції [3] щодо того, що на переїздах I та II категорій перевагу необхідно віддавати більш прогресивним типам настилу [4]. Застосування типового залізобетонного переїзного настилу в такому випадку є неможливим, оскільки постійні навантаження на таку плиту призводить до швидкого виходу її з ладу. Для уникнення такої ситуації пропонується застосування монолітних залізобетонних плит. Така плита повністю повторює обрис рейко-шпальної решітки, що забезпечує рівномірне навантаження на шпали та баласт. Також передбачені закладені «вуха» для можливості розбирання настилу, забезпечуючи таким чином виконання ремонтних робіт по залізничній колії (рис. 1).

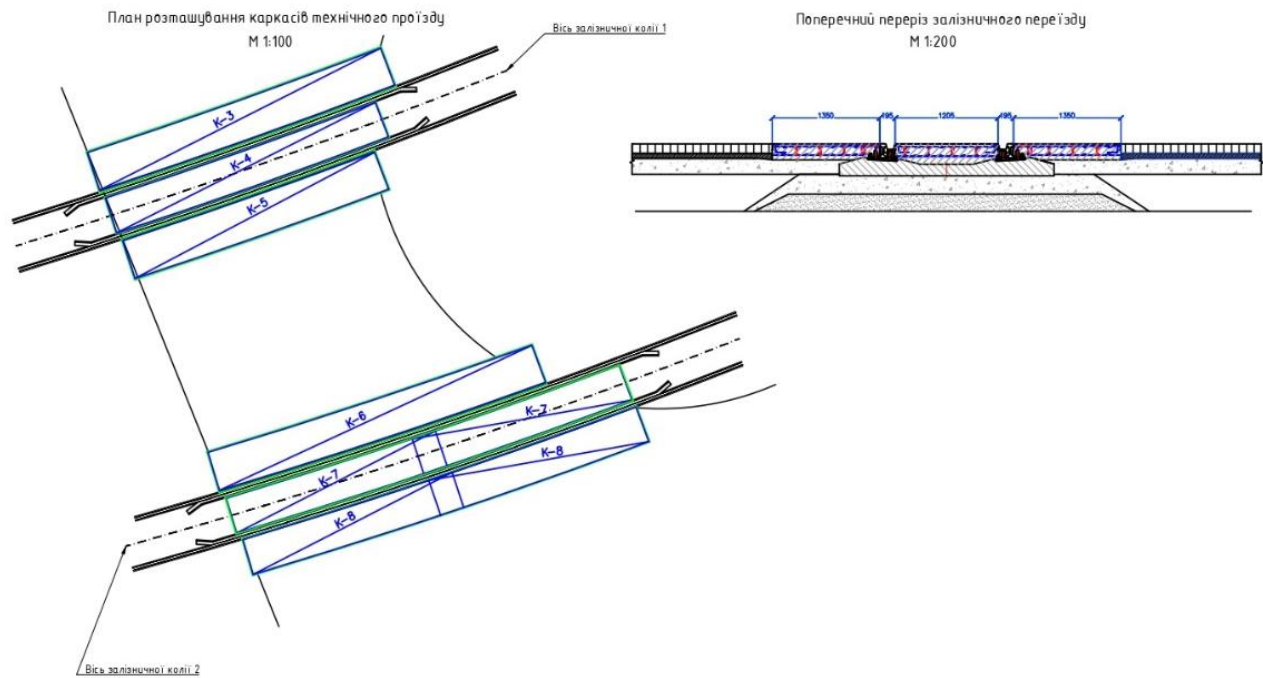


Рис. 1. План та поперечний переріз монолітної залізобетонної плити

Для розрахунку такої плити застосовано метод скінченних елементів. Він особливо ефективний для моделювання складних геометрій та фізичних систем, таких як конструкції в тому числі. Основна ідея методу полягає в тому, що складну область розбивають на менші елементи, в межах яких фізичні рівняння можна вирішувати локально. Метод активно використовується для моделювання та аналізу в будівництві, механіці матеріалів, а також при проектуванні доріг та споруд. [5]

За методом скінченних елементів з урахуванням взаємодії щелепної основи і залізобетонної плити, а також ґрунтової основи визначили зусилля в перерізах плити, після чого виконали розрахунок за ДБН [6]. Основна перевірка такого розрахунку виконується за згинальним моментом та поперечною силою. Задано бетоном марки В30, арматурою – А400С. За результатами розрахунків отримано, що для забезпечення правильної роботи переїзної плити необхідні поздовжня арматура приймається діаметром 22 мм з кроком 100 мм, поперечна арматура прийнята діаметром стрижня 14 мм з кроком 100 мм, вертикальне армування виконується арматурою діаметром 10 мм з кроком не більше 150 мм.

Кошторисна вартість такої переїзної настилі (рис.1) станом на 2020 рік становила 277,162 тис. грн. В еквіваленті до долара, по курсу на кінець 2020 року 28,27 грн. за 1 USD, становить 9804,1 USD. Вартість такого переїзду є значно вищою, в порівнянні зі звичайним переїздом. В дослідженні необхідно врахувати не тільки вартість будівництва, а й врахувати весь життєвий цикл роботи переїзних настилів і передбачити експлуатаційні ризики, до яких відносяться швидкий вихід з ладу звичайної переїзної плити через надмірне навантаження, збитки від зупинки або перешкоджання роботі мультимодального терміналу, вартість ремонтних робіт тощо. Інвестиційна та техніко-економічна ефективність влаштування такого переїзду ще потребує додаткових досліджень та розрахунків.

- [1] Kyrylova O. V., & Kyrylova, V. Y. (2024). МУЛЬТИМОДАЛЬНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ У НАЦІОНАЛЬНОМУ ЗАКОНОДАВСТВІ ТА МІЖНАРОДНОМУ КОНТЕКСТІ. Розвиток транспорту, (3(22), 106-122. <https://doi.org/10.33082/td.2024.3-22.07>
- [2] РІЧСТАКЕР HYSTER RS46. Технічні характеристики [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://hydromarket.com.ua/ua/p1499420416-richstaker-hyster-rs46.html>.
- [3] ЦП-0174 Інструкція з улаштування та експлуатації залізничних переїздів : офіц. текст : [Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 26.01.2007 №54]. – К. : Мін-во Юстиції України, 2007. – 167 с.
- [4] Лужицький О.Ф., Іванов Р.В. Дослідження ефективності влаштування тимчасових залізничних переїздів в місцях зруйнованих шляхопроводів. Тези доповідей. Логістика і транспортна безпека: Проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів і загроз [Текст]: матеріали доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції, 09 листопада 2023 р. — Дніпро: Середняк Т.К., 2023, — С. 151-155
- [5] Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., & Zhu, J. Z. (2013). The finite element method: Its basis and fundamentals (7th ed.). Butterworth-Heinemann.
- [6] ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page?id_doc=6915.

УДК 528.088.2

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ МЕТОДОМ DINSAR

ASSESSMENT OF THE ACCURACY OF DETERMINATION OF DEFORMATIONS OF THE EARTH'S SURFACE BY THE DINSAR METHOD

к.т.н., доцент С.В. Нестеренко¹

*¹Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(м. Полтава)*

PhD, Associate Professor S.V. Nesterenko¹

¹National University «Yury Kondratyuk Poltava Polytechnic» (Poltava)

Структурна схема автотранспортного процесу містить підсистеми взаємозв'язків між елементами. Підсистема «зовнішнє середовище – дорога» вивчає вплив різних чинників зовнішнього середовища на функціонування доріг та їхню довговічність [1]. В геодезії існує багато різних геодезичних методів виявлення та прогнозування деформацій автомобільних шляхів, прогнозування та попередження руйнування.

Розвиток дистанційних методів досліджень та ГІС доповнюють можливості спостережень. Супутникова радіолокація стала ефективним інструментом для відстеження стабільності інженерних споруд автодорожньої інфраструктури. Технології InSAR дозволяють визначати зміщення як і окремих стійких точок, положення яких контролюється наземними методами, так і цілих територій без виїзду на місцевість. Одним із ефективних методів визначення деформаційних процесів на ділянці є диференціальний інтерферометричний метод DInSAR [2]. Зсуви зони інтересу на космічному зображенні визначаються попіксельно між

двома радарними знімками. Різниця висот між пікселями двох зображень пропорційна інтерферометричній зміні фаз між двома спостереженнями SAR.

Побудова карт деформацій може здійснюватися відносно опорного зображення (master), початкового на загальний період вимірювання, або першого для кожної послідовної пари знімків шляхом сумування результатів. Порівняння діаграм часових серій зміщення пікселів показало ідентичність трендових ліній зміщень, але відмінність у кількісних показниках (рис. 1).

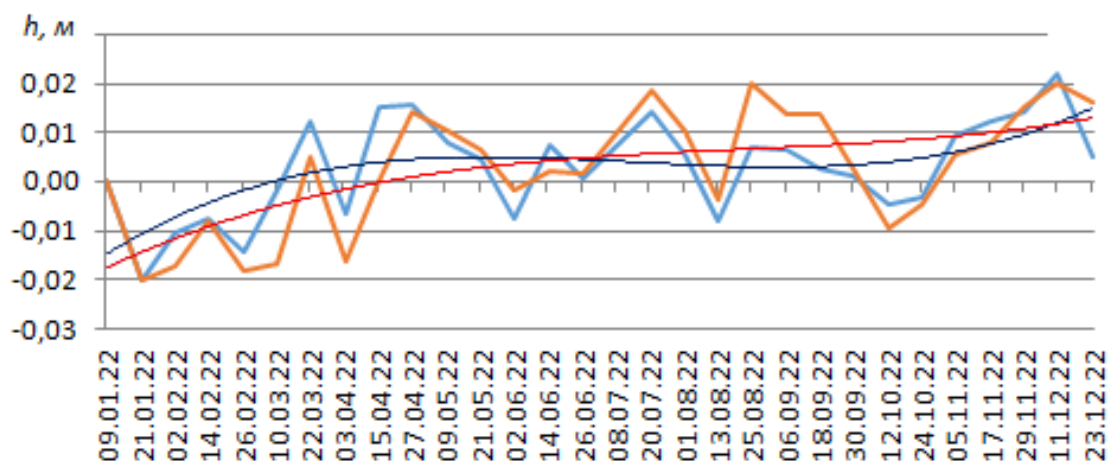


Рис. 1. Діаграма часової серії вертикального зміщення одного пікселя, визначеного методом диференціальної інтерферометрії DInSAR

Згідно графіку максимальні відхилення протягом 2022 року становлять 15 мм, що для інтерферометрії з субміліметровою точністю є дуже грубим показником.

Для визначення факторів, що впливають на точність результатів, необхідно проаналізувати алгоритмічні кроки виконання обчислень і виділити умови обробки для отримання якісних результатів.

На етапі корегістації (вирівнювання обох продуктів з субпіксельною точністю) обов'язковою умовою для якісної інтерферометричної обробки є вибір знімків з однією геометричною рамкою, треки супутників повинні співпадати. При застосуванні в корегістації Back–Geocoding порядок знімків master (опорного) – slave (порівняльного) дуже важливий, оскільки цей інструмент використовує зворотнє геокодування для перетворення координат пікселів зображення в географічні координати на основі орбітальної інформації супутника та моделі земної поверхні. Зміна порядку зображень призведе до зміни напрямку деформацій.

Якісні результати при формуванні диференціальної інтерферограми отримаємо за умови, що атмосферні, топографічні й інші шуми будуть мінімальними, тому доцільно вибирати знімки, отримані в сухий сезон із задовільними атмосферними показниками. Якщо опрацювання ряду космічних знімків відбувається відносно master-зображення, то вилучення даних за періоди з рясними опадами не вплинуть на загальний часовий ряд. Але в другому варіанті при опрацюванні сусідніх знімків неможливо відкинути непридатний матеріал, отже, помилка вимірювань буде накопичуватися.

На результати вимірювань впливає когерентність між master і slave знімками, що оцінюється як показник якості фазової інформації. Низька когерентність може бути спричинена часовими або геометричними помилками (неточності в метаданих орбіти) та помилками об'ємної декореляції (відбивні здатності об'ємних, складних структур) [3]. До того ж потрібно враховувати, що метод DInSAR передбачає дослідження не окремої точки, а пікселів, розміри яких залежать від роздільної здатності знімків.

Отже, технологія радіохвильового сканування методом диференціальної інтерферометрії DInSAR – це сучасний і дуже прогресивний спосіб моніторингу деформацій земної поверхні, в тому числі автомобільних шляхів. Дотримуючись правильності технології виконання обробки даних, диференціальну інтерферометрію можна використовувати для отримання надійних оцінок деформації.

[1] Степура В., Беятинський А., Кужель Н. 1. Основи експлуатації автомобільних доріг і аеродромів. К., 2013. 204 с.

[2] Tretyak K., Nesterenko S., Bisovetskyi Yu. Complex InSAR radar image processing, GNSS, and TPS measurements to determine the Kaniv HPP dam deformations Applied Geomatics. 2023. URL: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3426456/v1>.

[3] Braun, A., Veci, L. Sentinel-1 Toolbox. Intereferometry Tutorial. 2021. 25 s. URL: https://step.esa.int/docs/tutorials/S1TBX%20TOPSAR%20Interferometry%20with%20Sentinel-1%20Tutorial_v2.pdf.

УДК 656.2

ЩОДО ПАРАМЕТРІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ПЛАВНІСТЬ ТА БЕЗПЕКУ РУХУ В МЕЖАХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕЇЗДІВ

CONCERNING THE PARAMETERS OF THE RAILWAY TRACK THAT ENSURE THE SMOOTHNESS AND SAFETY OF TRAFFIC WITHIN RAILWAY CROSSINGS

канд. техн. наук О.М. Патласов¹, аспірант О.О.Філіп'єв²

¹Український державний університет науки і технологій (УДУНТ, Дніпро),

²Управління регіональної філії «Придніпровська залізниця» (Дніпро)

PhD (Tech.) O.M. Patlasov¹, postgraduate student O.O. Filipiev²

¹Ukrainian State University of Science and Technologies(Dnipro),

²Management of the regional branch "Prydniprovskya zaliznytsia"(Dnipro)

Технічний стан залізничної колії має безпосередній вплив на безпеку та комфорт руху. При цьому при високих швидкостях руху навіть невеликі відхилення від норм утримання залізничної колії мають вплив на комфортабельність та безпеку руху. Особливо це відчувається у кривих ділянках колії, де конструкцією передбачаються зміни в улаштуванні та утриманні колії. Але навіть при існуючих параметрах колії та рухомого складу,

які встановлені на даний час, у певних випадках не виключається можливість зростання динамічних сил взаємодії колії та рухомого складу.

Одним із таких випадків є конструкція та параметри залізничних переїздів. Так, внаслідок збільшення ширини колії до гранично допустимих значень з'являється небезпека удару неробочої частини гребеня колеса у відвід контррейки, яка вкладається у жолоб настилу переїзду, що призводить до порушення комфортабельності та безпеки руху.

Відповідно до ПТЕ [1] у прямих ділянках колії передбачена ширина між головками рейок 1520 мм. Але у кривих ділянках колії, для вільного вписування в них коліс рухомого складу, передбачається збільшувати ширину колії в залежності від радіусу кривої до 1535 мм (на залізобетонних шпалах) і до 1540 мм (на дерев'яних шпалах). При цьому, ще є допуски в утриманні колії в залежності від швидкості руху рухомого складу. Таким чином, найбільша допустима ширина колії може досягати 1548 мм.

Відповідно до ПТЕ та Інструкції з улаштування та експлуатації залізничних переїздів [2] для пересічення залізниць з автодорогами в одному рівні влаштовуються залізничні переїзди. Для забезпечення безперешкодного проходження гребнів (реборд) коліс рухомого складу залізничного транспорту в межах настилу залізничного переїзду вкладаються контррейки, спеціальні бруси, інші пристосування, при цьому відповідно до діючих нормативних документів [2] ширина жолоба влаштовується від 75 мм до 110 мм.

При утриманні ширини колії в межах максимально допустимих розмірів (1548 мм), мінімального розміру жолоба залізничного переїзду (75 мм) та експлуатації колісних пар рухомого складу з мінімально допустимими розмірами насадки (згідно ПТЕ - 1437 мм) і товщиною гребеню 25 мм є вірогідність, при настанні певних умов, що гребень колеса буде ударяти у відвід контррейки жолобу залізничного переїзду. Цей висновок стосовно удару гребня колеса у відвід контррейки жолобу залізничного переїзду можливо зробити виходячи з наступного розрахунку:

$$L_k = S_k - l_{ж},$$

де L_k – відстань між робочою гранню рейки з однієї сторони до робочої грані контррейки з іншої сторони колії, $l_{ж}$ – мінімальний розмір ширини жолоба, S_k – максимально допустимий розмір ширини колії.

Тобто,

$$L_k = 1548 - 75 = 1473 \text{ мм.}$$

Відповідні розміри колісної пари становлять

$$L_{кп} = l_{кп} + h_{гр \text{ мін}},$$

де $L_{кп}$ – відстань між робочою гранню гребня колісної пари з однієї сторони до неробочої грані гребня колісної пари з іншої сторони, $l_{кп}$ – мінімальна відстань між внутрішніми гранями гребнів коліс, $h_{гр \text{ мін}}$ – мінімальний розмір товщини гребня.

Тобто,

$$L_{кп} = 1437 + 25 = 1462 \text{ мм.}$$

Таким чином, при найбільш несприятливих умовах (розмірах, які допустимі діючими нормативними документами), відстань між робочою гранню гребеню

колісної пари з однієї сторони до неробочої грані гребеню колісної пари з іншої сторони на 11 мм менше ніж відстань між робочою гранню рейки з однієї сторони до робочої грані контррейки з іншої сторони колії. Тобто, якщо гребінь одного колеса колісної пари щільно притискається до рейки (що постійно відбувається при вписуванні у криві ділянки колії), то з іншого боку гребінь колісної пари обов'язково буде неробочою гранню ударяти у відвід контррейки з подальшим динамічним направленням колісної пари у жолоб настилу переїзду, що призведе до погіршень плавності та безпеки руху. При збільшенні швидкості руху сила такого удару буде безумовно підвищуватись, а комфортабельність погіршуватися.

Висновок – для забезпечення комфортабельності їзди пасажирів та безпеки руху в межах залізничних переїздів необхідно обмежити максимально допустиму ширину колії, для руху поїздів з встановленими швидкостями або змінити мінімальний розмір жолоба в залізничному переїзді. Допустиму швидкість поїздів пропонується обмежувати за параметром втрати кінетичної енергії.

[1] Правила технічної експлуатації залізниць України, затверджені наказом МТУ від 20.12.1996 №411, зареєстровані в МЮУ 25.02.1997 за №50/1854 зі змінами і доповненнями.

[2] Інструкція з улаштування та експлуатації залізничних переїздів ЦП-0174, затверджена наказом МТЗУ від 26.01.2007 №54, зареєстрована в МЮУ 22.02.2007 за №162/13429 зі змінами і доповненнями.

УДК 624.07

**ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ БЕТОННИХ
КОНСТРУКЦІЙ, АРМОВАНИХ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЮ
СТАЛЕВОЮ ТА КОМПОЗИТНОЮ АРМАТУРОЮ**

**COMPARATIVE STUDIES OF MODELS OF CONCRETE STRUCTURES
REINFORCED WITH PRE-TENSIONED STEEL AND COMPOSITE
REINFORCEMENT**

*д-р техн. наук А.А. Плуґін¹, д-р техн. наук С.В. Панченко,
аспірант М.А. Муриґін¹, д-р техн. наук Д.А. Плуґін¹,
ст. викладач Е.Ф.о. Наджафов², кандидат техн. наук О.В. Лобяк¹*
¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)
²Азербайджанський університет архітектури та будівництва (м. Баку)

*A.A. Plugin¹, Dr.Sc. (Tech.), S.V. Panchenko, Dr.Sc. (Tech.),
M.A. Murygin¹, postgraduate student, D.A. Plugin¹, Dr.Sc. (Tech.),
E.F.o. Najafov², Senior Lecturer, O.V. Lobyak¹, PhD (Tech.)*
¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)
²Azerbaijan University of Architecture and Construction (Baku)

Найбільш розповсюдженим типом підрейкових основ на залізницях світу є залізобетонні шпали. Через значні динамічні навантаження для них висуваються високі вимоги до міцності та тріщиностійкості, тому їх

виробляють із бетону високих класів попередньо напруженими зі сталеву стержневою або дотяною арматурою. В найбільш сучасних технологіях [1, 2] застосовується гладка арматура, а її попереднє напруження передається на бетон не по всій її довжині, а через анкерні пластини, заглиблені в бетон на торцях шпали. Судячи з матеріалів [1, 2] попереднє напруження може здійснюватись не тільки на форму, а й на бетон, який набув певної початкової міцності. Для цього застосовується гладка арматура по 4 стержні на шпалу, натяг якої здійснюється гайковертами за допомогою гайок та нарізаної на кінцях стержнів різьби і передається на бетон через анкерні пластини, петлі на протилежному торці шпали тощо. Оскільки всі ці елементи розташовані у сформованих пустотоутворювачами технологічних заглибленнях в торцях шпал, кінці арматури захищають цементно-піщаним розчином товщиною декілька десятків мм, що мінімізує участь арматури в колах струмів витоку на електрифікованих залізницях, мінімізуючи у свою чергу втрату тягових струмів та електрокорозійні процеси.

На пострадянському просторі для шпал застосовується сталеву дотяну арматура (рис. 1, а), натяг якої здійснюється на форму і передається на бетон після досягнення ним передаточної міцності. Через це на торцях шпал залишаються допущені чинними нормами випуски арматури, що призводить до участі арматури в колах струмів витоку та, відповідно, втрат тягових струмів та електрокорозійних процесів. Оскільки перехід існуючих в країні підприємств на описану вище технологію зі стержневою арматурою є надто ресурсовитратним, для існуючої технології як варіант шпал з підвищеним електричним опором і електрокорозійною стійкістю в УкрДУЗТ розроблено конструктивно-технологічне рішення з композитною арматурою (базальтоне волокно та епоксидний полімер, рис. 1, б) [3, 4].

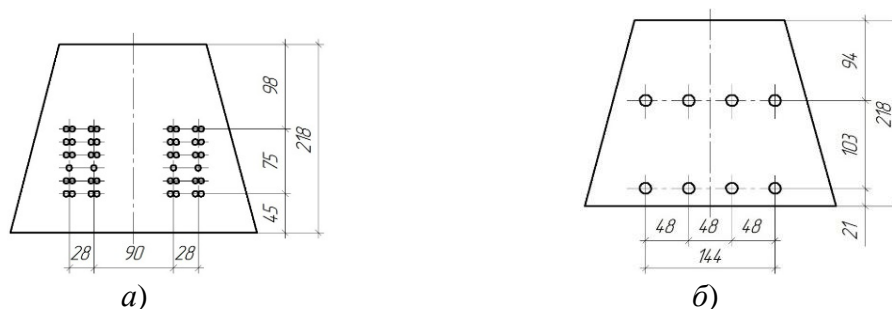


Рис. 1. Армуння в поперечному (підрейковому) перерізі шпали сталеву дотяною $44\varnothing 3$ мм (а) і композитною $8\varnothing 12$ мм (б) арматурою

Із застосуванням методу скінчених елементів та ПК ЛПА виконано аналіз напружено-деформованого стану шпал зі сталеву дотяною та композитною арматурою [3]. Показано, що на напружено-деформований стан шпали в більшому ступені впливає величина попереднього натягу арматурного пакету, в меншому ступені – вид арматури. За сили натягу пакету 353 кН максимальні стискаючі напруження у зазначених шпалах однакові – 26 МПа. Проте з композитною арматурою погіршується тріщиностійкість шпали – максимальне розтягувальне напруження у її середньому перерізі 1,1 МПа на порядок

перевищує напруження у шпалі зі сталеву арматурою 0,12 МПа, хоча й не спричиняє утворення тріщин. Зниження вдвічі натягу пакету композитної арматури обумовлює збільшення максимального розтягувального напруження до 7,1 МПа, що перевищує границю міцності бетону на розтяг та спричиняє утворення тріщин у розтягнутій зоні середнього перерізу. Отже, зниження попереднього напруження композитної арматури не призведе до руйнування бетону в стиснутих зонах, проте обумовить роботу шпал із тріщинами. Оскільки тріщини в бетоні на відзнаку від сталеві арматури не спричиняють корозію композитної арматури, була припущена допустимість зниження рівня попереднього напруження композитної арматури для шпал.

Проте скінченоелементна модель шпали достатньо складна і для композитної арматури не апробована. Тому для забезпечення достовірності результатів розрахунків за її допомогою нею необхідне експериментальне підтвердження. Для верифікації результатів розрахунків міцності, жорсткості та тріщиностійкості шпал з композитною арматурою проведено дослідження на моделях – бетонних балках, армованих двома пучками сталеву дроту або двома композитними стержнями, розташованими один – в розтягнутій зоні, другий – в стиснутій зоні (рис. 2). Для моделей було проведено розрахунок напружено-деформованого стану методом скінчених елементів та випробування навантаженням (рис. 2) з отриманням розрахункових та експериментальних залежностей «навантаження – деформація». Під час випробувань вимірювали також електричний опір моделей. Результати розрахунків та випробувань наведені на рис. 3.

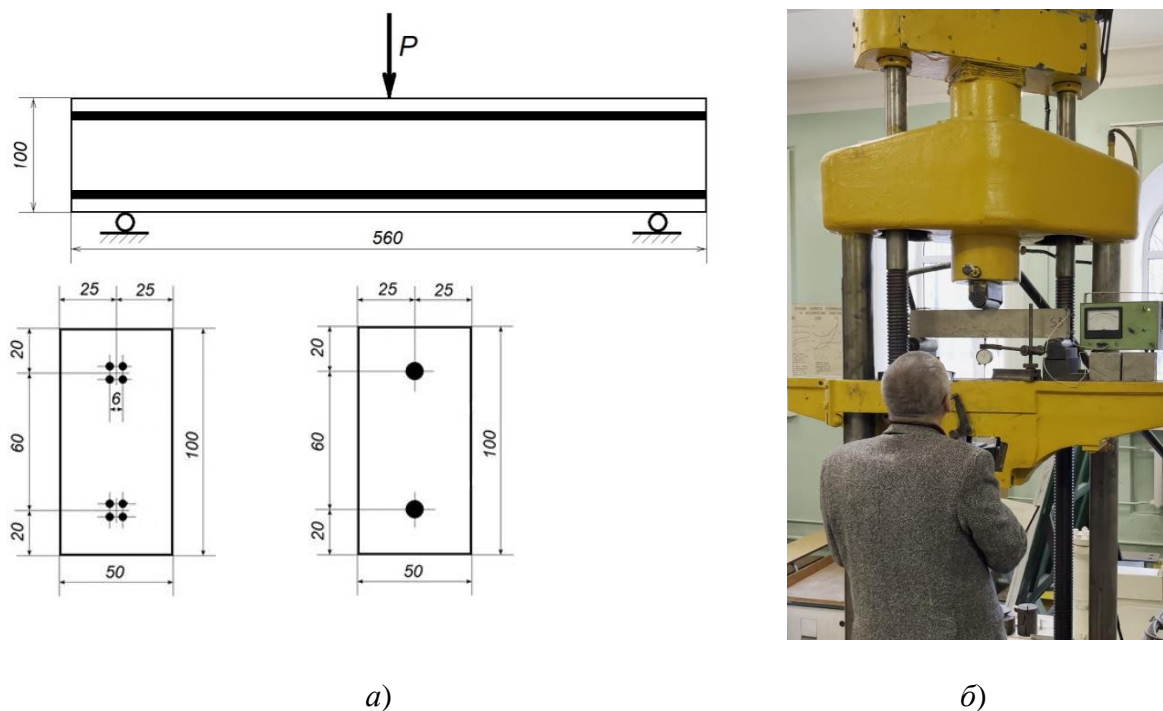


Рис. 2. Схема моделі (а) та її випробування на гідравлічному пресі (б)

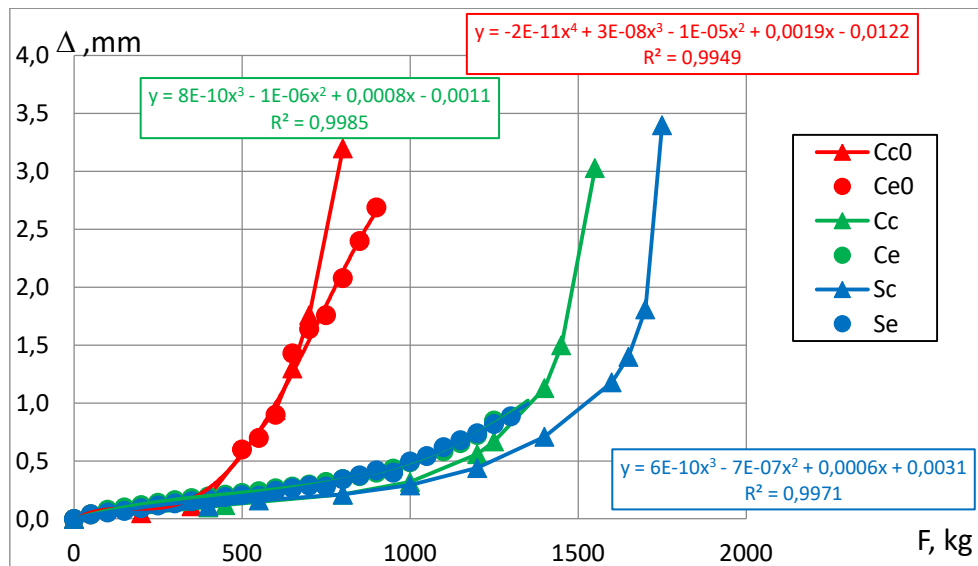


Рис. 3. Розрахункові (з індексами «с») та експериментальні (з індексами «е») залежності прогину Δ від навантаження F моделей: C_c^0 , C_e^0 – з композитною арматурою без натягу; C_c , C_e – з композитною арматурою, зусилля натягу пакета 23 кН (77,5 % від натягу сталевій арматури); S_c , S_e – зі сталевією арматурою, сила натягу пакета 29 кН

Із рис. 3 видно, що результати розрахунків та випробувань моделей з композитною арматурою добре збігаються – краще, ніж для сталевієї дротяної арматури. Отже, застосовані методи розрахунку цих шпал і результати аналізу їх НДС можна вважати достовірними. В результаті цього аналізу показано, що заміна сталевієї арматури композитною у попередньо напружених шпалах із бетону дозволить зменшити величину попереднього напруження, оптимізувати вимоги до ранньої міцності бетону, зменшити пошкоджуваність шпал в процесі експлуатації за рахунок зниження розтягувальних (у поперечному напрямку) напруг та запобігання корозії та електрокорозії арматури, підвищити електричний опір шпал.

- [1] Salcef Group. Railway Sleepers. <https://www.salcef.com/solutions/railway-materials/railway-sleepers/>
 [2] Leonhard Moll Betonwerke. Prestressed Concrete Sleepers. <https://www.moll-betonwerke.de/en/>
 [3] Andrii Plugin, Olena Kaliuzhna, Oleksii Lobiak, Dmytro Plugin, El'shad Faih Ohly Nadzhafov, Markus Lagler. Regarding the replacement of steel reinforcement in prestressed concrete sleepers with composite rebars. AIP Conf. Proc. 3064, 060003 (2024) <https://doi.org/10.1063/5.0199575>
 [4] A A Plugin, W Zhu, M A Murygin, D A Plugin and N O Murygina. New research methods of electro-corrosion processes in concrete structures. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1376 (2024) 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1376/1/012018>.

**АДАПТАЦІЯ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ СТАЛЕБЕТОННИХ
ТА МЕТАЛОІН'ЄКЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ
В НЕЛІНІЙНІЙ ПОСТАНОВЦІ**

**ADAPTATION OF THE CALCULATION MODEL OF STEEL-CONCRETE
AND METAL-INJECTION STRUCTURES IN A NONLINEAR SETTING**

*д-р техн. наук А.А. Плуґін¹, канд. екон. наук А.О. Безуглий²,
аспірант Є.А. Проказа¹, канд. техн. наук А.О. Цинка²,
канд. техн. наук Д.А. Фаст¹*

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

²Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (м. Київ)

*Dr.Sc. (Tech.) A.A. Plugin¹, PhD (Econ.) A.O. Bezuglyi²,
postgraduate student Ye.A. Prokaza¹, PhD (Tech.) A.O. Tsynka²,
PhD (Tech.) D.A. Fast¹*

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

²State enterprise "National Institute for Development Infrastructure" (Kyiv)

Штучні споуди на залізницях – мости, водопропускні труби, тунелі тощо є відповідальними об'єктами з дуже тривалими термінами експлуатації. Але впродовж експлуатації вони зазнають пошкоджень, внаслідок яких накопичується їх фізичний знос. Усунення цього зносу здійснюється шляхом відновлення втрачених експлуатаційних властивостей під час ремонтів споруд, які бажано виконувати без припинення експлуатації або з мінімально можливими термінами її призупинення. В УкрДУЗТ розроблені та успішно впроваджені нові конструктивно-технологічні рішення ремонту залізобетонних і кам'яних мостів і водопропускних труб, які дозволяють максимально зберігати існуючі конструкції, уникаючи тривалих капітальних робіт з їх заміни [1]. Ці рішення ґрунтуються на широкому застосуванні металоін'єкційних конструкцій – сорочок, обойм, які влаштовуються на пошкоджених елементах споруди шляхом улаштування сталевих оболонки на анкерах та ін'єктування в зазор між ними та пошкодженою конструкцією ремонтних композицій (рис. 1). Проте зазначені конструктивно-технологічні рішення передбачали відновлення вихідного перерізу конструкції цементною композицією, фізико-механічні характеристики якої не нижчі, ніж вихідного матеріалу конструкції. Для склепінчастих конструкцій несуча здатність сталеві оболонки не враховувалась і йшла в запас міцності навіть у разі розрахунку конструкції сучасним методом скінчених елементів. Причиною цього була складність верифікації результатів таких розрахунків.

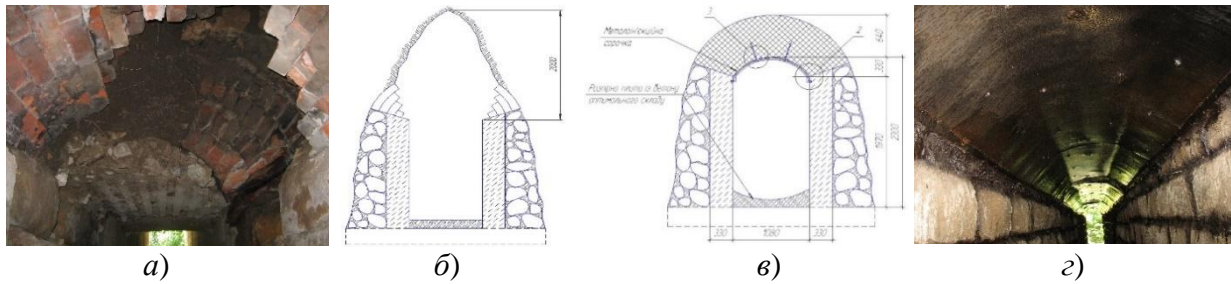


Рис. 1. Відновлення тримаючої здатності склепіння водопрпускнуї труби на ділянці Харків – Куп'янськ Південної залізниці за допомогою металоін'єкційної сорочки:
а, б – наскрізний вивал у склепінні; *в, г* – конструкція та вигляд металоін'єкційної сорочки

Метою цього дослідження є адаптація скінчено-елементної моделі склепіння з металоін'єкційною сорочкою до реальної роботи цієї конструкції для коректного застосування під час проектування. Завдання досліджень: пошук літературних джерел з експериментальними та розрахунковими даними щодо роботи аналогічних конструкцій; побудова скінчено-елементної моделі такої конструкції, розрахунковий експеримент та аналіз її напружено-деформованого стану; порівняння результатів аналізу з літературними експериментальними та розрахунковими даними.

У [2] було досліджено роботу сталобетонних арок з розрахунком їх напружено-деформованого стану методом скінчених різностей та верифікацією результатів розрахунків натурним експериментом (рис. 2). На рис. 3, а наведено діаграми радіальних переміщень арки, визначених розрахунком та експериментально. Із рис. 3, *а* видно, що результати розрахунків в цілому відповідають результатам випробувань навантаженням, причому розрахункові величини деформацій дещо перевищують експериментальні.

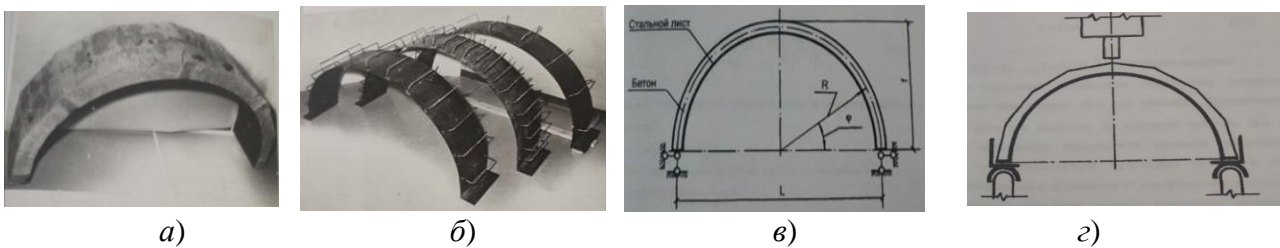


Рис. 2. Дослідження роботи сталобетонних арок [2]: *а* – натурна модель арки; *б* – сталеві листи арок з анкерними скобами з кроком 50, 100 і 150 мм; *в* – розрахункова схема; *г* – схема навантаження під час натурального експерименту

Для натурних моделей рис. 2 [2] за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР побудовано скінчено-елементні моделі (рис. 3, *б*) та виконано розрахунки їх напружено-деформованого стану в нелінійні постановці під навантаженнями, наведеними на рис. 3, *а*. За результатами розрахунків побудовано діаграми радіальних переміщень в склепінні арки, наведені на рис. 3, *б*.

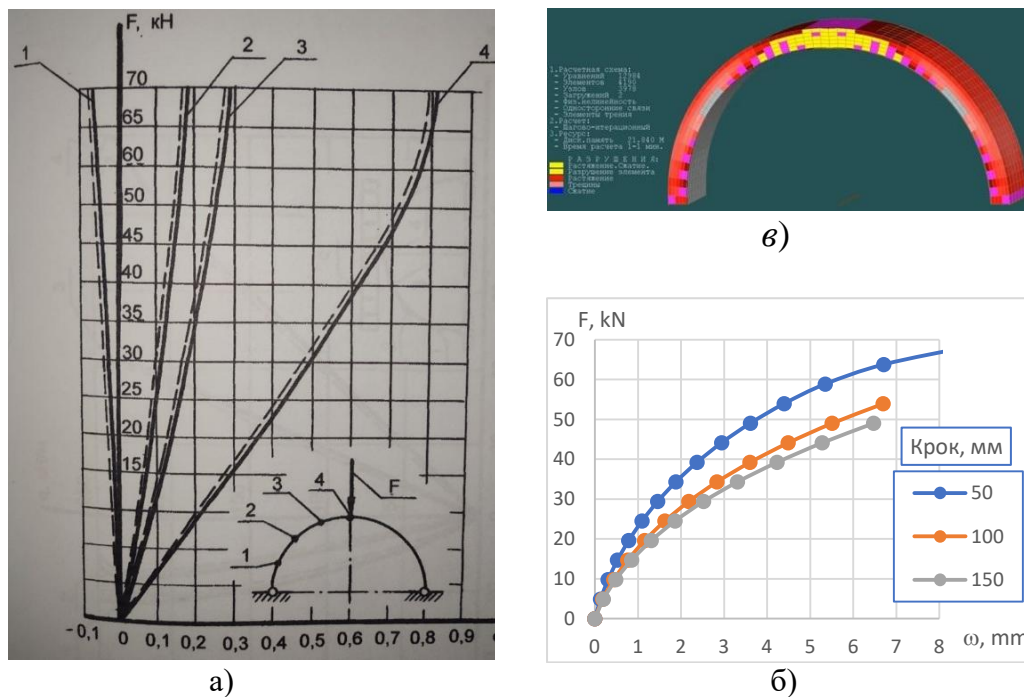


Рис. 3. Результати дослідження роботи сталобетонних арок: *а* – діаграми радіальних переміщень арки ω , визначених розрахунком методом скінчених різностей (суцільна лінія) та експериментально (штрихова лінія) [2]; *б* – зони руйнування скінченоелементної моделі; *в* – діаграми радіальних переміщень в замку ω скінченоелементної моделі арки з кроком анкерних петель 50, 100 і 150 мм

В табл. 1 наведено величини тримаючої здатності за міцністю моделей, отримані експериментально та розрахунками. Із табл.1 видно, що розрахунок методом скінчених різностей дає величини тримаючої здатності, що в середньому на 7,6 % перевищують отримані експериментально фактичні величини. Розрахунок методом скінчених елементів в нелінійній постановці дає величини тримаючої здатності, які в середньому менші на 17,5 % отриманих експериментально фактичних значень.

Таким чином, встановлено, що розрахунки методом скінчених елементів в нелінійній постановці металоін'єкційних конструкцій склепінь дають задовільну відповідність фактичним характеристикам напружено-деформованого стану. Отримані величини тримаючої здатності в середньому менші на 17,5 % фактичних значень, що необхідно враховувати під час проектування.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця тримаючої здатності моделей, отриманої експериментально та розрахунками

Крок анкерних петель моделі, мм	Тримаюча здатність (руйнівне навантаження) P та відхилення від експериментального значення Δ						
	Експериментальна величина F , кН	Розрахункові величини, отримані методом					
		скінчених різностей				скінчених елементів	
		за граничною рівновагою		за напружено-деформованим станом			
	F , кН	Δ , %	F , кН	Δ , %	F , кН	Δ , %	
50	70	72	+2,8	74	+7,0	69	-1,4
100	71	72	0	74	+4,1	54	-24,7
150	66	72	+7,4	74	+11,8	49	-26,4
Сер.			+3,4		+7,6		-17,5

[1] Плуґін А.А., Мірошніченко С.В., Калінін О.А., Никитинський А.В., Лютий В.А., Афанасьєв О.В. Нові конструктивно-технологічні рішення ремонту залізобетонних і кам'яних мостів і водопропускних труб: Досвід експлуатації після ремонту. Українська залізниця, 6 (60) (2018) 19–24.

[2] Молдавська Т.А. Напружено-деформований і граничний стан сталобетонних склепінь. Дис... к.т.н., 05.23.01, 1997, ХарДАЗТ, Харків.

УДК 691:624.07

НОВИЙ КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО БЕЗБАЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА ЗАЛІЗНИЧНИХ МОСТІВ

NEW COMPOSITE MATERIAL FOR REINFORCED CONCRETE BALLASTLESS BRIDGE DECK OF RAILWAY BRIDGES

д-р техн. наук А.А. Плуґін¹, канд. техн. наук Ю.Л. Тулей², аспірантка Н.О. Муригіна¹, канд. техн. наук О.А. Плуґін¹, аспірант М.А. Муригін¹, аспірант С.М. Мусяєнко¹

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)
²АТ «Укрзалізниця»

Dr. Sc. (Tech.) A.A. Plugin¹, PhD (Tech.) Yu.L. Tulei², postgraduate student N.O. Murygina¹, PhD (Tech.) O.A. Pluhin¹, postgraduate student M.A. Murygin¹, postgraduate student S.M. Musienko¹

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)
²JSC "Ukrzaliznytsia"

На більшості металевих залізничних мостів підрейковою основою є залізобетонні плити безбаластного мостового полотна. Плити укладаються на подовжні металеві балки прогонових будов. Між ними для вирівнювання основи і рівномірного розподілу навантаження укладається гумодерев'яний

прокладний шар із деревини твердих порід і армованої гуми (рис. 1, а). Він зручно укладається, а його фізико-механічні характеристики забезпечують рівномірний розподіл навантаження та мінімізацію напружень в плитах [1]. На жаль через попереми́нне зволоження-висушування та біопошкодження деревини такий прокладний шар характеризується невеликою довговічністю і вимагає заміни набагато раніше планової заміни плит.

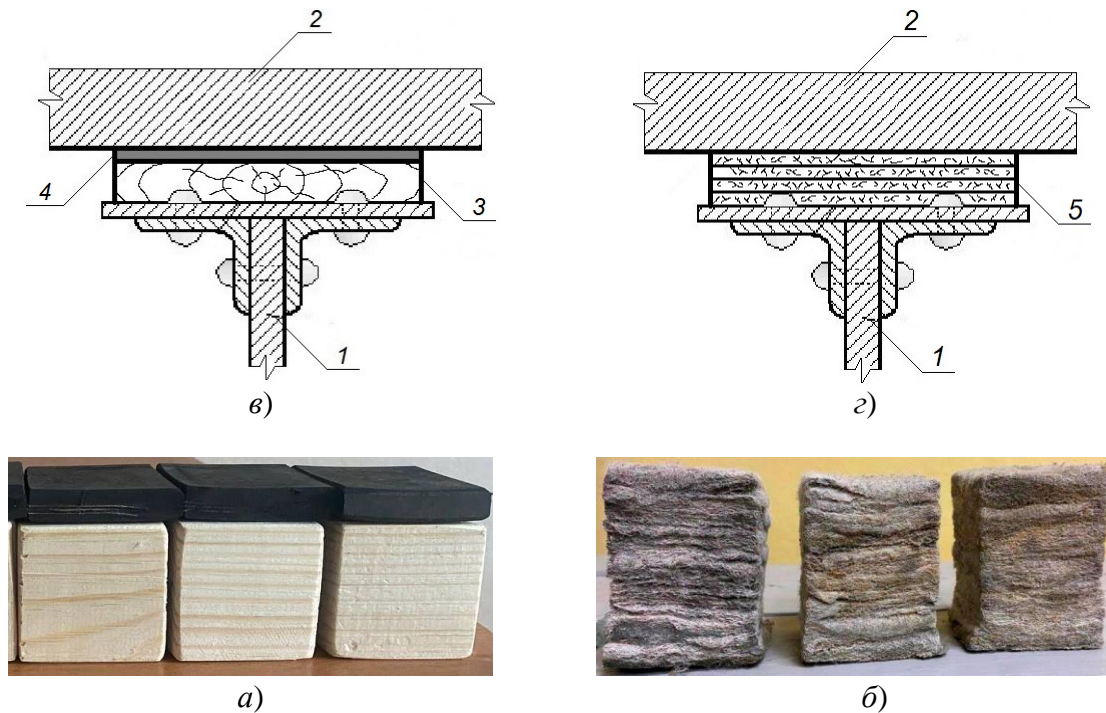


Рис. 1. Прокладний шар між сталеву мостову балкою і залізобетонною плитою: а, б – схеми конструкції; в, г – лабораторні зразки гумодерев'яного (а, в) і композиційного (б, г) прокладного шару: 1 – сталева мостова балка; 2 – залізобетонна плита; 3 – дерев'яна дошка; 4 – армована гума; 5 – шари композиційного матеріалу

В УкрДУЗТ розроблено рулонний композиційний матеріал [2] і конструктивно-технологічне рішення прокладного шару із нього [3] (рис. 1, б). Рулони виготовляються із нетканого матеріалу об'ємної структури НМОС із анізотрично орієнтованих поліефірних волокон та мінеральної суміші цементу та піску. За необхідності в суміш додаються добавки – прискорювачі твердіння, інгібітори корозії. Послідовність улаштування прокладного шару із цього матеріалу така. Композиційний матеріал виготовляють у вигляді рулонів із НМОС, насиченого мінеральною сумішшю шляхом насипання. На очищену верхню полицю балок укладають локальні опори, товщина яких відповідає проектній товщині прокладного шару. Рулони занурюють у воду, після чого в декілька шарів розкочують по верхній полиці балок загальною товщиною, більшою проектної товщини прокладного шару. На локальні опори укладають плити, які своєю вагою ущільнюють матеріал, який внаслідок твердіння цементу набуває потрібних фізико-механічних властивостей.

У [1] показано, що фізико-механічні властивості прокладного шару впливають на напружено-деформований стан плит, у т.ч. можуть сприяти утворенню в них тріщин. Міцність прокладного шару на стиск f з урахуванням

технології укладання плит має складати через 1 добу не менше 1 МПа, через 2 доби – 5 МПа. Рекомендовано модуль деформації прокладного шару E не менше 10000 МПа, проте із наведених у [1] діаграм видно, що на напруження в плитах E впливає несуттєво, а напруження в самому прокладному шарі зі зниженням E від 35000 до 2000 МПа навіть зменшуються у 1,5 – 1,8 раз. Отже, для композиційного матеріалу доцільно забезпечити E , близький до інтегрального модуля деформації гумодерев'яного прокладного шару, який залишався недослідженим.

Виконано експериментальні дослідження міцності f та інтегрального модуля деформації E гумодерев'яного прокладного шару за зразками рис. 1, в. Зразки за рахунок гуми зазнавали значних деформацій і раптово крихко руйнувались. Встановлено, що для деревини сосни f і E складають 58 і 5,5 МПа, дубу – 144 і 7,9 МПа.

Досліджено фізико-механічні властивості композиційного прокладного шару за зразками рис. 1, г. Отримано діаграми деформування на стиск композиційного матеріалу $\varepsilon = f(\sigma)$ та $\sigma = f(\varepsilon)$ з різними товщиною НМОС (10 і 20 мм), співвідношеннями заповнювача та цементу П:Ц (від 0 до 2), витратами мінеральної суміші на одиницю об'єму НМОС М:НМ (від 167 до 1000 кг/м³). Стискаюче напруження доводили до 39 МПа. Явного руйнування композиційного матеріалу з порушенням цілісності структури не спостерігалось – він поступово деформувався. У зразках з більшим вмістом мінеральної суміші спостерігалась неявно виражена площадка текучості. За міцність на стиск прийнято початок площадки текучості або місце, з якого нахил кривої $\sigma = f(\varepsilon)$ починав явно зменшуватись. E визначено для напруження 5 МПа (максимального напруження в прокладному шарі під час експлуатації). Встановлено, що значення f та E збільшуються зі зменшенням товщини НМОС, зменшенням відношення вмісту піску до вмісту цементу, збільшенням витрати мінеральної суміші на об'єм НМОС. Побудовано діаграми залежності f і E від П:Ц і М:НМ. У досліджених складів композиційного матеріалу f сягнуло 23 МПа, E – 163 МПа. Отримано рівняння регресії, розв'язання яких дозволило рекомендувати склад композиційного матеріалу, що забезпечить $E = 144$ МПа – П:Ц = 0,11, М:НМ = 1000 кг/м³ за товщини НМОС 10 мм.

Таким чином визначено величини модуля деформації E гумодерев'яного прокладного шару, які склали для сосни 58 МПа, для дубу – 144 МПа. Досліджено залежності E та міцності на стиск f прокладного шару із розробленого рулонного композиційного матеріалу від його складу – співвідношення в мінеральній суміші вмісту піску і цементу П:Ц, витрати мінеральної суміші на одиницю об'єму НМОС М:НМ за різної товщини НМОС. Рекомендовано склад композиційного матеріалу для прокладного шару, який забезпечує $E = 144$ МПа.

[1] Plugin, A., Murygina, N., Mirosnichenko, S., Kaliuzhna, O. (2023). Materials for Connecting Railway Reinforced Concrete Bridge Deck with Steel Bridge Structures. In: Blikharsky, Z. (eds) Proceedings of EcoComfort 2022. EcoComfort 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 290. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_32

[2] Плуґін А.А., Муриґіна Н.О., Малішевська А.С., Плуґін Д.А., Муриґін М.А. Розроблення та дослідження композиційного матеріалу для прокладного шару безбаластного мостового полотна. Збірник наукових праць

[3] Пат. на кор. модель 153601 UA Спосіб улаштування прокладного шару між сталевими балками залізничного мосту і залізобетонними плитами безбаластного мостового полотна. А.А.Плугін, Н.О.Муригіна, С.В.Мірошніченко, Т.О.Костюк, С.В.Панченко, Г.Л.Ватуля, Д.О.Плугін, О.А.Калінін, О.А.Плугін, О.В.Лобяк, А.В.Муригін, О.А.Дудін. УкрДУЗТ. Заявл.19.12.2022, заявка № u 2022 04806, опубл.26.07.2023, бюл.№30.

УДК 625.143

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО РЕЙОК ЗГІДНО ДСТУ EN 13674-1:2018

BASIC REQUIREMENTS FOR RAILS ACCORDING TO DSTU EN 13674-1:2018

*канд. техн. наук, Д.О. Потапов¹, канд. техн. наук, В.Г. Вітольберг¹,
канд. техн. наук, А.С. Малішевська¹, аспірант, С.В. Винниченко¹*
¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*D. O. Potapov¹, PhD (Tech.), V. G. Vitolberg¹, PhD (Tech.),
A.S. Malishevskaya¹, PhD (Tech.), S.V. Vinichenko¹*
¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

З метою гармонізації законодавства України з нормативною базою країн Європейського Союзу наприкінці 2018 року в нашій країні в якості національного стандарту прийнято ДСТУ EN 13674-1:2018 «Залізничний транспорт. Колія. Залізниця. Частина 1. Залізничні рейки Вігноле 46 кг/м та понад». Не зважаючи на те, що переважна кількість вимог, яким повинні відповідати нові рейки, згідно до цього документу аналогічна вимогам діючого вітчизняного стандарту ДСТУ 4344:2004 «Рейки звичайні для залізниць широкої колії», є ряд відмінностей. Вимоги до ряду процедур кваліфікаційних випробувань та критеріїв більш деталізовані, а деякі – взагалі відсутні у ДСТУ 4344:2004.

До одного з таких показників можна віднести контроль за тріщиностійкістю та темпами зростання втомлювальних тріщин. Для цього використовується стандартний метод випробувань для визначення площинного напруження на тріщиностійкість (K_{Ic}) рейок, яке має відповідати значенням табл. 1.

Таблиця 1 – Мінімальні одиничні і мінімальні середні значення K_{Ic}

Марка сталі	Мінімальне одиничне значення K_{Ic} (МПа м ^{1/2})	Мінімальне середнє значення K_{Ic} (МПа м ^{1/2})
R200 і R220	30	35
R260 і R260Mn	26	29
R320Cr	24	26
R350HT	30	32
R350LHT, R370CrHT, R400HT	26	29

Товщина всіх випробувальних зразків повинна складати 25 мм. Для будь-якого поперечного профілю головки рейки ширина випробувального зразка повинна бути максимально досяжною з наступних розмірів: 40 мм, 45-мм або 50 мм. На кожному зразку має бути проведено не менше 5 випробувань.

Втомне попереднє розтріскування повинно здійснюватися в діапазоні температур від + 15 °С до + 25 °С з використанням коефіцієнта напруги в діапазоні $> 0 < + 0,1$. Втомне попереднє розтріскування повинно здійснюватися з циклічною частотою в діапазоні від 15 Гц до 120 Гц. Кінцеве відношення довжини тріщини до ширини випробувального зразка повинно знаходитися в діапазоні від 0,45 до 0,55, а протягом останніх 1,25 мм зростання тріщини K_{\max} повинно знаходитися в діапазоні від 18 МПа м^{1/2} до 22 МПа м^{1/2}.

Зразок для випробування на вигин з однією кромкою повинен бути навантажений під контролем зміщення з використанням триточкового вигину з навантажувальним проміжком, рівним чотириразової ширині зразка. Випробування проводяться при випробувальній температурі $-20 \text{ °С} \pm 2 \text{ °С}$. Температура випробувального зразка вимірюється за допомогою безконтактної термомпари, привареної до випробувального зразку.

Темпи зростання втомної тріщини (м/ГС) не повинна перевищувати значень, наведених в Таблиці 2.

Таблиця 2 – Темпи зростання втомних тріщин

Марки сталі	$\Delta K = 10 \text{ МПа м}^{1/2}$	$\Delta K = 13,5 \text{ МПа м}^{1/2}$
Всі марки, крім R200 і R320Cr	17 м/ГС	55 м/ГС

Така детально прописана процедура контролю без сумніву дозволяє отримувати рейки з більшим рівнем експлуатаційної надійності, виходячи з механізму появи та розвитку дефектів контактної-втомлювального походження.

[1] ДСТУ EN 13674-1:2018 (EN 13674-1:2011+A1:2017, IDT) «Залізничний транспорт. Колія. Залізниця. Частина 1. Залізничні рейки Вігноле 46 кг/м та понад». Наказ від 18.12.2018 № 501.

[2] ДСТУ 4344:2004 «Рейки звичайні для залізниць широкої колії». Наказ від 20.09.2004 № 203.

ВПЛИВ ПРЯМОЛІНІЙНОСТІ РЕЙОК НА РІВЕНЬ СИЛ ВЗАЄМОДІЇ КОЛІЇ ТА РУХОМОГО СКЛАДУ

THE INFLUENCE OF RAIL STRAIGHTNESS ON THE LEVEL OF INTERACTION FORCES BETWEEN THE RAILWAY TRACK AND ROLLING STOCK

*канд. техн. наук, Д.О. Потапов¹, канд. техн. наук, В.Г. Вітольберг¹,
аспірант, О.А. Фоменко¹, аспірант А.С. Лукашенко¹*

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*D.O. Potapov¹, PhD (Tech.), V.G. Vitolberg¹, PhD (Tech.),
O.A. Fomenko¹, A.S. Lukashenko¹*

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

До одного з факторів, який має вплив на процеси взаємодії колії та рухомого складу, можна віднести наявність відхилень від прямолінійності рейок у вертикальній площині.

Основні вимоги до рейок вітчизняного виробництва наведені в ДСТУ 4344:2004 [1]. Зокрема в ньому зазначається, що поодинокі місцеві деформації по всій довжині рейки на довжині 1,5 м не мають перевищувати 0,3 мм для рейок вищої категорії і 0,6 мм для рейок I, II, та III категорій. Крім того, кривизна кінців у горизонтальній та вертикальних площинах під час вимірювання стріли угину на довжині 1,5 м має відповідати значенням табл. 1.

Таблиця 1 – Допустима кривизна кінців рейок згідно ДСТУ 4344:2004

Напрямок кривизни	Кривизна рейок, категорій			
	Вищої	I	II	III
Вгору (по хорді)	0,5	0,7	0,8	0,7
Вниз (по дотичній)	не допускається	0,2	0,2	0,2
Горизонтально (по хорді)	0,5	0,7	1,0	0,7

Поряд з цим наприкінці 2018 року в нашій країні в якості національного стандарту прийнято ДСТУ EN 13674-1:2018 [2], в якому теж наведено вимоги, що стосуються прямолінійності поверхні кочення рейок. Проведений аналіз показав, що вимоги за цим параметром більш жорсткі і диференційовані у порівнянні з ДСТУ 4344:2004.

Для встановлення впливу прямолінійності рейок, на підставі вимог ДСТУ 4344:2004 та ДСТУ EN 13674-1:2018, було сформовано вихідні дані (виходячи з найнесприятливіших поєднань) для розрахунків у програмній системі «Mathcad» з визначення параметрів динамічних процесів взаємодії колії та рухомого складу, зокрема при змінних параметрах жорсткості підрейкової

основи та величин початкових нерівностей на поверхні кочення рейок для умов магістральних колій регіональних філій АТ «Укрзалізниця».

В якості розрахункової математичної моделі було використано схему колії у вигляді балок-рейок, які спираються на пружно-дисипативні опори-шпали з нелінійними характеристиками [3-5].

Не зважаючи на те, що ця модель призначена для експлуатаційних умов колій незагального користування, виходячи з особливостей характеристик спеціального і спеціалізованого рухомого складу, але сам метод по визначенню просторових пружно-динамічних характеристик дискретних рейкових опор із подальшим виходом на оцінку загального напруженого стану елементів залізничної колії (із використанням методу скінченних елементів) може бути використаний і для умов магістральних залізниць.

Як вихідні дані було використано технічні характеристики рухомого складу, який призначений для швидкостей руху до 160 км/год. Діапазон швидкостей складав 100-160 км/год.

За результатами проведених багатоваріантних розрахунків вертикальних сил із урахуванням величини початкових геометричних нерівностей на поверхні кочення можна констатувати збільшення рівня вертикальних сил на 5-9 % для рейок виготовлених згідно до ДСТУ 4344:2004.

На нашу думку, при швидкостях руху понад 200 км/год вплив величини початкових геометричних нерівностей на сили взаємодії рухомого складу та колії більш суттєвим.

[1] ДСТУ 4344:2004 «Рейки звичайні для залізниць широкої колії». Наказ від 20.09.2004 № 203.

[2] ДСТУ EN 13674-1:2018 (EN 13674-1:2011+A1:2017, IDT) «Залізничний транспорт. Колія. Залізниця. Частина 1. Залізничні рейки Вігноле 46 кг/м та понад». Наказ від 18.12.2018 № 501.

[3]. Даренський, О. М. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи залізничних колій промислового транспорту [Текст] : монографія / О. М. Даренський. – Харків : УкрДАЗТ, 2011. – 204 с.

[4]. Darenkiy, A. Results of researches by the numeral methods of vertical influences on the way of carriages of industrial transport at the railroad ties SB 3-0 [Text] / A. Darenkiy, V. Vitolberg // ТЕКА – Vol.12. – №4. – P. 36-40.

[5] Alexander Darenkiy A mathematical model of the rail track presented as a bar on elastic and dissipative supports under the influence of moving loads / Alexander Darenkiy, Volodymyr Vitolberg, Denis Fast, Andrii Klymenko, Yaroslav Leibuk// MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2017. – 116.

**МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ БЕЗПЕКИ
ЕЛЕМЕНТІВ ЗУПИНКОВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТА**

**METHODOLOGY FOR COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF SAFETY
PARAMETERS OF URBAN STOPPING INFRASTRUCTURE ELEMENTS**

*д-р. техн. наук С.І. Пустюльга¹, канд. техн. наук В.П. Самчук¹,
канд. техн. наук В.М. Придюк¹, канд. техн. наук О.П. Шимчук¹,
канд. техн. наук Д.Я. Кислюк¹*

¹Луцький національний технічний університет (м. Луцьк)

*S.I. Pustiulha¹, Dr.Sc. (Tech.), V.P. Samchuk¹, PhD (Tech.), V.M. Prydiuk¹ PhD
(Tech.), O.P. Shymchuk¹ PhD (Tech.), D.Ya. Kyslyuk¹ PhD (Tech.)*
¹Lutsk Nation Technical University (Lutsk)

Громадський транспорт – ключовий елемент інфраструктури будь-якого міста, а його доступність і комфорт – важливі показники якості життя населення [1]. Проте, внаслідок інколи занедбаного стану пішохідної і транспортної інфраструктури, особливо в околі зупинкових майданчиків для громадського транспорту, пасажирів відчувають щоденний стрес і стикаються із небезпекою. До чинників ризику при цьому можна віднести такі:

– недостатньо розвинена інфраструктура пішохідних переходів біля зупинок – зручність переходів, світлофори для пішоходів і т. і. Тобто, при щільному транспортному потоці, пішоходи по дорозі до зупинок інколи повинні перетинати дорогу на свій страх і ризик;

– існуючі пішохідні переходи погано оснащені необхідними знаками, що робить їх небезпечними для пішоходів;

– відсутня або занедбана дорожня розмітка в околі зупинок міського громадського транспорту. Незадовільний стан розмітки часто є ключовою проблемою для забезпечення оптимальних умов безпеки як пішоходів, так і безпечного руху транспортних засобів біля зупинок;

– зупинкові майданчики для маршрутних автобусів та тролейбусів часто організовані із порушенням галузевих норм, через це громадський транспорт змушений зупинятися далеко від зупинкового бордюру, що змушує пасажирів здійснювати небезпечну посадку і висадку безпосередньо на проїзній частині;

– відсутні або не відповідають галузевим нормам посадкові майданчики та автопавільйони на зупинках;

– відсутні спеціалізовані безпекові огороження в околі зупинок і т. і.

Виходячи з вищезазначеного, актуальним є завдання покращення умов безпеки для пішоходів (пасажирів) на зупинкових пунктах [2], а також для водіїв транспортних засобів, що рухаються поблизу. Ризик ДТП навколо таких об'єктів є соціально значимим, наслідки можуть бути особливо тяжкими, а

ймовірність їх настання – досить високою [3]. Проте, як показав огляд літературних джерел, на даний час не існує ефективною та простою методикою, за допомогою якої можна було б проаналізувати стан міських зупинкових пунктів, оцінити рівень показників безпеки на зупинках громадського транспорту та навколо них і окреслити оптимальні шляхи удосконалення безпекових параметрів вже існуючої інфраструктури.

Для оцінки безпечності зупинкових пунктів міського громадського пасажирського транспорту проаналізовано діючі нормативні вимоги до їх облаштування й функціонування та виокремлено 18 основних критеріїв, які дозволяють ідентифікувати міські зупинки за трьома категоріями безпеки.

Комплексну оцінку безпечності міського зупинкового пункту громадського пасажирського транспорту запропоновано проводити як за згрупованими у певні шари окремими критеріями, так і за сумарним показником, який обчислюється за допомогою виразу:

$$K_B = \frac{\alpha_1 \cdot K_1 + \alpha_2 \cdot K_2 + \alpha_3 \cdot K_3 \dots + \alpha_n \cdot K_n}{n},$$

де K_n – відповідний критерій безпечності зупинкової інфраструктури;

α_n – показник важливості впливу кожного із критеріїв на комплексну оцінку безпечності зупинкового майданчика, що призначається експертами, виходячи із поставлених завдань;

n – кількість критеріїв, прийнятих для оцінки безпечності зупинкової інфраструктури.

Виходячи із прийнятих категорій безпеки: $K_B = 0,9 \dots 1$ – зупинковий пункт низької небезпеки; $K_B = 0,6 \dots 0,8$ – зупинковий пункт підвищеної небезпеки; $K_B = 0 \dots 0,5$ – зупинковий пункт особливої небезпеки, формується оцінка ризиків досліджуваного зупинкового майданчика, після чого приймається рішення щодо методів та шляхів покращення окремих показників безпечності. Зупинки особливої небезпеки потребують негайної реконструкції і усунення всіх порушень вимог безпеки. Зупинки підвищеної небезпеки є пріоритетними для переобладнання чи реконструкції.

Для оптимальної реалізації методики оцінки безпеки інфраструктури зупинок громадського транспорту запропоновано та реалізовано піксельну багатопланову модель, яка базується на визначенні міри впливу геометричних параметрів окремих їх конструктивних елементів на ризик виникнення ДТП.

Запропонована методика комплексної оцінки рівня безпеки вулично-дорожньої мережі в околі зупинкового пункту на основі багатопланової піксельної моделі забезпечує оптимальне планування та проектування реконструкції зупинок. Раціонально сплановане переобладнання з урахуванням економічності та безпеки значно підвищить ефективність функціонування зупинки, покращить якість обслуговування пасажирів і забезпечить стабільність та безпеку руху транспортних засобів поблизу.

[1] Elhamy M. Improvement of Road Layout and Safety in an Urban Environment: Towards a Pedestrian-Friendly Street Corniche of Alexandria as a Case Study // International Journal of Transportation Science and Technology. 2012. Т. 1. № 4. С. 335–350.

[2] Lakhota S. и др. Pedestrian accessibility and safety around bus stops in Delhi // IATSS Research. 2020. Т. 44. № 1. С. 55–66.

[3] Mukherjee D., Rao K. R., Tiwari G. Built-environment risk assessment for pedestrians near bus-stops: a case study in Delhi. International Journal of Injury Control and Safety Promotion. 2023. Вип. 30, № 2. С. 185–194.

УДК 69.002.5:62-97/98

ФОРМУВАННЯ ПАРКІВ МАШИН З УМОВИ МІНІМАЛЬНХ ВИТРАТАМИ ПАЛИВА ПРИ БУДІВНИЦТВІ ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ

FORMATION OF FLEETS OF MACHINES WITH MINIMAL FUEL CONSUMPTION IN THE CONSTRUCTION OF COMMUNICATION ROUTES

*докт. техн. наук М.П. Ремарчук¹, канд. техн. наук Я.В. Чмуз¹,
О.О. Галицький¹, О.В. Кебко¹*

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

*M.P. Remarchuk¹, DhD (Tech.,) Ya.V. Chmuzh¹, PhD (Tech.),
O.O. Halytskyi¹, O.V. Kebko¹*

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Будівництво шляхів сполучення, на початковій стадії підготовки робочої зони, потребує виконання значних об'ємів земляних робіт. Для проведення таких робіт широко використовуються бульдозери, екскаватори, автогрейдери та інші землерийні машини (ЗМ) [1, 2]. Використання таких машин при будівництві потребує значних матеріальних ресурсів. Вони складаються із витрат на паливо, оплату праці машиніста та інші. На даний час, виробниками ЗМ запроваджено досить широкий масив машин, призначених для виконання земляних робіт. Формування парку таких машин із масиву відомих на перший погляд, не визиває складності. Дослідним шляхом встановлено, що на основі такого вибору ефективних ЗМ не гарантує прийняття правильного рішення і тому він потребує свого подальшого удосконалення.

Вибір найкращих ЗМ масиву однорідних машин забезпечується на основі знання величини показників ефективності їх роботи за рахунок використання їх функціональних параметрів відомих із довідкової літератури [1, 2].

При умові формування парку із однорідних або різнотипних ЗМ процес визначення величини економії палива в процесі роботи таких машин теж базується на знаннях витрат палива при одночасній роботі вказаних машин і відповідної кількості зразкових однорідних або різнорідних машин.

Так, для визначення величини економії палива для кожної із ЗМ [3], відносно зразкового, приймемо умову, згідно якої об'єм земляних робіт, що виконуватиметься кожною із ЗМ для одного із них об'єм його роботи приймемо на рівні однієї години роботи. На підставі такої умови створюється можливість

для визначення тривалості в часі при виконання заданого об'єму роботи кожною із ЗМ на базі своїх технічних можливостей відносно власної продуктивності.

Величина витрат палива G_{zj} (кг), для кожної ЗМ, яка необхідна для виконання ними однакового об'єму роботи, можна визначити формулою

$$G_{zj} = t_j \cdot G_{nj}, \quad (1)$$

де t_j – тривалість часу для виконання заданого об'єму роботи кожної із машин на підставі відомої продуктивності, год.;

G_{nj} – витрати палива ДВЗ в якості джерела енергії за один час роботи конкретної ЗМ в умовах експлуатації, кг/год.

При визначенні величини витрат палива, згідно формули (1) визначимо із ЗМ з мінімальними витратами палива. умовно в якості зразкової. Для такої машини витрати палива складають мінімальну величину яку позначимо G_{kon} .

Тоді величини витрат палива у порівнянні із витратами палива для зразкової представити як величину економії палива ΔQ_j (кг) і визначити її згідно залежності

$$\Delta G_{kj} = G_{zj} - G_{kon}. \quad (2)$$

Результати дослідження направлені на виявлення із масиву ЗМ однієї із них в якості найбільш ефективного з точки зору мінімальних витрат палива при виконанні однакового об'єму роботи і з врахуванням терміну роботи.

Визначити величину економії палива E_v (кг.) для масиву із чотирьох машин при виконанні ними земляних робіт об'ємом V в 1 м^3 за наступною формулою

$$E_v = ((k_{j1m} + k_{j2m} + k_{j3m} + k_{j4m}) - (k_{j1} + k_{j2} + k_{j3} + k_{j4})) \cdot V, \quad (3)$$

де $k_{j1m}, k_{j2m}, k_{j3m}, k_{j4m}$ – однорідні ЗМ з величиною питомих витрат палива вибраних на підставі мінімальних величин загального ККД, кг/м³;

$k_{j1}, k_{j2}, k_{j3}, k_{j4}$ – однорідні ЗМ з величиною питомих витрат палива вибраних на підставі максимальних величин загального ККД, кг/м³.

Визначити величину зменшення втрат палива для масиву із чотирьох машин Q_m (кг.) при виконанні ними земляних робіт у продовж 1 години роботи, тобто t (год.) за наступною формулою

$$Q_m = (\Delta q_{j1m} + \Delta q_{j2m} + \Delta q_{j3m} + \Delta q_{j4m}) - (\Delta q_{j1} + \Delta q_{j2} + \Delta q_{j3} + \Delta q_{j4}) \cdot t, \quad (4)$$

де $\Delta q_{j1m}, \Delta q_{j2m}, \Delta q_{j3m}, \Delta q_{j4m}$ – однорідні ЗМ вибрані за витратами палива згідно мінімальних величин загального ККД, кг/год.;

$\Delta q_{j1}, \Delta q_{j2}, \Delta q_{j3}, \Delta q_{j4}$ – однорідні ЗМ вибрані за витратами палива згідно максимальних величин ККД, кг/год.

На основі даного методу можна визначити найбільш ефективну машину із масиву різних однорідних машин для земляних робіт. При виявленні найбільш ефективних машин, за даним методом, можна формувати масив із високоефективних машин для виконання заданого об'єму земляних робіт.

[1] Дерев'яно С.М., Лисіков Є.М., Булига В.В. Комплексна механізація будівництва автомобільних шляхів: навч. посіб.. Харків: ІСДО, 1996. 223 с.

[2] Демішкан В.Ф., Нічке В.В. Підвищення якості землерийно-транспортних машин удосконаленням робочого процесу. Харків: ХНАДУ, 2007. 272 с.

[3] [Remarchuk M.](#), [Chmuzh Y.](#), [Zadorozhnyi A.](#), [Kebko O.](#) Methodology for determining the effectiveness of the use of earth-moving machines and their parts in the construction of architectural structures. *AIP Conference Proceedings*, 2023, 2490 (1).

УДК 625.151

ВИЗНАЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ТА ГАРАНТІЙНИХ СТРОКІВ СЛУЖБИ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

DETERMINATION OF STANDARD AND WARRANTY SERVICE LIFE OF SWITCH CROSS

старший викладач О.О. Сорока¹

¹*Державний університет інфраструктури та технологій (м. Київ)*

Senior Lecturer O.O. Soroka¹

¹*State University of infrastructure and technology (Kyiv)*

Для раціональної експлуатації стрілочних переводів та планування робіт по їх утриманню та заміні необхідно вміти правильно визначати строки їх служби. Розрізняють нормативні та гарантійні строки служби хрестовин [1, 2].

Нормативні строки служби хрестовин визначаються кількістю пропущеного по них тоннажу $T_{норм}$ – нормативним напрацюванням до досягнення величини регламентованого вертикального зносу $h_{норм}$ елементів хрестовин (осердь або вусовиків). Нормативні строки служби є різними для конструкцій стрілочних переводів, що працюють в різних умовах експлуатації.

Гарантійні строки служби хрестовин визначаються якістю виготовлення конструкцій на заводах (за умов технічно правильної експлуатації) і встановлюються за погодженням замовника (Укрзалізниці) і виробника (заводу) з метою підвищення відповідальності підприємств постачальників стрілочної продукції. Гарантійні строки служби хрестовин встановлюються за критерієм накопичення дефектів, як ймовірність їх безвідмовної роботи без появи недопустимих дефектів або пошкоджень протягом гарантійного строку служби [3].

Колективом кафедри залізничної колії та колійного господарства КІЗТ ДУІТ за участю автора під керівництвом професора Даніленка Е.І. була розроблена та запропонована нова методика для визначення нормативних та гарантійних строків служби хрестовин стрілочних переводів, яка дозволяє вирішувати вказану задачу в безпосередній залежності від існуючих умов експлуатації.

Сутність рішення задачі полягає в наступному. Нормативні строки служби визначаються комплексним методом, який включає спільне застосування: експлуатаційних спостережень за роботою хрестовин на залізницях;

математично-статистичного аналізу результатів спостережень; графоаналітичний аналіз і побудову графічних залежностей прогнозованого зносу у функції від пропущеного тоннажу; і на заключному етапі розробку кінцевих розрахункових формул для визначення прогнозованого нормативного тоннажу ($T_{норм}$), що очікується пропускати по хрестовинам при досягненні нормованої величини зносу поверхні кочення ($h_{норм}$) [3].

За основу методики приймаються основне вихідне рівняння зносу (1) та крива параболи (рис. 1), які найбільш правильно відображають сутність формування зносу і враховують як зминання так і стирання металу на поверхні кочення елементів хрестовин.

$$h = a\sqrt{T} + \epsilon T, \quad (1)$$

де T – пропущений тоннаж; h – вертикальний знос; a, ϵ – деякі коефіцієнти, які встановлюються окремо для конкретних конструкцій та конкретних умов експлуатації.

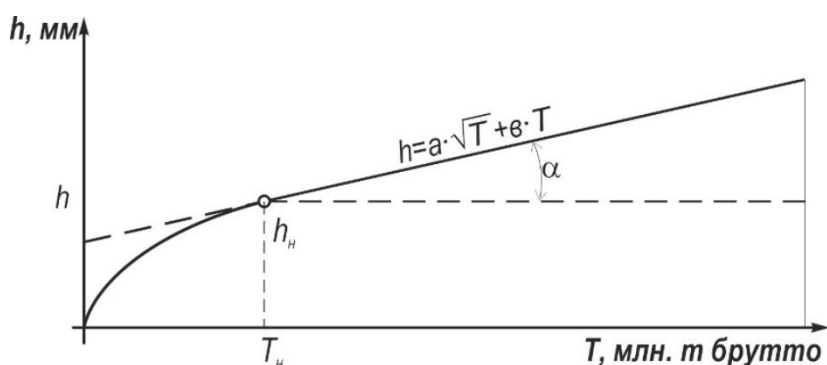


Рис. 1. Крива параболи

На першій криволінійній ділянці нарощування зносу відбувається, перш за все, за рахунок криволінійної частини графіка ($h_i = a\sqrt{T_i}$), а на другій прямолінійній ділянці нарощування зносу в основному відбувається за рахунок прямолінійної частини графіка зносу ($h_i = \epsilon \cdot T$), де $\epsilon = \text{tg}\alpha$ – тангенс кута нахилу кривої зносу до горизонталі.

Слід зазначити, що рівняння виду (1) встановлюються окремо для кожної конструкції, яка працює в конкретних умовах експлуатації.

Значення нормативного тоннажу T_n визначається при накопиченні нормативної величини зносу h_n (на осердях або вусовиках хрестовин) за формулою (2) і залежить від форми конкретної кривої зносу (1), яка в свою чергу залежить від коефіцієнтів a_i і ϵ_i , що також є конкретними для кожної розглядуваної конструкції. $h = a\sqrt{T} + \epsilon \cdot T$

$$T_n = \left(\frac{-a + \sqrt{a^2 + 4 \cdot \epsilon \cdot h_n}}{2 \cdot \epsilon} \right)^2. \quad (2)$$

Гарантійні строки служби конструкцій хрестовин залежать від нормативних і встановлюються як ймовірність пропущеного тоннажу для кожної конкретної кривої для конкретних умов експлуатації за формулою (3).

$$T_{\text{гарант}} = f(T_n) = R(t) \cdot T_n, \quad (3)$$

де математична імовірність безвідмовної роботи $R(t)$ для конструктивних елементів хрестовин в межах відповідних інтервалів напрацювання тоннажу розраховується відповідно до формули:

$$R(t) = 1 - F = \int_1^{\infty} f(t) dt. \quad (4)$$

За формулами (3) і (4) були з достатньою достовірністю встановлені конкретні гарантійні строки служби для хрестовин стрілочних переводів типових конструкцій марок 1/11, 1/9 та рейками типу Р65 і Р50.

[1] Даніленко Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомих складом: підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х томах). Київ: Інпрес, 2010. Т. 1. 528 с.

[2] Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України (ЦП-0269). Нормативно-технічне видання / Даніленко Е.І., Курган М.Б., Карпов М.І., Яковлев В.О. та ін. – К.: Укрзалізниця, 2012. 456 с.

[3] Верхня будова колії. Стрілочні переводи. Правила визначення нормативних та гарантійних строків служби у різних експлуатаційних умовах. // стандарт АТ «Укрзалізниця» СТД 06041:2021 – К.: АТ «Укрзалізниця», 2021 р. – 48 с.

УДК 625.42

АНАЛІЗ АЛЬТЕРНАТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ШПАЛ МЕТРОПОЛІТЕНІВ

ANALYSIS OF ALTERNATIVE MATERIALS FOR SUBWAY SLEEPERS

*кандидати технічних наук Д.А. Фаст¹, Н.В. Бугаєць¹, О.О. Овчинніков¹,
аспіранти С.Б. Сопотяк¹, А.С. Мінка¹*

¹*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*PhD (Tech.), D.A. Fast¹, PhD (Tech.), N.V. Buhaiets¹, O.O. Ovchynnikov¹,
PhD (Tech.), postgraduate students S.B. Sopotiak¹, A.S. Minka¹*

¹*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Пиломатеріали є найбільш широко використовуваним матеріалом для залізничних шпал, однак як шпальний матеріал він псується з часом і потребує відповідної заміни. В останні роки деревина твердих порід деревини для залізничних шпал стає дорожчою, менш доступною і має нижчу якість порівняно з деревиною раніше доступною. Зараз також існують різні екологічні проблеми щодо використання та утилізації хімічно просочених дерев'яних шпал. Це призвело до пошуку у більшості залізничних галузей альтернативних матеріалів для заміни існуючих дерев'яних шпал. Ця робота представляє огляд останніх подій і представляє ініціативу, спрямовану на полімерні композити як альтернативний матеріал для залізничних шпал та для метрополітенів. Волокнисті композити з'являються як альтернативний життєздатний будівельний матеріал.

В конструкції залізничної колії шпали – є одним з важливіших елементів верхньої будови. Дерев'яні шпали, особливо в умовах метрополітену, все ще є найбільш поширеними. Також може використовуватись попередньо напружений бетон. В останнє десятиліття набуває все більшого розповсюдження шпали з альтернативних матеріалів, а саме, полімерних композитів.

Полімеркомпозитна залізнична шпала є кращою альтернативою дерев'яній або бетонній шпалі, які зазвичай використовуються для залізниць у нашій країні. Цей новий для України продукт поєднує в собі передові фізико-механічні властивості та економічну ефективність використання протягом тривалого періоду.

Залізничні шпали та бруси з полімерного композитного матеріалу ідеально підходять для кривих колій і стрілочних переводів. Вони також є оптимальним рішенням для розміщення на мостах, складних ділянках залізниці, а також для використання в умовах підвищеної вологості та вологості в місцях експлуатації.

Разом зі стандартними характеристиками залізничних шпал, такими як індекс твердості та індекс жорсткості, використання полімеркомпозитних шпал є оптимальним рішенням для середовищ з підвищеною вологістю, агресивних умов експлуатації та майданчиків, де неможливо використання бетонних шпал та розміщення дерев'яних шпал передбачає їх короткочасну заміну.

Композитні шпали та брус, на відміну від дерев'яних, не гниють, не піддаються впливу вологи, води, різких перепадів температури, складних кліматичних умов і навіть з часом зберігають свої початкові фізико-механічні властивості. Вони мають високий рівень звукопоглинання та зниження рівня вібрації при проходженні рухомого складу, що дуже важливо для умов експлуатації метрополітенів в густонаселених містах.

З точки зору екологічності, однією з головних причин використання полімеркомпозитних шпал є загальносвітова тенденція щодо заборони використання креозоту в шпалопромисловості, глобальна боротьба з вирубкою лісів, а також накопиченням полімерних відходів в результаті життєдіяльності людини.

Оскільки залізничні шпали та брус використовуються зі 100% перероблених полімерних матеріалів, частково їх виробництво є вирішенням глобальної проблеми переробки пластику, водночас вони можуть бути перероблені після закінчення терміну служби або вимушеного капітального ремонту колій з використанням полімеркомпозитних шпал.

Крім того, останнім часом інтерес становлять опори, виготовлені з використанням перероблених матеріалів. Переробляючи пластикові відходи, можна уникнути значної кількості грошей, щоб вони не потрапили на звалища. Оскільки композитні шпали міцні, довговічні та надійні, вони потребують менше обслуговування та мають більший термін служби, ніж розповсюджені залізничні шпали. Тому вони можуть бути чудовим, економічно вигідним та довгостроковим рішенням.

У цій роботі представлений огляд останніх розробок полімерних композитів як альтернативного матеріалу для залізничних шпал. Також представлений

огляд поточних досліджень та розробок інноваційних композитних залізничних шпал із дослідженням їх переваг та недоліків.

[1] <https://vbkfbs.com/en/sleepers-and-bars/>

[2] Ghorbani A., Erden S. POLYMERIC COMPOSITE RAILWAY SLEEPERS Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE'13), 9-11 Ekim 2013, Karabük, Türkiye <https://web.karabuk.edu.tr/cihanmizrak/pdf/426.pdf>

[3] Manalo A., Aravinthan T., Karunasena W., Ticoalu A., A review of alternative materials for replacing existing timber sleepers, Compos. Struct. Vol. 92, 603-11, 2010.

УДК 625.151

ПОТЕНЦІЙНІ НАПРЯМКИ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ СТАНУ ГЕОМЕТРІЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

POTENTIAL AREAS OF APPLICATION OF MODERN METHODS FOR ASSESSING THE CONDITION OF RAILWAY TRACK GEOMETRY ON UKRAINIAN RAILWAYS

аспірант С.С. Чесак¹

¹*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

postgraduate student S.S. Chesak¹

¹*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

На сьогоднішній день головним інструментом для контролю положення колії в Україні є комп'ютеризований вагон лабораторія КВЛ-П. Вагон фіксує абсолютну величину відхилення по кожному параметру та обчислює відповідну кількість штрафних балів. Дана методика оцінювання положення колії добре зарекомендувала себе при виявленні ізольованих дефектів, що дозволяє вчасно попередити зростання відхилень в утриманні колії до критичних значень. Але, оскільки різні ділянки колії з фактично різним технічним станом, при вимірюванні вагоном КВЛ-П, можуть отримати однакову балову оцінку, то об'єктивно оцінити загальний стан геометрії колії на певній ділянці досить складно. Також важко дослідити динаміку зміни певного параметру в залежності від пропущеного тоннажу.

Натомість, за останні десятиліття, в різних країнах світу було розроблено численну кількість методик оцінки якості залізничної колії. Певну абстрактну безрозмірну величину, яка характеризує стан геометрії залізничної колії прийнято називати «індексом якості колії», або Track Quality Index (TQI).

Умовно різні методики можна розділити на дві категорії, TQI розрахунок яких базується на визначенні середньоквадратичного відхилення, та TQI в основі яких лежать інші математичні принципи.

Європейський стандарт EN 13848-6:2014 пропонує розраховувати комбінований індекс якості колії за наступною формулою:

$$CoSD = \sqrt{w_{\overline{AL}}SD_{\overline{AL}}^2 + w_GSD_G^2 + w_{CL}SD_{CL}^2 + w_{\overline{LL}}SD_{\overline{LL}}^2}$$

де $CoSD$ – комбіноване стандартне відхилення; $SD_{\overline{AL}}, SD_G, SD_{CL}, SD_{\overline{LL}}$ – стандартне відхилення розраховане для положення колії в плані, ширини колії, рівня головок рейок та повздовжнього рівня відповідно; $w_{\overline{AL}}, w_G, w_{CL}, w_{\overline{LL}}$ – відносний коефіцієнт впливу кожного параметра на безпеку руху, встановлюється оператором інфраструктури.

Серед TQI які не використовують середньоквадратичного відхилення можна виділити індекс якості MDZ. Дана методика враховує вертикальні та горизонтальні нерівності разом зі швидкістю руху та має на меті розрахувати зміну прискорення яке діє на пасажирів шляхом прямого математичного аналізу реальних даних геометрії колії. Сума усіх змін прискорення на певній ділянці визначається як основний критерій комфорту їзди. Число MDZ розраховується за наступною формулою:

$$MDZ = c * \frac{1}{L} * V^{0.65} * \sum_{i=1}^{L/\Delta x} \sqrt{(\Delta v')^2 + (\Delta h + \Delta \ddot{u})^2}$$

де c – масштабний коефіцієнт; L – довжина тестової ділянки; V – швидкість руху; 0.65 – експоненційне число, яке має на меті відобразити вплив підвіски рухомого складу; Δx – крок вимірювання; $\Delta v', \Delta h, \Delta \ddot{u}$ – відхилення повздовжнього рівня, положення в плані та поперечного рівня відповідно.

Ще одним перспективним індексом якості колії являється – FRA TQI. Розроблена в період з 2000 по 2002 роки у США, концепція має в основі порівняння довжини просторової кривої з прямим відрізком, який об'єднує кінцеві точки цієї кривої. Чим більша нерівномірність ділянки колії, тим більша довжина просторової кривої, якщо розтягнути її у пряму лінію.

Підсумовуючи вище сказане можна стверджувати, що на сьогоднішній день об'єктивна оцінка стану геометрії колії неможлива без застосування сучасних методів математичної обробки даних отриманих при вимірюванні параметрів колії.

Загалом можна виділити наступні основні напрямки застосування індексів якості колії:

1. Вдосконалення вітчизняної системи оцінки стану геометрії колії, для більш ефективного планування ремонтних робіт з виправки залізничної колії.
2. Використання індексів якості колії як інструменту дослідження поведінки різних типів верхньої будови колії, а також її окремих елементів, в процесі експлуатації.
3. Дослідження впливу нерівностей колії на динаміку взаємодії з рухомим складом, а як наслідок на комфортність їзди.

[1] Stefan Offenbacher, Johannes Neuhold, Peter Veit and Matthias Landgraf Analyzing Major Track Quality Indices and Introducing a Universally Applicable TQI // Appl. Sci. 2020, 10(23), 8490; <https://doi.org/10.3390/app10238490>.

[2] Dr. Magdy El-Sibaie, Ms. Sun Lee, Mr. Mo Fateh Development of Objective Track Quality Indices. // Research Results RR05-01 March 2005.

[3] EUROPEAN STANDARD EN 13848-6:2014 E, Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 6: Characterisation of track geometry quality

УДК 336.221.4: 061.1

АКТУАЛІТЕТИ ЗЕМЕЛЬНОГО РОЗВИТКУ ГРОМАД ТА ОБОРОННОЇ СТІЙКОСТІ УКРАЇНИ

CURRENT ISSUES OF LAND DEVELOPMENT IN COMMUNITIES AND DEFENSIVE RESILIENCE OF UKRAINE

*д-р екон. наук Г.І. Шарій¹, д-р техн. наук Є.Б. Угненко²,
Сорочук Н.І.², канд. техн. наук Є.М. Коростельов²,
канд. техн. наук О.М. Ужвієва²*

¹Національний університет «Полтавська політехніка ім. Ю. Кондратюка», Україна

²Український державний університет залізничного транспорту, Україна

*G. Shariy¹, Dr. Sc. (Econ.) Ye. Ugnenko², D.Sc. (Tech),
N. Sorochuk², Ye. Korostelov², PhD (Tech),
E. Uzhviieva², PhD (Tech)*

¹National University "Poltava Polytechnic named after Yu. Kondratyuk", Ukraine

²Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine

В умовах війни землевпорядники як і інші фахівці покликані мобілізуватися для допомоги державі та провести моніторинг земель до розбудови та підвищення стійкості і обороноздатності країни у відповідь на агресивні геополітичні виклики.

В Україні війна та агресія заставляють постійно вдосконалювати земельні відносини, змінювати відношення до землі і суспільні актуалітети земельного розвитку [1].

Історичний досвід, досвід країн Європи і Світу необхідно запозичувати, але враховуючи умови України використовувати розумно й імплементувати трансформуючи до її умов [2].

В умовах війни стає наочно зрозуміло, що земля істинно просторовий політичний базис нашої країни. На землю посягали і посягають сусіди, тому забезпечення стійкості, військова та національна безпека нині найвищий пріоритет земельного розвитку нашої країни [3].

Указаному суспільному пріоритету необхідно приділити найбільшу увагу, підпорядковуючи суспільні і державні інститути: адміністративно-територіальну реформу; генеральну схему; систему розселення; розміщення земель оборони; організацію і землеустрій смуги прикордонних територій; розвиток окремих категорій земель; Генеральну схему України; стратегії розвитку громад, районів, областей, агломерацій; екологічний, економічний,

містобудівний і інфраструктурний каркас України; земельний кадастр, землеустрій, оцінка і обіг земель, геоматика і рентні платежі [4].

Метою дослідження є розгляд актуальних питань та проблем земельних відносин в Україні, визначення пріоритетів землеустрою і земельного розвитку на період війни.

В умовах війни в Україні, шлях вдосконалення земельних відносин повинен передбачити посилення суспільних і державних інтересів та соціальної справедливості в використанні земельних ресурсів [5].

Забезпечення стійкості земельних відносин та військова і національна безпека розглядаються, як вищий пріоритет земельного розвитку.

Необхідно активувати подальший розвиток адміністративно-територіального устрою, Генеральної схеми України, зонування території, особливий землеустрій прикордонних громад та стокілометрової смуги біля кордонів [6, 7].

Особливої актуальності набуває стійка система розселення, розміщення виробничого і оборонного потенціалу, урбаністика і рурбанізація.

Потребують унікальних землевпорядних рішень белігеративні ландшафти, на яких екологічні і містобудівні виклики досягли небувалих рівнів [8, 9].

В цілому земельні відносини в Україні вимагають новітньої земельної політики, нової якості державного регулювання і раціональної діяльності землевпорядних служб і організацій.

[1] Розвиток адміністративно-територіального устрою України як відповідь на мілітарні виклики / Шарий Г.І., Угненко Є.Б., Сорочук Н.І., Коростельов Є.М., Ужвієва О.М., Шевченко А.О. // Збірник наукових праць УкрДУЗТ, Харків, 2023. - Вип. 206 – с. 129-138.

[2] Скандинавський шлях. Досвід реформ адміністративно- територіального устрою і місцевого самоврядування в Данії та Швеції / Анатолій Ткачук. – К.: Лотос, 2015-124 с.

[3] Краєвий устрій України / Г.І.Шарий // Землевпорядний вісник. – Київ, 2015, - №2. – с. 41-45.

[4] Розвиток земельних відносин та поліпшення ефективності агровиробництва і стану земельних ресурсів / Шарий Г.І. // Землевпорядний вісник – 2020. №1. – с. 24-29.

[5] Application of Laser Technologies for Scanning Communication Routes While Restoring the Infrastructure of Ukraine/ Sergii Panchenko, Yevgeniia Ugnenko, Elena Uzhviieva, Yevhen Korostelov, Nataliia Sorochuk // International Conference TRANSBALTICA: Transportation Science and Technology, TRANSBALTICA 2023: TRANSBALTICA XIV: Transportation Science and Technology, Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure, 2024, pp 3–11.

[6] Аналіз нормативної бази оцінки шкоди та збитків, завданих земельним ресурсам України внаслідок збройної агресії / Є.Б. Угненко, О.М. Ужвієва, Н.І. Сорочук // Матеріали XXVI міжнародної науково-технічної конференції „Технологія-2023”, Україна, м. Київ, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, 26 травня 2023 року, с.192-195.

[7] Визначення розміру шкоди, завданої земельним ресурсам України під час дії воєнного стану / Н.І. Сорочук, Ю.О. Сорочук // Матеріали VI міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції «Сучасні тенденції економічного розвитку регіонів: теоретичні та прикладні аспекти» 09-10 травня 2024 року, Україна, м. Одеса, ОДАБА, с. 348-351.

[8] Особливості раціонального використання земель сільськогосподарського призначення в умовах воєнного стану / Є.Б. Угненко, О.М. Ужвієва, Н.І. Сорочук, Ю.О. Сорочук // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології землеустрою, кадастру та управління земельними ресурсами», Україна, м. Київ, НАУ, 16 – 17 березня 2023 р., с. 101-103.

[9] Екологічні проблеми в галузі використання та охорони земель під час воєнних дій / Н.І. Сорочук, А.А. Зеленська, Ю.О. Сорочук // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологічно сталий розвиток урбосистем», Україна, м. Харків, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2-3 листопада 2022 року, с.90-92.

**ПЕРСПЕКТИВНІ МЕТОДИ ВИКОНАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ТА
АНАЛІЗУ ОТРИМАНИХ ДАНИХ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЕЖЕННІ
ПОШКОДЖЕНИХ ВНАСЛІДОК ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ РФ БУДІВЕЛЬ**

**PROMISING METHODS OF IMPLEMENTATION OF GEODESIC
INSPECTION OF DSMAGED AS A RESULT OF THE WAR AGRESSION
OF RF BUILDINGS**

канд.юр.наук В.В. Яременко¹, О.М. Агафонов¹

*¹ДП «Український державний головний науково-дослідний і виробничий
інститут інженерно-технічних і екологічних вишукувань» (м. Харків)*

PhD, V.V. Yaremenko¹, O.M. Ahafonov¹

*¹State Enterprise «Ukrainian State Research and Production Institute of
Engineering and Technical and Environmental Surveys» (Kharkiv)*

Рішення щодо відновлення або демонтажу пошкоджених внаслідок збройної агресії рф будівель та споруд об'єктів приймається на підставі оцінки технічного стану включно із оцінкою змін геометричних параметрів [1].

Горизонтальні граничні переміщення регламентуються ДСТУ Б.В.1.2-3:2006 «Прогини і переміщення» таблиця 3 та складають від 1/300 до 1/500 від висоти будівлі [2].

Діючий нормативний документ ДСТУ «Ґрунти. Вимірювання деформацій основ будинків і споруд» регламентує граничні похибки вимірювання крену в залежності від висоти Н будівлі, зокрема для промислових споруд 0,0005 Н. Тобто для каркасної будівлі висотою 30 метрів (машинний зал ТЕЦ) граничний крен складає 60 мм, гранична похибка вимірювань крену 15 мм, співвідношення 0,25 [3].

Розрахунки при співвідношенні граничної похибки геодезичних робіт та граничного відхилення конструкції від проектного положення та визначенні середньої похибки як половини граничної дають результат 0,15 - 0,35, співрозмірний з нормами ДСТУ [4].

В реаліях воєнного часу геодезичні роботи виконуються в авральному режимі при відсутності часу на складання проекту робіт, закладання опорної мережі [5].

Автором було виконано моніторинг деформацій 8 пошкоджених будівель, з них 1 на постійній основі (ТЕЦ) [1].

У більшості випадків спочатку закладалася тимчасова спостережна геодезична мережа в безпечних для спостережень, яка при поліпшенні умов роботи та безпекової ситуації доповнювалася новими пунктами та перераховувалась з метою підвищення точності [5]. Для спостережень за

конструкціями застосовувався безвідбивальний режим на значній (більше 30 м) відстані [3].

З метою визначення реальної точності вимірювань було проведено дослідження шляхом виконання контрольних вимірювань безвідбивальним методом з інших пунктів спостереження та під іншим кутом та на іншій відстані, в кількості 20 та більше відсотків від загальної [6]. Дослідження та аналіз вимірювань по каркасних будівлях показали, що середні розходження між основними та контрольними вимірюваннями складають до 6-7 мм, в залежності від ступеню пошкоджень конструкцій [7].

Наступним етапом є аналіз основних факторів, що впливають на точність вимірювань.

Припускається, що вимірювальні прилади є відповідними по точності та в придатному технічному стані. Одним із головних факторів є складність наведення на необхідну точку на конструкції, особливо на відстані більше 50 м та за наявності пошкоджень поверхні конструкцій, наявності сторонніх уламків [8].

Проблема вирішується або застосуванням світловідбивальних плівок в місцях, де є така можливість, або повторенням вимірювань – мінімально двома вимірюваннями по верхній частині конструкції і двома по нижній, потім координати усереднюються графоаналітичним або математичним способом. Таким чином навіть за складних умов розходження не перевищують 3 мм, тобто співрозмірні з точністю вимірювальних приладів [5].

Для етапу загальної оцінки (виявлення критичних величин) деформації таких даних достатньо. У випадку, коли плануються відновлювальні роботи, виникає наступна проблема – побудова моделі будівлі з будівельними осями. При цьому слід врахувати наявність відхилень від проекту та деформацій ще на етапі будівництва.

Для побудови моделі використовуються або «експертний метод» (на основі інтуїції та досвіду), або, як досліджено в якості експерименту автором, метод ітерацій (повторень). Одна з осей приймається за базову, будується модель, визначаються відхилення положення змодельованих конструкцій та фактичного положення за координатами. Потім інша ось приймається за базову і такі ж визначення відхилень. За потреби створюється третя модель від іншої базової осі [9].

Далі моделі порівнюються і приймається за основну модель з найменшими відхиленнями:

$$\min \sum |vv|,$$

де v – відстань між точкою координування та відповідною точкою моделі

Наступний етап – загальна оцінка методом максимальних та середніх деформацій, з можливістю визначення деформацій по окремих осях.

[1] Михайленко І. П., Коваленко С. Г. Методичні рекомендації з оцінки технічного стану будівель і споруд. – Київ: Мінрегіон України, 2019. – 42 с.

[2] Державний стандарт України. ДСТУ Б.В.1.2-3:2006 «Прогини і переміщення. Загальні вимоги». – Київ: Мінрегіонбуд України, 2006. – 28 с.

- [3] Державний стандарт України. ДСТУ Б.В.2.1-3:2020 «Ґрунти. Вимірювання деформацій основ будинків і споруд». – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 35 с.
- [4] Кузьменко Т. І., Гончаренко О. В. Дослідження методів контролю точності вимірювань у будівництві. – Київ: Видавництво "Техніка", 2023. – 45 с.
- [5] Іваненко О. В., Сидоренко П. М., Гончарук Л. М. Геодезичний моніторинг у надзвичайних умовах // Журнал «Геодезія і картографія». – 2022. – № 4. – С. 24–30.
- [6] Михайленко І. П., Коваленко С. Г. Методика проведення геодезичних вимірювань при моніторингу будівель і споруд. – Київ: Мінрегіон України, 2020. – 38 с.
- [7] Державний стандарт України. ДСТУ Б.В.2.1-3:2020 «Ґрунти. Вимірювання деформацій основ будинків і споруд». – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 35 с.
- [8] Кузьменко Т. І., Гончаренко О. В. Дослідження впливу пошкоджень конструкцій на точність геодезичних вимірювань. – Журнал «Будівельні технології», 2023. – № 2. – С. 24–31.
- [9] Гончарук Л. М. Моделювання деформацій будівель на основі ітеративного підходу. – Київ: Видавництво "Техніка", 2023. – 42 с.

UDC 531.31, 632.548

ANALYTICAL SOLUTIONS OF SIMPLIFIED EQUATIONS OF A MATERIAL POINT IN BALLISTICS PROBLEMS FOR TRAJECTORIES OF MOTION WITH AN ANGLE INCLINATION TO THE HORIZON CLOSE TO 90⁰

A. Zadorozhnyi¹, PhD (Tech.), O. Stakhovsky², DSc (Tech.), Y. Chovnyuk³, PhD (Tech.), S. Buhaievskyi⁴, DSc (Tech.), O. Shutovsky³, PhD (Tech.),

¹Military Institute of Tank Troops of the National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute" (Kharkiv)

²National Defense University (Kyiv)

³Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)

⁴Kharkov National Automobile and Highway University (Kharkiv)

The problems of external ballistics of a material point are classical. Such classical models, reflecting the concept of representing the characteristics of a material point, have been traditionally taught in textbooks on theoretical mechanics for many years in the section on the dynamics of a material point. But the interest in the modern world in solving theoretical problems is related not only to the educational process, but also to practical application in various fields of human activity. The range of application of both theoretical and practical results in scientific activity is very diverse. The use of research activities in the direction of ballistics can include calculations of the flight of a fractional component of a concrete mixture in a concomitant air flow, which is used in surface shotcrete technologies, equipment for transporting and spraying various Newtonian and Bingham liquids, which has further promising development of special equipment for the construction, chemical, and agricultural industries. Promising development of the study of particle dynamics of spray jets during fire extinguishing, calculations of the flight trajectory of projectiles to increase the accuracy of shooting in military affairs and in many other areas. Problems of ballistics of a material point are considered in courses of theoretical

mechanics [1], as well as in the special literature [2-6]. Unlike known studies, it is of interest to solve problems of ballistics of a material point within the limits of simplified equations of motion for trajectories that are close to 90° relative to the horizon, but still smaller than this value, to apply an analytical approach (i.e., to find the solution of such a problem in quadratures). Due to this, it can significantly shorten the calculations of the parameters of the trajectory of the material point, in particular, its horizontal length, flight time, etc.

However, unlike the above cited sources of literature, in this study, as in [1], for solving simplified equations of motion of a material point in ballistics problems for trajectories close to the 90° angle, but smaller than this value, an analytical approach was used and the solution of approximate equations of motion corresponding to such trajectories was found in quadratures, which allows to significantly simplify the algorithm for calculating the parameters of the trajectory of motion of this type.

Substantiation of a physical-mechanical and mathematical model that can adequately describe the parameters and features of the motion of a material point-particle moving along a trajectory with an angle of inclination to the horizon close to 90°, when the resistance of the external environment (air) quadratic to the speed of its movement is taken into account. The results obtained in the work can be further used to improve and refine engineering calculation methods in problems of external ballistics of a material point taking into account the quadratic (in terms of speed) resistance of the air environment, in many branches of modern science and technology.

- [1] Кучеренко С.І., Бурлака В.В., Тищенко Л.М. та ін. Теоретична механіка. Навчальний посібник. – Харків: ХНТУСГ, 2012. 568с.
- [2] Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. Функция Ламберта в задачах баллистики материальной точки. – Харьков: Издатель Савчук А.О., 2013. 204с.
- [3] Балістика крапель, які випаровуються при польоті/За редакцією В.П. Ольшанського. – Харків: ХНТУСГ, 2007. 304с.
- [4] Заика П.М., Мельник В.И., Анисеев А.И. Свободное движение материальной точки в спокойной изотропной газообразной среде. Вестник НТУ «ХПИ»: Динамика и прочность машин. – Х.: НТУ «ХПИ», 2001. Вып. 25. С. 153-164.
- [5] Ловейкін В.С., Човнюк Ю.В., Дитюк А.І. Дослідження дальності польоту частинок твердих мінеральних добрив шляхом моделювання. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2009. Вип. 39. С. 82-90.
- [6] Ольшанский В.П., Дубовик О.А. Вопросы внешней баллистики огнетушащих веществ. – Харків: Митець, 2005. 236с.

**СЕКЦІЯ
БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ, БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ**

**SECTION
STRUCTURES, BUILDINGS AND FACILITIES**

УДК 624.078.7

**ЕТАПИ ДОСЛІДЖЕННЯ САМОНАПРУЖЕННЯ У НЕРОЗРІЗНИХ
СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТАХ ПРОГОНОВИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**STAGES OF SELF-TENSION IN CONTINUOUS STEEL-REINFORCED-
CONCRETE SLABS RESEARCH OF RUNNING STRUCTURES**

д.т.н., доцент А.В. Гасенко¹, аспірант К.Г. Штанько¹

¹*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(м. Полтава)*

*Doctor of Technical Sciences, Associate professor, A.V. Hasenko¹
Postgraduate student K.G. Shtanko¹*

¹*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic» (Poltava)*

Постановка проблеми. Проблема забезпечення рівномірного розподілу напружень у нерозрізних сталезалізобетонних плитах є актуальним для сучасного будівництва [4]. Застосування технологій самонапруження дозволяє зменшити нерівномірний розподіл, проте питання ефективного створення самонапруження в експериментальних зразках таких плит досі недостатньо досліджене. Вивчення цього процесу є важливим для покращення експлуатаційних характеристик конструкцій та підвищення їх несучої здатності.

У сучасному будівництві важливо забезпечити стабільність та довговічність конструкцій, оскільки їх експлуатація піддається значним навантаженням. Для цього необхідно визначити ефективні технології та методи формування самонапруження, які сприяють досягненню оптимального розподілу напружень у конструкціях. Вивчення цього процесу дозволить виявити найкращі практики, що використовуються в будівництві, і впровадити їх у виробництво [1; 2].

Метою роботи є всебічне дослідження процесу створення самонапруження в експериментальних зразках нерозрізних сталезалізобетонних плит (рис. 1).

Окрім того, важливо оцінити вплив самонапруження на механічні характеристики, такі як міцність і жорсткість, а також на стійкість сталезалізобетонних плит в умовах реальних експлуатаційних навантажень. В ході дослідження буде проведено серію експериментів, спрямованих на аналіз поведінки плит за різних умов навантаження та виявлення критичних параметрів, що впливають на їх ефективність.

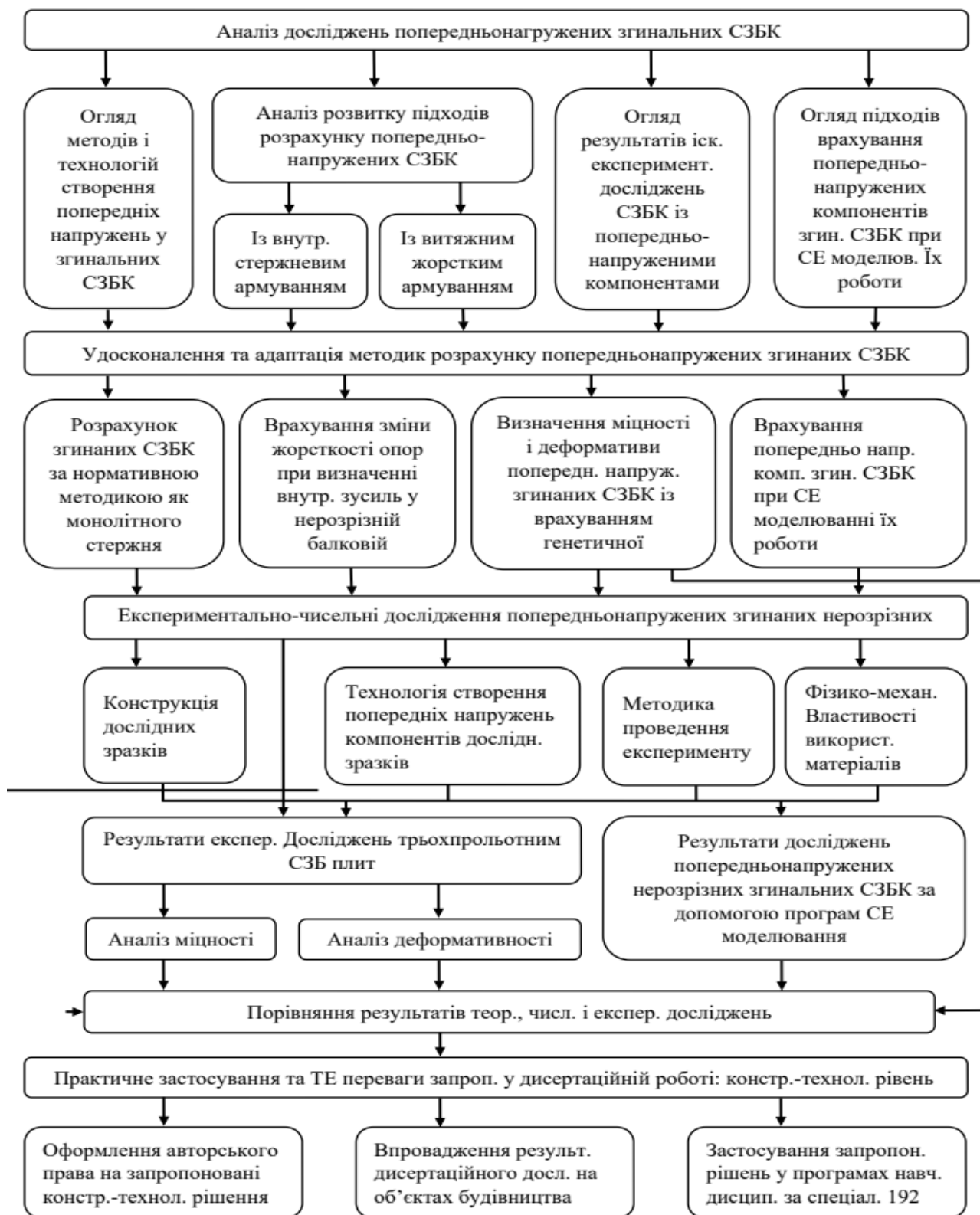


Рис. 1. Структурно-логічна схема досліджень самонапруження у нерозрізних сталезалізобетонних плитах прогонових конструкцій

Отримані результати можуть слугувати основою для вдосконалення проектування та виготовлення будівельних конструкцій, підвищуючи їх надійність та тривалість служби. Зокрема, результати досліджень можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо оптимізації технологій виготовлення сталезалізобетонних плит, що в кінцевому підсумку сприятиме

підвищенню якості будівельних робіт і зменшенню ризиків, пов'язаних з їх експлуатацією [3].

[1] Бойко, В. В. & Сіренко, О. В. (2018). *Технології самонапруження в сталезалізобетонних конструкціях: досвід та перспективи*. Журнал будівництва та архітектури, 12(4), 45-58.

[2] Гасенко, А.В. (2022). *Самонапруження сталезалізобетонних конструкцій: монографія*. Полтава: ПП «Астроя».

[3] Коваленко, І. В. (2019). *Експериментальні дослідження самонапруження в бетонних плитах*. Науковий вісник НУБіП України, 19(1), 134-140.

[4] Пономаренко, О. О. (2020). *Механіка сталезалізобетонних конструкцій*. Київ: Видавництво "Наука".

УДК 624.3

ПРО АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК КІЛЬЦЕВИХ ПЛАСТИН НА НЕОДНОРІДНІЙ ПРУЖНІЙ ОСНОВІ

ABOUT ANALYTICAL CALCULATION OF ANNULAR PLATES ON AN INHOMOGENEOUS ELASTIC FOUNDATION

*д-р техн. наук Ю.С. Крутій¹, д-р техн. наук М.Г. Сур'янінов¹,
канд. техн. наук А.О. Перпері¹, канд. техн. наук Г.С. Карнаухова¹,
О.В. Клименко¹*

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури (м. Одеса)

Dr.Sc. (Tech.), Yu. S. Krutii¹, Dr.Sc. (Tech.), M.G. Surianinov¹, PhD (Tech.), A.O. Perperi¹, PhD (Tech.), G.S. Karnaukhova¹, O.V. Klymenko¹

¹Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odesa)

Конструкція, що являє собою кільцеву пластину на суцільній пружній основі, часто застосовується в інженерній практиці. Серед великої кількості моделей пружної основи, широкого поширення набула так звана модель Вінклера. У цій моделі пружна основа представляється у вигляді набору вертикальних, близько розташованих, не пов'язаних між собою пружин. Таку ситуацію загалом можна описати єдиним параметром, який називають модулем пружності основи чи коефіцієнтом постелі. У найпростішому випадку, коли пружна основа вважається однорідною, коефіцієнт постелі є сталим, що значно спрощує розв'язання відповідних диференціальних рівнянь. Однак таке припущення далеке від реальності і для більш якісних досліджень необхідно враховувати неоднорідність основи [1]. Зрозуміло, що в такому разі коефіцієнт постелі $k(r)$ буде змінною величиною. На рис. 1 зображено відповідну такому випадку розрахункову схему пластини.

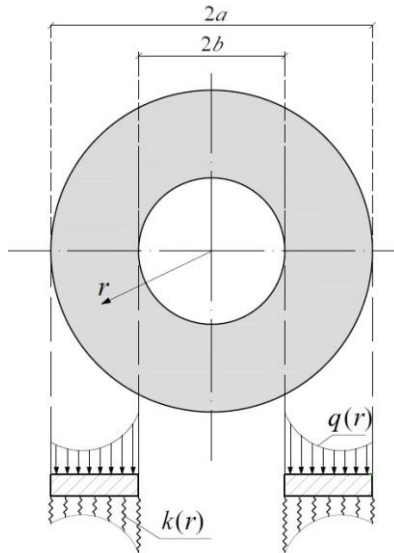


Рис. 1. Кільцева пластина на неоднорідній пружній основі

Диференціальне рівняння згину пластини матиме вигляд

$$D \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left\{ r \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dw}{dr} \right) \right] \right\} + k(r)w = q(r).$$

Ґрунтуючись на точному розв'язку даного рівняння, який було отримано в публікації [2], авторами розроблено аналітичний метод розрахунку на згин кільцевих пластин, коли коефіцієнт постелі та навантаження задаються будь-якими неперервними функціями. Практичне застосування розробленого методу проілюстровано на низці прикладів для різних умов закріплення контурів, коли коефіцієнт постелі змінюється за лінійним

$$k(r) = \frac{k(b)}{1-b/a} \left(1 - \frac{bk(a)}{ak(b)} - \left(1 - \frac{k(a)}{k(b)} \right) \frac{r}{a} \right)$$

параболічним

$$k(r) = \frac{4b/a}{(1-b/a)^2} k \left(\frac{a+b}{2} \right) \left(\frac{r}{b} - 1 \right) \left(1 - \frac{r}{a} \right)$$

та експоненціальним

$$k(r) = k(b) \exp \left(\delta \left(\frac{r}{a} - \frac{b}{a} \right) \right), \quad \delta = \frac{1}{1-b/a} \ln \frac{k(a)}{k(b)}$$

законами. Щодо поперечного навантаження на пластину $q(r)$, то для різних прикладів воно задавалось сталим $q(r) = q = const$, лінійно-змінним

$$q(r) = \frac{q(b)}{1-b/a} \left(1 - \frac{bq(a)}{aq(b)} - \left(1 - \frac{q(a)}{q(b)} \right) \frac{r}{a} \right),$$

або таким, що змінюється за законом синуса

$$q(r) = q \left(\frac{a+b}{2} \right) \sin \left(\frac{\pi}{1-b/a} \left(1 - \frac{r}{a} \right) \right).$$

Всі розглянуті приклади також були розв'язані методом скінченних елементів у програмному комплексі ЛІРА-САПР. Оскільки авторський метод розрахунку ґрунтується на точному розв'язку відповідного диференціального рівняння, отримані чисельні результати можна трактувати, як точні. Це дає можливість визначати похибку розрахунків методом скінченних елементів для даного класу задач.

[1] Foyouzat, M. A., Mofid, M., & Akin, J. E. On the dynamic response of beams on elastic foundations with variable modulus. *Acta Mechanica*. 2015. 227(2), P. 549–564. <https://doi.org/10.1007/s00707-015-1485-1>

[2] Krutii, Y. S., Sur'yaninov, M. G., & Karnaukhova, G. S. Calculation method for axisymmetric bending of circular and annular plates on a changeable elastic bed. Part 1. Analytical relations. *Strength of Materials*. 2021. 53(2), P. 247–257. <https://doi.org/10.1007/s11223-021-00282-2>

УДК 624.073.6: 69.057.3

РОЗРАХУНОК НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ IDEASTATICA І ЛІРА-САПР

FIRE RESISTANCE ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES USING IDEASTATICA AND LIRA-SAPR

*канд. техн. наук О.А. Фесенко¹, канд. техн. наук В.М. Колякова¹,
Л. Андрійченко¹, А. Третяк¹*

¹*Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)*

*PhD (Tech.), O. Fesenko¹, PhD (Tech.), V. Kolyakova¹,
L. Andriichenko¹, A. Tretiak¹*

¹*Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)*

Будівлі та споруди на залізничному транспорті досить часто стають цілями для терористичних атак військами російської федерації. Руйнування та пошкодження будівельних конструкцій внаслідок вибухового впливу можуть супроводжуватися виникненням пожежі.

Розрахунок залізобетонних конструкцій на вогнестійкість є невід'ємною складовою гарантування пожежної безпеки і надійності будівель і споруд, виконання якого реалізовано у сучасних версіях програмних комплексів на основі методу скінченних елементів. Серед наявних інструментів розрахунку слід відзначити програмний комплекс IDEA StatiCa [1], який надає користувачеві можливість застосовувати табличні дані за EuroCode для аналізу вогнестійкості колон, балок, плит і стін. Програмний комплекс ЛІРА-САПР [2] враховує вогнестійкість як одну з характеристик залізобетонного елемента при його конструюванні. Можливості IDEA StatiCa і ЛІРА-САПР включають опції для редагування схем армування поперечних перерізів різної форми. Таким чином, було запропоновано алгоритм розрахунку: 1) IDEA StatiCa – за

табличними даними; 2) ЛІРА-САПР – редагування схем армування конструкцій за результатами з IDEA StatiCa для забезпечення їх вогнестійкості (рис. 1).

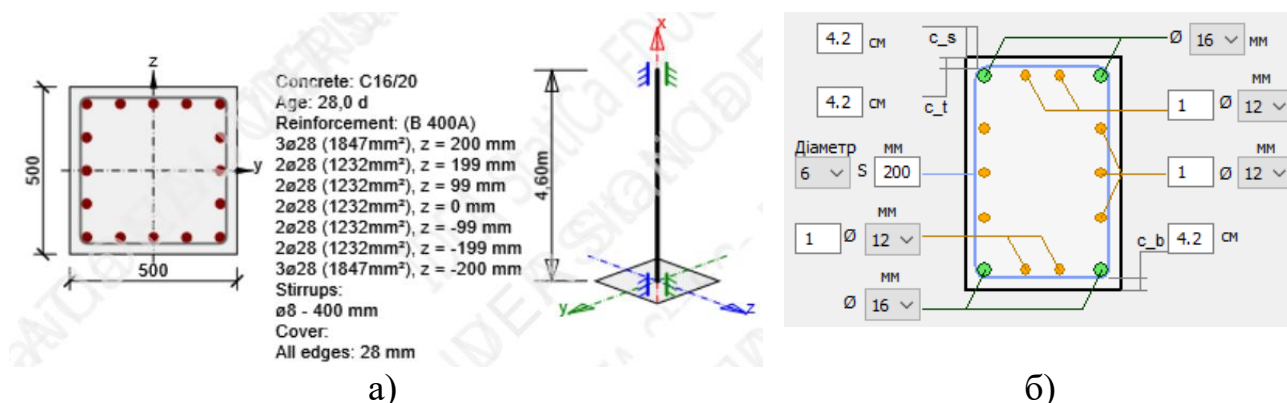


Рис. 1 Редагування армування в IDEA StatiCa (а) і Ліра-САПР (б)

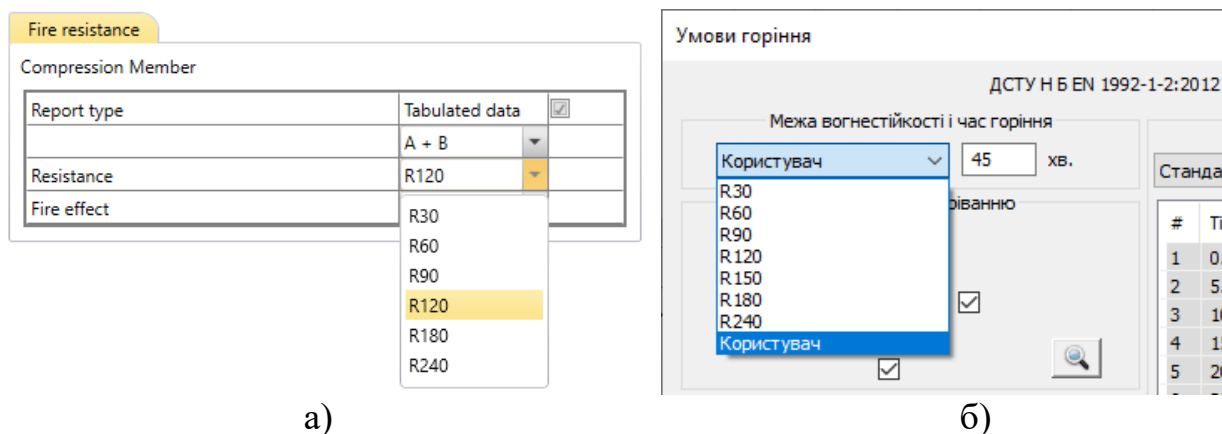


Рис. 2 Значення класу вогнестійкості в IDEA StatiCa (а) і Ліра-САПР (б)

Суттєва перевага ЛІРА-САПР порівняно з IDEA StatiCa полягає у можливості задавати користувацьке значення межі вогнестійкості окрім фіксованих значень (рис. 1). Це важлива опція, оскільки значення нормованої межі вогнестійкості за ДБН В.1.1-7:2016 [3] і Єврокод 2 [4, 5] не є однаковими.

ЛІРА-САПР також реалізує підбір армування залізобетонних конструкцій із урахуванням їх вогнестійкості в частині знижених характеристик міцності й деформативності бетону і арматури. Однак наразі ЛІРА-САПР не реалізує перевірку несучої здатності залізобетонних конструкцій із урахуванням їх вогнестійкості.

Загалом, можливості як IDEA StatiCa, так і ЛІРА-САПР, дозволяють запроектувати залізобетонну конструкцію з урахуванням вимог вогнестійкості.

[1] IDEA StatiCa. <https://www.ideastatica.com/support-center/fire-resistance-of-concrete-structures-en>

[2] ЛІРА-САПР. https://www.liraland.ua/lira/systems/fire_resistance.php?sphrase_id=141532

[3] ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість. (EN 1992-1-2:2004, IDT) – Чинний від 2014-07-01 – К.: Мінрегіон України, 2013. – 135 с. – (Національний стандарт України)

[4] ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги: – [Чинні від 2017-06-01]. – К.: Мінрегіон України, Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2017. – 47 с. – (Державні будівельні норми)

УДК624.21.012

ДОВГОВІЧНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД ІЗ ЗАЛІЗОБЕТОНУ

DURABILITY OF TRANSPORT STRUCTURES MADE OF REINFORCED CONCRETE

доктор техн. наук О.Л. Тютькін¹, канд. техн. наук О.І Дубінчик¹

¹Український державний університет науки і технологій

Dr. Sc. (Tech) A. Tiutkin¹, PhD (Tech) O. Dubinchyk¹

¹Ukrainian State University of Science and Technologies

Питання довговічності мостових залізобетонних конструкцій привертають дедалі більшу увагу фахівців та вчених. Мости - найбільш відповідальні та капіталомісткі споруди на залізницях. Забезпечення їх можливого більшого терміну служби та збільшення міжремонтних періодів є першорядними завданнями.

Мости відносяться до функціонально складних споруд: вони піддаються численним комбінаціям впливів навантажень. Питання їх експлуатації потребують взаємопов'язаного вирішення теоретичних, технічних та організаційних завдань, що можливе за умови наявності належної експлуатаційної служби, способів ремонту та відновлення, а також удосконалення способів розрахунку [1].

Проблема підвищення довговічності мостових конструкцій є однією з основних проблем надійної експлуатації залізничних ліній. Теорія надійності визначає довговічність, як властивість об'єкта зберігати працездатність до граничного стану. Для штучних споруд залізничного транспорту основним критерієм довговічності є термін служби.

Фактори, які впливають на довговічність конструкції при експлуатації можна розділити на дві групи: природно-кліматичні і техногенні. До природно-кліматичних відносяться непередбачувані та рідкісні стихійні лиха, такі як урагани, паводки, землетруси. Сюди ж можна віднести агресивні чинники довкілля: температура, вітер, дощ, лід, зміна рівня води, розмив річок, що викликають поступову корозію, руйнування, зниження несучої здатності конструкцій. Техногенні фактори – це навантаження від транспортних засобів, що впливають на споруду. Вони можуть викликати руйнування або процес накопичення та розвитку ушкоджень, старіння матеріалів. Вказані фактори можуть бути причиною зниження довговічності мостів до 15-25 років.

Довговічність конструкцій із залізобетону залежить від великої кількості факторів, основними з яких є: тип і конструктивні особливості споруди, умови експлуатації, склад залізобетону, дефекти та пошкодження конструкції.

Ушкодження залізобетонних конструкцій мостів класифікуються за такими ознаками: виду пошкодження, швидкості розвитку до небезпечної стадії, ступеня небезпеки, належності до певних частин мосту, частоти появи.

У залізобетонних прогонових будівлях у процесі експлуатації утворюються різні, іноді досить серйозні пошкодження, зумовлені недоліками проектів, порушеннями технології будівництва, неповнотою знань дійсної роботи конструкції. Ступінь ушкодження у залізобетонних мостах істотно залежить від умов експлуатації. Основними причинами, що викликають появу дефектів, є: неповна відповідність розрахункової моделі дійсній роботі конструкції; недосконалість технологічних процесів виробництва; порушення правил експлуатації; виникнення непередбачених впливів та ситуацій на мосту.

До пошкоджень, що найчастіше зустрічаються, відносяться тріщини, відколи бетону, відшарування захисного шару, раковини, руйнування гідроізоляції, які, залежно від виду, характеру розвитку і розташування, можуть вплинути на довговічність і вантажопідйомність конструкції.

Як оцінку міри накопичення ушкоджень можна прийняти апріорну міру ушкоджень φ , виразивши її через

$$\varphi = \frac{R_{b,n} - R_{b,cr}}{R_{b,0} - R_{b,cr}}$$

На початку експлуатації

$$R_{b,n} = R_{b,0}, \quad \varphi = 1;$$

в момент руйнування

$$R_{b,n} = R_{b,cr}, \quad \varphi = 0,$$

де $R_{b,0}$ – міцність бетону прогонових будов на початку експлуатації; $R_{b,n}$ – міцність бетону після прикладення n циклів повторних навантажень; $R_{b,cr}$ – розрахунковий опір бетону стиску перед руйнуванням елемента.

Значення міцності бетону прогонових будов на початку експлуатації береться із проектної документації. Міцність бетону після прикладення n циклів навантаження визначається під час технічної діагностики неруйнівним методом.

Допустимий рівень накопичення пошкоджень встановлюється залежно від необхідного рівня надійності прогонових будов (табл.1).

Таблиця 1 – Допустимі значення рівня пошкоджень

Значення рівня пошкоджень, φ	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Імовірність неруйнування, $P(\varphi)$	0,999	0,998	0,995	0,985	0,958	0,897	0,794	0,641

Визначивши міру накопичення пошкоджень, за результатами обстеження мостової конструкції, і порівнявши її з допустимим значенням, можна судити про стан прогонової будови та про можливість подальшої її експлуатації.

[1] ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування. К.: Мінрегіонбуд України, 2009.

УДК 624.012.45

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК З БЕТОНУ І ФІБРОБЕТОНУ

EXPERIMENTAL STUDIES OF LONG CYLINDRICAL SHELLS MADE OF CONCRETE AND FIBRE-REINFORCED CONCRETE

*д-р техн. наук М.Г. Сур'янінов¹, канд. техн. наук С.П. Неутов¹,
канд. техн. наук І.Б. Корнеєва¹*

¹*Одеська державна академія будівництва та архітектури (м. Одеса)*

*Dr.Sc. (Tech.), M. Surianinov¹, PhD (Tech.), S. Neutov¹,
PhD (Tech.) I. Korneieva¹*

¹*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odessa)*

Метою даної роботи є розробка методики експериментального визначення напружено-деформованого стану та несучої здатності довгих циліндричних оболонок з бетону і фібробетону, підкріплених бортовими елементами.

Для проведення експериментальних досліджень авторами розробили спеціальний стенд [1].

Основна ідея при проектуванні конструкції стенду полягала у створенні можливості визначення несучої здатності циліндричних оболонок. При цьому необхідно було забезпечити додаток по всій поверхні оболонки рівномірно розподіленого навантаження, що відповідає реальним умовам її роботи. Передбачено використання блокової системи навантаження, що дозволяє не тільки виміряти деформації на різних рівнях поверхні оболонки, а й відстежувати процес утворення (зародження) та розвитку тріщин на всіх етапах навантаження з можливістю вимірювання ширини їх розкриття.

Навантаження здійснюється ступенями, згідно з Національним стандартом України [2]. Кожен ступінь закінчується п'ятихвилинною витримкою з фіксацією всіх параметрів.

З метою отримання повної та достовірної картини деформації поверхні оболонки у кожну з трьох зон, розташованих між ланцюгами навантаження, закріплені по 4 індикатори годинного типу з ціною поділу 0,01мм.

Крім індикаторів, на оболонку наклеєні тензOMETричні датчики, за допомогою яких відстежувалися деформації на верхній та нижній поверхнях. Процес навантаження закінчувався тоді, коли випробувана оболонка втрачала здатність чинити опір зовнішньому навантаженню. Величина навантаження, що відповідає цьому моменту, бралася за несучу здатність оболонки.

Відповідно до програми випробувань циліндричних оболонок у рамках Науково-дослідної роботи "Analytical, computer and experimental studies of stress-strain state of fiber concrete structures" (реєстраційний номер 0121U111755) на кафедрі будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектур циліндричної оболонки - 4 із залізобетону (зразки RC1-RC4) і 4 з фібробетону (зразки FRC1-FRC4).

Фібробетонні зразки-оболонки мають додаткове дисперсне армування сталевую фіброю із загнутими кінцями [3], яка додавалася на етапі замішування бетонної суміші у кількості 1% за обсягом бетону.

Одночасно із зразками-оболонками виготовлялися контрольні зразки призми та кубів для визначення фізико-механічних характеристик бетону.

Всі зразки-оболонки мали постійну довжину та радіус поперечного перерізу, а варіювалися товщина оболонки та розміри поперечного перерізу бортових елементів.

Комп'ютерне моделювання оболонки та розрахунки виконано з використанням ліцензійного програмного забезпечення ANSYS 17.1 (ліцензія ANSYS Academic Research Mechanical, Flex ID 4abef353, від 30.05.2016). Несуча здатність, визначена в ANSYS, виявилася в середньому на 3,6% меншою, ніж в експерименті.

Методика випробувань та розроблений стенд мають універсальний характер, і будуть використані для проведення подальших досліджень.

[1] Nieutov, S. P., Korneieva, I. B., Surianinov, M. H., Boiko, O. V., Holovata, Z. O. (2021). Patent na korysnu model №148291 Stend dlia vyznachennia nesuchoi zdatnosti tsylindrychnoi obolonky [Patent for core model No. 148291 Stand for designing the load-bearing structure of a cylindrical shell]. <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1606901>. [in Ukrainian].

[2] DSTU B V.2.7-214:2009 (2010). Betony. Metody vyznachennia mitsnosti za kontrolnymy zrazkamy [Concrete. Methods of delineation of mentality for control eyes] K.: Minrehionbud Ukrainy. [in Ukrainian].

[3] BS EN 14889-1:2006 (2006). Fibres for concrete. Steel fibres. Definitions ad specifications and conformity. BSI.

НОВІТНІ ПІДХОДИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ СТАЛЕВИХ ФЕРМ

THE LATEST APPROACHES TO THE DESIGN OF COMBINED STEEL TRUSSES

д-р техн. наук М.В. Гоголь¹, канд. техн. наук Т.А. Галінська²,
Д.П. Сидорак¹, док. філ. М.М. Гоголь¹

¹Національний університет «Львівська політехніка» (м. Львів)

²Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(м. Полтава)

DSc (Tech.), M.V. Hohol¹, PhD (Tech.), T.A. Galinska²,
D.P. Sydorak¹, PhD (Tech.) M.M. Hohol¹

¹Lviv Polytechnic National University (Lviv)

²National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic" (Poltava)

Сталеві ферми є невід’ємними компонентами в будівельній галузі і вже давно визнані надійною та універсальною конструктивною системою. Конструкція сталевих ферм відіграє вирішальну роль у забезпеченні ефективності. Сталеві ферми становлять одну з основних структурних систем, які вимагають точного та розумного проектування. А комбіновані сталеві ферми, в яких у балці жорсткості зосереджено понад 50 відсотків маси системи, є ще більш ефективними порівняно з традиційними [1].

В останні роки з’явилися інноваційні підходи до проектування сталевих ферм. Технології обчислювального та раціонального проектування зробили революцію в галузі проектування сталевих ферм, дозволивши інженерам розробляти вискоелективні, рентабельні та економічно ефективні структурні системи, які відповідають вимогам сучасного світу. Такі досягнення, як параметричне проектування, 3D-моделювання, цифрове виготовлення, революціонізують спосіб проектування, виготовлення та будівництва сталевих конструкцій.

На даний час в Україні найбільше використовуються і є найбільш ефективними типові сталеві ферми за ДСТУ Б В.2.6-74:2008 (рис. 1) [2] і маса якої для погонного навантаження $q_n = 20$ кН/м складає 2751 кг.

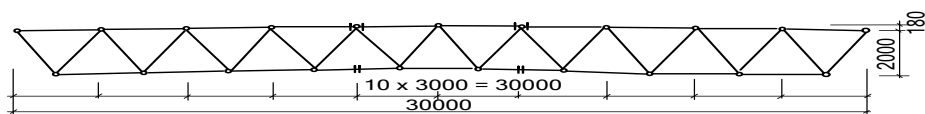


Рис. 1. Схема типової ферми за ДСТУ [3]

Нами, у результаті параметричних досліджень було отримано комбіновану сталеву ферму з раціональними геометричними параметрами (рис.2) [3], яка порівняно з типовою (для такого ж навантаження і прольоту) має меншу масу на 11%, тобто 2478 кг, при цьому кількість елементів складає 21, в типовій 41, а кількість вузлів відповідно 12 і 23, що менше майже у 2 рази, але не досягнули раціональної конструкції по напружено-деформованого стану (НДС).

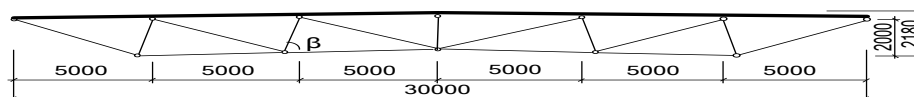


Рис. 2. Схема комбінованої ферми з раціональними геометричними параметрами

Однак, раціональне проектування, як найбільш ефективне, вимагає досягнення (НДС), тобто рівно міцної (рівно напруженої) конструкції в розрахункових поперечних перерізах балки жорсткості комбінованої ферми, якого ми не одержали. Регулювання НДС розрахунковим методом за допомогою опорних і вузлових ексцентриситетів (e_1 - e_3 , рис. 3) дозволяє без додаткових витрат на стадії проектування отримати раціональну конструкцію [1]. Раціональною вважається конструкція, яка має мінімальну масу, технологічність і мінімальну трудомісткість її виготовлення. Прикладення ексцентриситетів на опорах та у вузлах дозволяє створювати згинальні моменти, тим самим збільшуючи або зменшуючи їх значення на опорах, або у вузлах верхнього поясу.

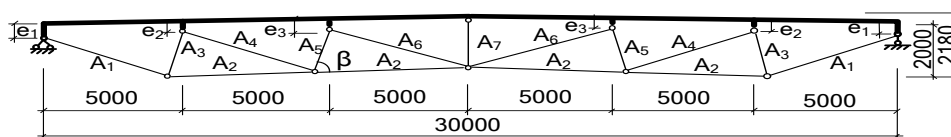


Рис. 3. Схема раціональної комбінованої ферми з регулюванням НДС опорними ексцентриситетами

Розрахунок у програмному середовищі «LIRA-CAD 2016 R5 показав, що маса раціональної комбінованої ферми із регулюванням НДС (для такого ж навантаження і прольоту) – 2353 кг. Таким чином, економія маси за рахунок використання раціональної конструктивної форми становить 11%, а раціональної конструктивної форми із регулюванням НДС – 17% з значним зменшенням технологічних витрат при виготовленні.

Використання новітніх підходів дасть змогу проектувати і реалізувати конкурентоздатні раціональні конструкції порівняно з аналогами і можливість створити економічні і технологічні вирішення, що призведе до значного економічного ефекту.

[1] Гоголь М. В. Регулювання напружень у сталевих комбінованих конструкціях: Монографія. К.: Вид-во «Сталь», 2018. 222 с.

[2] ДСТУ Б В.2.6-74:2008. Конструкції будинків і споруд. Ферми сталеві кроквяні з гнutoзварних профілів прямокутного перерізу. Київ, 2009. 33 с.

[3] Патент на корисну модель № 156643. Раціональна кроквяна сталева ферма / Шимановський О. В., Гоголь М. В., Сидорак Д. П., Гоголь М. М. (Україна), 2024.

УДК 624.012.35:620.173/174

ВИЗНАЧАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ ДІАГРАМИ ДЕФОРМУВАННЯ СТИСНУТОГО БЕТОНУ ЗА ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

MAIN PARAMETERS OF THE DEFORMATION DIAGRAM OF COMPRESSED CONCRETE UNDER DYNAMIC LOADS

*канд. техн. наук О.В. Ромашко-Майструк¹,
д-р техн. наук В.М. Ромашко¹, М.О. Мамчур¹*

*¹Національний університет водного господарства та природокористування
(м. Рівне)*

*PhD. (Tech.), O.V. Romashko-Maistruk¹,
D. Sc. (Tech.), V.M. Romashko¹, M.O. Mamchur¹,*

¹National University of Water and Environmental Engineering (Rivne)

Визначальною особливістю деформаційних моделей є те, що в їх основу закладаються «повні» діаграми деформування бетону, отримані при випробуваннях стандартних призмових або циліндричних зразків статичним навантаженням зі сталою швидкістю його прикладання. Такі діаграми деформування стиснутого бетону проводять через опорні або характерні параметричні точки, визначені за певними (крайовими) граничними умовами. І тут важливо, щоб і вказані точки, і вищезазначені умови були універсальними та мали чіткий фізичний зміст. Тоді трансформування стандартної діаграми деформування стиснутого бетону $\sigma_c - \varepsilon_c$ при зміні швидкості деформування $\dot{\varepsilon}$ буде здійснюватися автоматично за уточненими характеристиками цих параметричних точок. Для бетонних та залізобетонних елементів і конструкцій, що проектуються на сприйняття динамічних навантажень і впливів будь-якої інтенсивності, це є особливо актуальним. У цьому випадку, щоб побудувати трансформовану діаграму деформування стиснутого бетону $\sigma_c - \varepsilon_c$, необхідно мати інформацію про: коефіцієнт динамічного зміцнення бетону (*DIF*), рівень його «граничної» деформативності та змінність модуля пружності.

Аналітичний взаємозв'язок між вищезгаданими статичними та динамічними характеристиками стиснутого бетону було встановлено за допомогою закону збереження питомої потенціальної енергії граничного деформування (руйнування) бетону незалежно від режиму його завантаження [1, 2]. В роботах [3, 4] він представлений функцією граничних значень коефіцієнта динамічного зміцнення стиснутого бетону

$$DIF_u = \frac{f_{ck,du}}{f_{ck}} = \sqrt{\frac{2 \cdot k}{(k-2)} \left[-\frac{1}{2} + \frac{(k-1)^2}{(k-2)} - \left(\frac{k-1}{k-2} \right)^2 \ln(k-1) \right]}, \quad (1)$$

де k - загально визнаний коефіцієнт пружно-пластичних властивостей бетону за дії статичних навантажень $k = E_{co} \cdot \varepsilon_{c1} / f_{ck}$.

В діапазоні швидкостей деформування стиснутого бетону $10^{-6} c^{-1} \leq \dot{\varepsilon} \leq 10^3 c^{-1}$ за допомогою методів числового аналізу було отримано аналітичну залежність коефіцієнта динамічного зміцнення стиснутого бетону у вигляді [3, 4]

$$DIF = f_{ck,d} / f_{ck} = DIF_u^{((1+\log(\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_s))/9)^2} \quad \text{для} \quad \dot{\varepsilon} \geq 10^{-6} c^{-1}, \quad (2)$$

де $\dot{\varepsilon}$ - швидкість деформування стиснутого бетону за дії динамічних навантажень; $\dot{\varepsilon}_s$ - максимальна швидкість деформування стиснутого бетону за дії статичних (квазістатичних) навантажень, $\dot{\varepsilon}_s = 10^{-5} c^{-1}$.

Також за допомогою методів числового аналізу було встановлено взаємозв'язок між коефіцієнтами пружно-пластичності бетону за дії статичних k та динамічних k_d навантажень

$$k_d = 1 + (k-1) \cdot (\log(\dot{\varepsilon}_m / \dot{\varepsilon}) / 9) + k / 5 \cdot (9 - \log(\dot{\varepsilon}_m / \dot{\varepsilon})) \cdot (\log(\dot{\varepsilon}_m / \dot{\varepsilon}) / 18)^2, \quad (3)$$

де $\dot{\varepsilon}_m$ - швидкість деформування стиснутого бетону за дії миттєвого динамічного навантаження, обмежена величиною $\dot{\varepsilon}_m = 10^3 c^{-1}$.

Водночас, зазначені коефіцієнти було пов'язано між собою за допомогою початкового модуля пружності бетону

$$k_d = E_{co} \cdot \varepsilon_{c1,d} / f_{ck,d} = k \cdot f_{ck} / \varepsilon_{c1} \cdot \varepsilon_{c1,d} / f_{ck,d}, \quad (4)$$

що дозволило доволі просто прогнозувати рівень деформативності стиснутого бетону за дії динамічних навантажень

$$\varepsilon_{c1,d} / \varepsilon_{c1} = DIF \cdot k_d / k. \quad (5)$$

Щодо зростання модуля пружності бетону за дії динамічних навантажень $E_{c,d}$, то потреба у його розгляді взагалі відпадає, оскільки пропонується методика розрахунку залізобетонних елементів і конструкцій [5] базується на використанні січного модуля деформацій бетону, пов'язаного з його початковим значенням, тобто з початковим модулем пружності бетону E_{co} .

Таким чином, визначальні параметричні точки діаграми деформування стиснутого бетону $\sigma_c - \varepsilon_c$ пов'язано не лише зі швидкістю деформування стиснутого бетону $\dot{\varepsilon}$, але й із загально визначеним коефіцієнтом його пружно-пластичності за стандартизованих статичних випробувань – $k = E_{co} \cdot \varepsilon_{c1} / f_{ck}$. Інакше кажучи, все це дозволяє прогнозувати не тільки міцність $f_{ck,d}$ та критичні деформації $\varepsilon_{c1,d}$ стиснутого бетону за будь-якої швидкості його деформування, але й доволі просто моделювати діаграму деформування стиснутого бетону за дії динамічних навантажень різної інтенсивності.

- [1] Romashko V. M. and Romashko O. V. Energy resource of reinforced concrete elements and structures for the deformation-force model of their deformation. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2019. Vol. 708. 012068.
- [2] Ромашко В.М., Ромашко-Майструк О.В. Модель та методика розрахунку ресурсу залізобетонних елементів і конструкцій. *Вісник ОДАБА: зб. наук. праць.* 2021. Вип. 84. С. 59-68.
- [3] Ромашко-Майструк О. В., Ромашко В. М. Основні особливості деформування бетону за дії динамічних навантажень. *Зб. наук. праць УкрДУЗТ.* 2023. Вип. 205. С. 60-70.
- [4] Romashko-Maistruk O., Romashko V. Model of concrete deformation under the action of dynamic loads. *Procedia Structural Integrity.* 2024. Vol. 59. P. 352-359.
- [5] Ромашко В.М. Деформаційно-силова модель опору бетону і залізобетону: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01. Львів, 2018. 533 с.

УДК 624.078.7

АЛГОРИТМ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ АРМОВАНИХ БІБЕТОННИХ БАЛОК ПРЯМОКУТНОГО ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ

ALGORITHM FOR STUDYING THE STRESSED-STRAIN STATE OF REINFORCED BI-CONCRETE BEAMS WITH RECTANGULAR CROSS-SECTION

Д.Б. Романенко¹

¹*ВСП «Рубіжанський фаховий коледж» ДЗ «Луганський національний
університет імені Тараса Шевченка» (м. Миргород)*

D.B. Romanenko¹

¹*The Separated Structural Subdivision Rubizhne Professional College
of State Institution «Luhansk Taras Shevchenko National University» (Myrhorod)*

Постановка проблеми. В Україні поширене монолітне будівництво різноманітних об'єктів з використанням залізобетону [1]. Скороченням витрати цементу при цьому можливе за рахунок застосування в розтягнутій зоні згинаних елементів бетону нижчого класу. Цей показник буде ще вищим при виконанні великопротітних балок зі значною висотою поперечного перерізу. На даний час багато робіт присвячено вивченню комбінованих балок після підсилення [2]. Але у той же час, питання нових комбінованих (бібетонних)

залізобетонних конструкцій розкрито не в достатній мірі.

Метою роботи є обґрунтування доцільності та викладення алгоритму дослідження напружено-деформованого стану армованих бібетонних балок прямокутного поперечного перерізу.

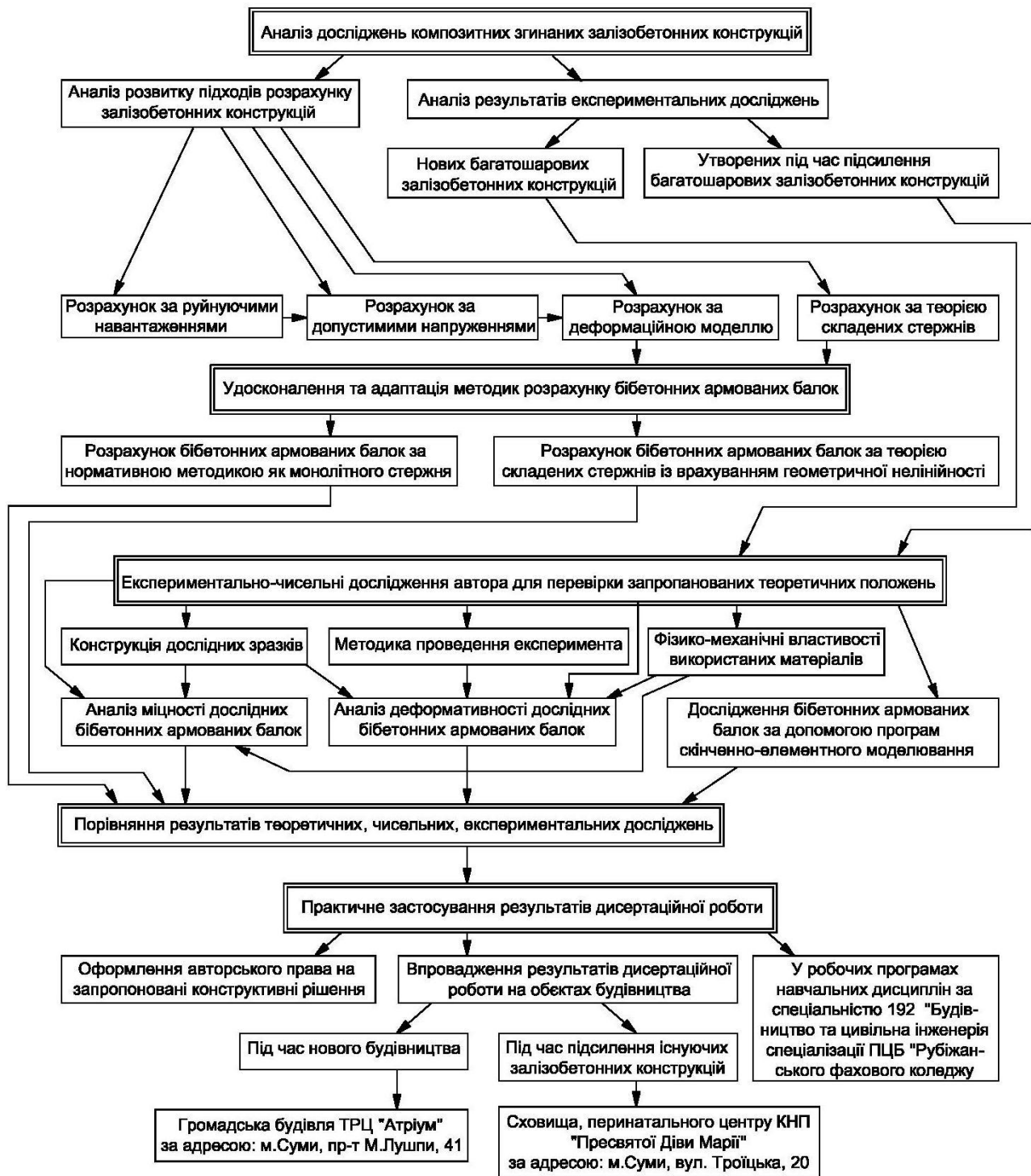


Рис. 1. Структурно-логічна схема досліджень роботи армованих бібетонних балок

Проведені теоретично-чисельні дослідження міцності бібетонних армованих балок, що працюють на згин, свідчать, що бібетонні балки із бетоном меншого класу у розтягнутій зоні здатні сприймати практично аналогічне навантаження

порівняно із балками з одного бетону. Отже, можливо зменшити кошторисну вартість балок. Існуючі теоретичні підходи аналізу роботи контактних швів багатопверхових залізобетонних згинаних конструкцій дозволяють враховувати шорсткість поверхонь бетонів у шві, можливість застосування синтетичних клеїв під час виготовлення, наявність і геометричні параметри шпонок та поперечного армування у контактному шві.

Для підтвердження теоретично-чисельних викладок проведено експериментальні випробування п'яти типів бібетонних балок прямокутного перерізу 100×150 мм робочою довжиною 1200 мм із різним співвідношенням висот бетонів різного класу. Верхня стиснута частина балок виконувалася із бетону класу C20/25, а нижня розтягнута частина – із бетону класу C12/15. Робоче армування виконувалось двома арматурними стержнями Ø12 класу A400C. Балки випробувалися по однопролітній шарнірно опертій схемі.

Результати експериментальних досліджень показують, що найбільший запас несучої здатності мають балки із співвідношенням висот $h_{C20/25}/h_{C12/15}=3$.

[1] Гасенко, А.В., Новицький, О.П., Пенц, В.Ф. (2021). Реконструкція багатопверхових промислових будівель під доступне житло із використанням ресурсозберезувальних конструктивних рішень. *Зб. наук. пр.: Вісник НУВГП. Серія: Технічні науки* 2 (94), 27-40.

[2] Голишев, А.Б., Ткаченко, Й.Н. (2004). *Підсилення несучих залізобетонних конструкцій виробничих будівель та просядочних основ*. К., 219 с.

[3] Романенко, Д.Б. (2023). Чисельне дослідження міцності бібетонних армованих балок, що працюють на згин. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, 8 (39), 70-76.

УДК 624.971:624.014.2

ДОСЛІДЖЕННЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНИХ СТАНІВ АНТЕННИХ СПОРУД ЗВ'ЯЗКУ

STUDY OF ASSESSMENT CRITERIA OF COMMUNICATION ANTENNA STRUCTURES TECHNICAL CONDITION

к.т.н., доцент М.В. Бібік¹, аспірант Ю.О. Падун²
¹ТОВ «СОЛІД ПОЛТАВА» (м. Полтава)

*²Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(м. Полтава)*

PhD, Associate professor, M. V. Bibik¹, Postgraduate student Y. O. Padun²
¹LLC "SOLID POLTAVA" (Poltava)

²National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic» (Poltava)

Постановка проблеми. Бурхливий розвиток мобільного зв'язку на початку 2000-х років став поштовхом до швидкого, масового, подекуди хаотичного і нерегульованого будівництва антенних споруд зв'язку. Велика кількість об'єктів побудована господарським способом з використанням різних конструктивних

типів, без жодної уніфікації та без розробки повного комплексу проектної документації [1]. Це мало ряд негативних наслідків, що в першу чергу відобразилось на надійності антенних споруд, неефективності прийнятих конструктивних рішень та невідповідності до вимог чинного законодавства.

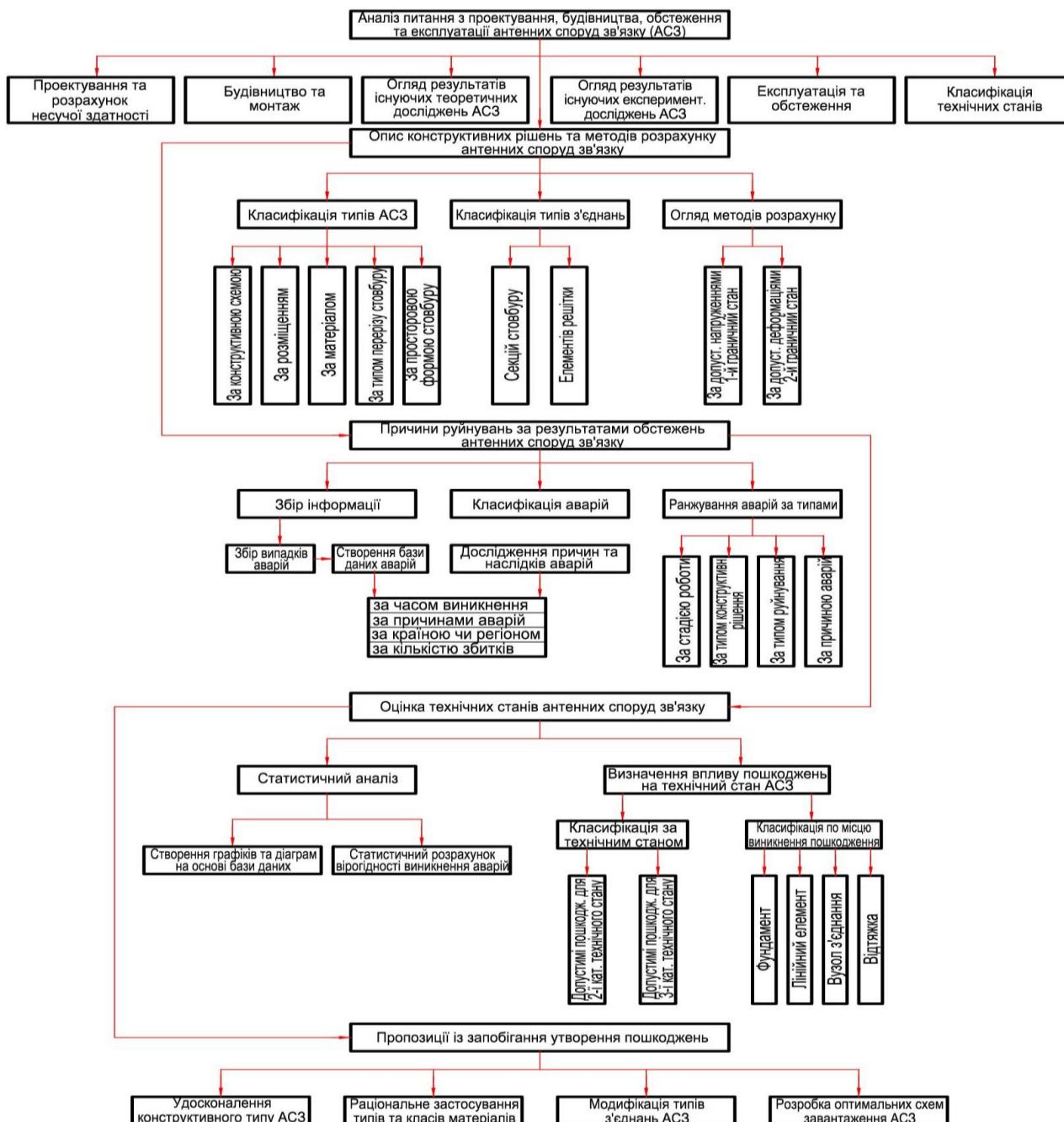


Рис. 1. Структурно-логічна схема дисертаційних досліджень оцінки технічних станів антенних споруд зв'язку

Оцінка технічного стану антенних споруд на прикладі об'єктів мереж операторів стільникового зв'язку протягом 2017-2024 рр. показує актуальність проблеми аварійності та необхідність комплексного підходу до систематизації аварійних дефектів та шляхів їх попередження або вирішення уже існуючих.

Метою роботи є дослідження технічного стану антенних споруд.

Систематика результатів обстежень дозволить вирішити велику кількість проблем, пов'язаних із загальною характеристикою існуючого фонду операторів стільникового зв'язку та передбачити проблеми, що можуть виникнути у майбутньому під час подальшої експлуатації, в т. ч. і їх можливої аварійності. Наявні відомості та дослідження в галузі антенних споруд мобільного зв'язку потребують чіткої класифікації, структуризації та узагальнення (див. рис. 1). Базою для дослідження та аналізу технічного стану антенних споруд зв'язку на території України планується використовувати результати проведених технічних обстежень, паспортизації та архівні дані наявної проектної документації з понад 1800 об'єктів різних мобільних операторів за період 2017-2024 років в Одеській, Миколаївській, Херсонській, Кіровоградській, Полтавській, Сумській, Київській, Житомирській та Вінницькій областях.

[1] Hasenko, A.V., Padun, Y.O. & Bibik, M.V. (2023). The mobile communication antenna structures classification. *Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 2 (61).

УДК 621.7+678

ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ ШВІВ ПЛАСТИКОВИХ ТРУБ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМ СПОСОБОМ

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE STRENGTH OF WELDED SEAMS OF PLASTIC PIPES

канд. техн. наук М.В Павлюченков^{1,2}

¹*Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова (м. Харків)*

²*Сумський національний аграрний університет (м. Суми)*

PhD (Tech.) M.V. Pavliuchenkov^{1,2},

¹*O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv*

²*Sumy National Agrarian University*

Надійність пропіленових трубопроводів багато в чому залежить від якості зварного шва. Для з'єднання труб з термопластичного пропілену застосовується кілька способів зварювання – врозтруб і встик. Стикова технологія знайшла широке застосування у промислових умовах для зварювання пропіленових труб великого діаметра (від 125 мм до 630 мм) при влаштуванні прямих ділянок трубопроводних мереж.

Для випробування використовуються зразки-лопатки типу 1В [1]. Зразки-лопатки виготовлені із фрагментів зварних з'єднань довжиною не менше 0.2 м за допомогою механічної обробки. З кожного контрольованого з'єднання вирубують та вирізають не менше 5 зразків, рівномірно розташованих по периметру шва.

Міцність зварних швів визначається встановленням дослідним шляхом мінімальних зусиль, які призводять до руйнації зразків при їх навантаженні з постійним значенням швидкості збільшення навантаження та наступним розрахунком напружень при дії вказаних зусиль за умови пружної роботи матеріалу. Для проведення випробувань виготовлено дві серії зразків по п'ять зразків-близнюків у кожній серії. Випробування на міцність виконуються за допомогою універсальної гідравлічної машини ГРМ-1 з максимальним розривним зусиллям 50 т. Перед випробуванням визначаються геометричні розміри зразків. Допустима похибка показань машини при статичних навантаженнях не перевищує $\pm 1\%$ від навантаження, яке вимірюється.

По результатах проведених експериментальних випробувань зразків-лопаток можна зробити наступні висновки: середнє значення межі текучості зразків першої серії становить 23.16 МПа; середнє значення межі текучості зразків другої серії становить 21.70 МПа. Характер руйнування зразків показав значні поздовжні деформації поза зоною зварного шва, цілісність зварних швів у всіх випробуваннях не порушена.

[1] ДСТУ EN ISO 527-1 :2017 Пластмаси. Визначення властивостей під час розтягування. Частина 1. Загальні принципи (EN ISO 527-1:2012, IDT; ISO 527-1 :2012, IDT).

УДК 621.874+621.86.01

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГОЛОВНИХ БАЛОК МОСТОВИХ КРАНІВ ІЗ ПОПЕРЕДНЬОЮ НАПРУГОЮ

REFINED MATHEMATICAL MODEL OF MAIN BEAMS OF PRE-STRESSED BRIDGE CRANES

*канд. техн. наук А.Ткачов¹, канд. техн. наук О. Ткачов¹,
канд. техн. наук С. Мироненко²*

¹Одеський національний політехнічний університет, Україна

*²Одеський автомобільно-дорожній фаховий коледж Національного
університету «Одеська політехніка», Україна*

PhD, A. Tkachev¹, PhD, O. Tkachov¹, PhD, S. Myronenko²,

¹Odessa National Polytechnic University, Ukraine

*²Odesa Automobile and Road Professional College of the National University
«Odesa Polytechnic», Ukraine*

У даній роботі розглядаються питання, які пов'язані з напружено-деформаційним станом попередньо напруженого кранового моста. Мета роботи полягає у розробці нової математичної моделі головної балки кранів мостового типу, яка дає можливість дослідити її напружено-деформовану поведінку при

сумісної дії на балку вертикального рухомого навантаження, статичного навантаження від ваги самої балки та осьового ексцентричного навантаження [1].

Наведена нова математична модель базується на загальній теорії стійкості пружних систем, при розробці якої були враховані реальні умови конструктивного виконання кранового моста [2]. Отримані рівняння кривої прогинів цієї балки дозволили провести дослідження та проаналізувати один із головних критеріїв працездатності вантажопідійомних машин – статичної жорсткості та статичної міцності, в залежності від відношення повздовжніх та поперечних сил, що діють на балку [3].

Отримані у даній роботі результати можуть бути у подальшому використані при проектуванні та модернізації кранів з метою підвищення їх вантажопідійомності, продовження терміну їх служби без демонтажу, а також для вдосконалення існуючих інженерних методів розрахунку як на стадіях їх проектування, так і в умовах реальної експлуатації [4].

[1] Бойко І.В. Сучасні методи аналізу напружено-деформованого стану будівельних конструкцій. Київ: Наукова думка, 2019. 320 с.

[2] Ткаченко О.В. Механіка пружних і пластичних систем. Харків: Основа, 2020. 280 с.

[3] Петренко М.О. Розрахунок і проектування металевих конструкцій кранів. Львів: Світ, 2018. 450 с.

[4] Гусак В.Г. Модернізація вантажопідійомного обладнання: теорія та практика. Дніпро: Моноліт, 2021. 356 с.

УДК 614.84

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНОМІРНОСТІ НАГРІВАННЯ ФРАГМЕНТУ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ЗА СТАНДАРТНИМ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ ПОЖЕЖІ

STUDY OF HEATING UNIFORMITY OF STEEL-CONCRETE SLAB FRAGMENT UNDER THE STANDARD FIRE TEMPERATURE REGIME

*д-р техн. наук, доцент О.М. Нуянзін¹, В.О. Степаненко¹,
В.Е. Янішевський², д-р. філософії з пожежної безпеки А.В. Перегін¹,
канд. пед. наук А.О. Майборода¹*

¹Національний університет цивільного захисту України (м. Черкаси)

²ГУ ДСНС України в Одеській області (м. Одеса)

*DrSc (Tech.), O.M. Nuianzin¹, V.O. Stepanenko¹, V.E. Yanishevskiy²,
PhD (Tech.) A.V. Perehin¹, PhD (Gum.) A.O. Maiboroda¹*

¹National University of Civil Protection of Ukraine

²State Emergency Service of Ukraine in Odesa region

Метою роботи був аналіз результатів температурних розподілів теплового впливу пожежі на фрагмент сталезалізобетонних плит з гофрованим профілем

(далі – плит) під час їх нагрівання у компактній малогабаритній вогневій печі та під час моделювання нагріву за аналогічних умов у програмному комплексі CFD.

Для проведення експерименту було використано малогабаритну вогневу піч для дослідження теплового впливу пожежі на будівельні конструкції [1-2].

До початку випробувань встановлено термопари датчики контролю температури в просторі камери вогневої печі та на зразку:

- у камері вогневої печі розташовані 3 термопари типу ТХА для контролю температурного режиму та його увідповіднення зі стандартним;
- на обігрівальній поверхні зразка та на рівні арматури по 3 термопари;
- на необігрівальній поверхні: 5 терморезисторів із діапазоном замірювання 0 - 300 °С;
- контрольні точки в середині перерізу плити: 2 терморезистора.

На рис. 1 відображено результати показників термопар на обігрівній, необігрівній поверхні, на рівні арматури та у контрольних точках.

Для створення геометричних моделей було використано САD-програмний комплекс. Створено модель вогневої печі та будівельної конструкції. 3-D модель було імпортовано у програмний комплекс CFD.

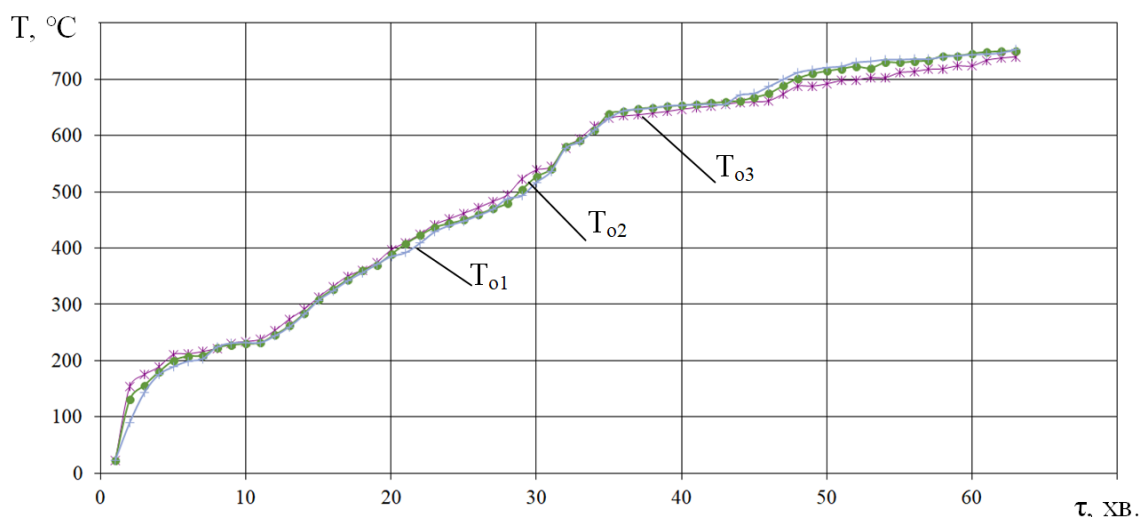


Рис. 1. Результати вимірювання температури на обігрівній поверхні досліджуваного зразка: T_{o1}–T_{o3} – показники термопар (рис. 4).

З метою візуалізації процесу розрахунку та отриманих результатів було створено заливку кольорів усередині камери печі та на поверхні конструкцій. Загальний вигляд початку розрахунку представлено на рис. 2.

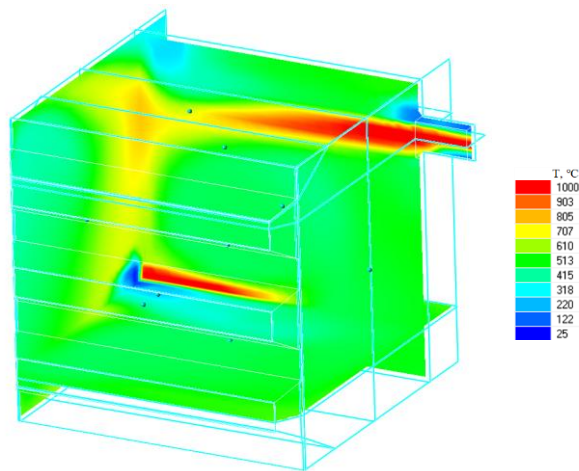


Рис. 2. Візуалізація процесу розрахунку

Під час моделювання температурний режим пожежі відповідав стандартному [1]. З цією метою, у процесі розрахунку коригувалася інтенсивність подачі горючої речовини.

Таким чином, за результатами роботи було досліджено вплив конфігурації малогабаритної вогневої установки на рівномірність нагрівання поверхні сталезалізобетонної плити.

[1] Нуязін О. М. Розвиток наукових основ оцінювання вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій з використанням малогабаритних модульних вогневих печей. Дис. ... д-р. техн. наук : 21.06.02, Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2023, 418 с.

[2] Перегін А. В. Удосконалення експериментально-розрахункового методу оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін. Дис. ... д-р філософії : 261, Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2024, 162 с.

**МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗШИРЕННЯ ТРИЩИН ДЛЯ БЕТОННИХ
ТА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

**CRACKS SPREADING PROGNOSTICATION METHOD FOR CONCRETE
AND REINFORCED CONCRETE ELEMENTS**

к.т.н., доц. В.П. Мітрофанов¹, к.т.н., доц. П.Б. Митрофанов²

¹*Центр передових методів розрахунку залізобетонних конструкцій,
Полтава, Україна*

²*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

PhD (Tech.), V.P. Mitrofanov¹, PhD (Tech.), P.B. Mytrofanov²

¹*Center for Advanced Design Methods of Concrete Structures,
Poltava, Ukraine*

²*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

The rupture cracks development, brittle failure and design for prevention the brittle failure of concrete elements is considered [1-3]. Under the brittle failure of being tested elements the undulating relationship “Load F – crack length l ” is observed. This curve $F=f(l)$ includes initial ascending and subsequent disascending branches, separated with the maximum point of critical crack length l_{cr} and critical (maximal, ultimate) load F_{cr} , which determine the strength under brittle failure. Thus, the adequate model of brittle failure ought to determine the relationship $F=f(l)$ together with it’s the critical values l_{cr} and F_{cr} , which solve the practical problem of prevention the brittle failure. Nevertheless, the receipt of accurate enough relationship $F=f(l)$ is impossible or highly difficult through the known Fracture Mechanics (FM) models. Therefore, for overcoming of the known FM model’s demerits the specific FM model is offered, which is based on modelling the stress distribution only along the crack Fracture Process Zone (FPZ [4]) with elastic concrete behavior out of the FPZ. Thus, peculiar stress distribution was called “Physically Verisimilar Stress (PVS)” and the latter is accepted as basis of the being offered PVS model, which uses three material parameters: maximal stress σ_m , intra-structural linear size “ a ” and dimensionless value “ n ”, taking into account the plastic properties of material. The PVS model concrete parameters, obtained in the authors tests, are suggested.

Strength problems are solved by the “Modified Method of the Sections (MMS)”, in which the PVS is applied along the FPZ unlike the known Method of Sections with the asymptotic stresses in the FPZ. The uses system of equations reflects in detail the equilibrium of external and internal forces of elements with crack and the one is sufficient for different problems solving without strains consideration, that simplifies essentially designs. As a result, the offered design method is “static method of

ultimate equilibrium” for brittle failure, in which the strength criterion is just the PVS.

The PVS model and the MMS lead to acceptable in practice method of strength design, which is considerably simpler than widespread in FM of concrete the Phase Field Method, demanding the highly complicated computer programs, based on the complex Finite Element Method, while the MMS can be realized by means of the Table Processor MS Excel programs and by other easy models.

The offered PVS model and the MMS allow to predict the crack development as its initial stable growing up to the critical (ultimate) values of the crack length l_{cr} and load F_{cr} as subsequent unstable crack spreading [5].

Development of the “crack-FPZ combination” was considered on the basis of thermodynamic notions, laws and methods as the new phases origin in the concrete structure. The thermodynamic approach led to the relationships, confirming the PVS model.

The examples of designs are stated and sufficient nearness of the theoretic strength to experimental one is shown. Herewith the infinite tensile plate with crack (Griffith`s problem), long tensile strips with central and with one-sided cracks, concrete and reinforced concrete bending elements with one-sided cracks are considered.

[1] Rosati G.P., Meda A., Guerrini G.L. Strength and brittleness of high-performance concrete slabs // 5th Int. Symp. on Utilization of HS/HP concrete (Sandefjord, Norway, 1999). Ed. Holland I. and Sellevold E.J. – 1999. – 1. – P.588-597.

[2] Tada, H., Paris, P.C. & Irwin, G.R. (2000). The Stress Analysis of Cracks Handbook. 3rd Edition. ASME Press, New York.

[3] Bazant, Z.P., Donmez, A.A. and Nguyen, H.T., “Precis of gap test results requiring reappraisal of line crack and phase-field models of fracture mechanics”, *Engineering structures*, v.250, 2022, pp.113-285.

[4] Bazant, Z.P., “Concrete fracture models: testing and practice”, *Engineering Fracture Mechanics*, v.69, 2002, pp.165 – 205.

[5] Мітрофанов В.П. Розрахунок міцності бетонних елементів з тріщинами на основі спеціального розподілу напруження за краєм тріщини / В.П. Мітрофанов, П.Б. Митрофанов / Нові технології в будівництві, (42). ДП «НДІБВ». - Київ, 2023. с.18-28.

МОДЕЛЮВАННЯ ГРАНИЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ЗАХИСНИХ СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ЗА ЕКСТРЕМАЛЬНИМ КРИТЕРІЄМ ПРИ НАВАНТАЖЕННЯХ ВІД ВИБУХОВОЇ ХВИЛІ

MODELING THE LIMIT STATE OF CIVIL DEFENSE PROTECTIVE STRUCTURES UNDER EXTREME CRITERIA FOR BLAST WAVE LOADS

*канд. техн. наук О.В. Лобяк¹, канд. техн. наук О.В. Опанасенко¹,
д-р техн. наук О.П. Воскобійник²*

¹*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

²*Міністерство розвитку громад та територій України (м. Київ)*

**PhD. (Tech.), O.V. Lobiak¹, PhD (Tech) O.V.Opanacenko¹,
Dr.Sc. (Tech.) O.P. Voskobiinyk²,**

¹*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

²*Ministry of the Development of Communities and Territories of Ukraine (Kyiv)*

Сучасні вимоги до проектування захисних споруд цивільного захисту та споруд подвійного призначення передбачають розрахунок на вплив комбінацій навантажень при основній і аварійній розрахункових ситуаціях [1]. При розрахунках на аварійні комбінації враховується квазістатичне навантаження від дії повітряної ударної хвилі відповідно класу чи групи захисної споруди. У свою чергу, квазістатичне навантаження залежить від еквівалентного статичного навантаження у відповідності до схеми розташування споруди.

За критерій вичерпання несучої здатності перерізів приймається екстремальний критерій, що припускає ознаки руйнування за умови збереження цілісності споруди і безпеки людей. Ознакою екстремального критерію є втрата рівноваги між внутрішніми та зовнішніми зусиллями (досягнення максимуму на діаграмах «навантаження – прогин»).

Реалізація даного підходу можлива із застосуванням методу скінченних елементів в фізично-нелінійній постановці і кроковим навантаженням. Враховуючи те, що дане питання недостатньо визначено у [1], сформовано загальну мету даної роботи – розробити методику розрахунку захисної споруди на дію повітряної ударної хвилі із застосуванням програмного комплексу Ліра-САПР [2] і екстремального критерію.

Прикладом реалізації методики є одноповерхова будівля місткістю 180 чоловік, яка виходить за межі загального об'єкту і у мирний час буде використовуватися за іншим призначенням. Конструктивне рішення будівлі – безкаркасна, з несучими стінами. Фундаменти – стрічкові зі збірних бетонних блоків або стовпчасті, монолітні залізобетонні. Колони – цегляні, покриття – зі збірних круглопустотних плит. Плити спираються на зовнішні стіни та на збірні

залізобетонні балки покриття. Капітальні зовнішні стіни виконано зі збірних бетонних блоків товщиною 500 мм та частково – з монолітного залізобетонну. Попередній розрахунок на тиск повітряної ударної хвилі показав недостатню несучу здатність покриття. Для збільшення несучої здатності конструкцій запропоновано підсилення шляхом додавання робочої арматури в розтягнуту зону плит, збільшення кількості поперечної арматури та збільшення робочої висоти плити (додавання бетону у стиснуту зону плити покриття). Для ригелів запропоновано змінення їх розрахункової схеми (однопрогінні балки перетворюються в двохпрогінні додаванням сталевих стоек).

Розрахункову схему складено з фізично нелінійних елементів оболонки і стержневих скінчених елементів в середовищі програмного комплексу Ліра-САПР [2]. Загальний вигляд моделі представлено на рис. 1.

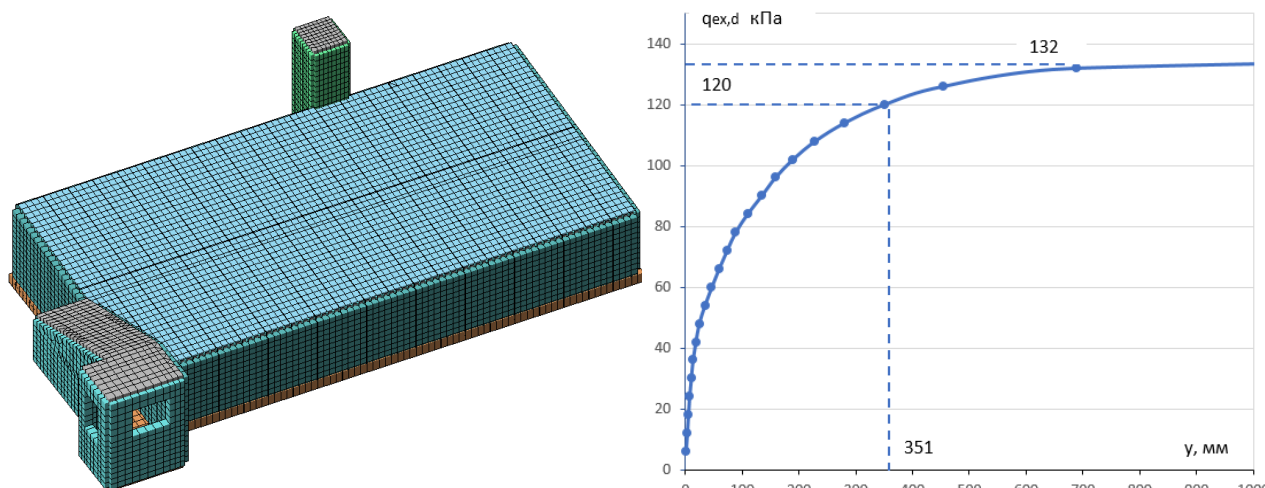


Рис. 1. Загальний вигляд розрахункової схеми і діаграма «навантаження-прогин»

Головні припущення методики:

- розрахунок виконано в фізично нелінійній постановці з характеристиками арматури для екстремального стану з тимчасовим опором сталі;
- розрахунок виконано кроково-ітераційним способом до моменту перетворення системи у геометрично невизначену систему;
- роботу ґрунтів під основою фундаментів враховано коефіцієнтами постелі у відповідності до тривимірної моделі ґрунтової основи;
- об'єднання в сумісну роботу існуючого диску перекриття і накладної плити враховано жорсткими вставками (клавішний ефект вихідного перекриття враховано зазорами між плитами).

Визначальним елементом конструкції встановлено покриття, втрата геометричної цілісності якого відбувається першим. За результатами розрахунку встановлено, що максимум на діаграмі «навантаження – прогин» досягається при навантаженні 132 кПа (110% від розрахункового навантаження), що відповідає коефіцієнту вичерпання 0.91.

При граничних навантаженнях від ударної хвилі мають місце окремі ознаки руйнування (тріщини в бетоні, розкриття тріщин, розрив окремих арматурних стержнів), але цілісність споруди і безпека людей – забезпечена.

[1] ДБН В.2.2-5:2023 Захисні споруди цивільного захисту.

[2] Gorodetsky A.S., Evzerov I.D. Computer models of structures. Kiev: Fact. 2007 – 394 p.

УДК 539.3

ПРО АНАЛІТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК БАЛКИ НА ПРУЖНІЙ ОСНОВІ ЗІ СТЕПЕНЕВОЮ НЕОДНОРІДНІСТЮ

ABOUT ANALYTICAL CALCULATION OF A BEAM ON AN ELASTIC FOUNDATION WITH RANGE INHOMOGENITY

*д-р техн. наук Ю.С. Крутій¹, д-р техн. наук М.Г. Сур'янінов¹,
канд. техн. наук А.О. Перпері¹, В.В. Вакуленко¹*

¹*Одеська державна академія будівництва та архітектури (м. Одеса)*

*Dr.Sc. (Tech.), Yu. S. Krutii¹, Dr.Sc. (Tech.), M.G. Surianinov¹,
PhD (Tech.), A.O. Perperi¹, V.V. Vakulenko¹*

¹*Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odesa)*

Розглянуто задачу про статичний розрахунок призматичної балки сталої жорсткості EI , яка опирається на суцільну неоднорідну пружну основу Вінклера та знаходиться під впливом рівномірно розподіленого навантаження q . Лівий кінець балки вважається шарнірно обпертим, а правий – затиснутим (рис. 1).

Досліджено випадок, коли коефіцієнт постелі $k(x)$, який характеризує неоднорідність пружної основи, виражається степеневою функцією

$$k(x) = k(l) \left(\frac{x}{l} \right)^m, \quad m \geq 0, \quad (1)$$

де $k(l)$ – значення коефіцієнту постелі в точці $x = l$.

Аналітична методика розрахунку ґрунтується на результатах, отриманих в статті [1], де знайдено точний розв'язок диференціального рівняння згину балки

$$EI y''''(x) + k(x)y(x) = q(x), \quad (2)$$

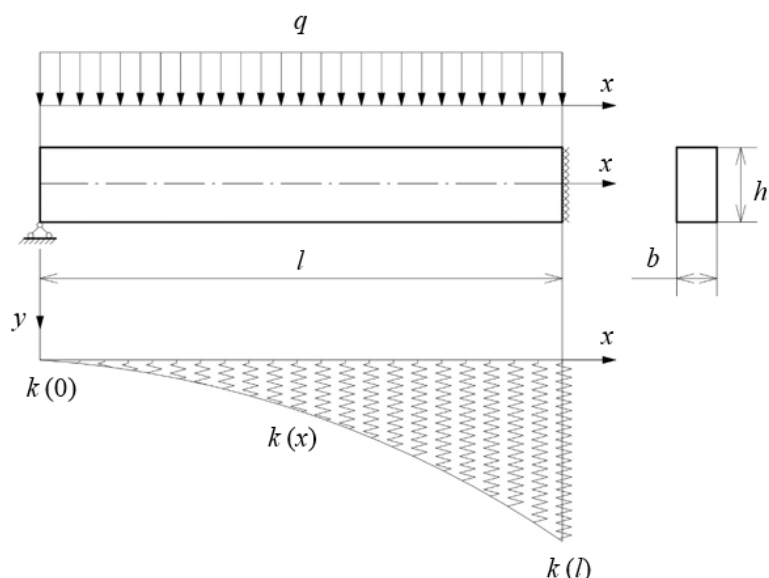


Рис. 1. Розрахункова схема балки

Тут у загальному випадку погонний коефіцієнт постелі $k(x)$ та поперечне навантаження $q(x)$ задаються довільними неперервними функціями.

Точний розв'язок диференціального рівняння (2), відповідний випадку (1), визначається наступною сукупністю формул:

$$y(x) = y(0)X_1(x) + \varphi(0)lX_2(x) - M(0)\frac{l^2}{EI}X_3(x) - Q(0)\frac{l^3}{EI}X_4(x) + \frac{ql^4}{EI}X_5(x);$$

$$X_n(x) = \frac{1}{(n-1)!} \left(\frac{x}{l}\right)^{n-1} \left[1 + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-K)^k}{P_{n,1,m} P_{n,2,2m} \cdots P_{n,k,km}} \left(\frac{x}{l}\right)^{k(m+4)} \right] \quad (n=1,2,3,4,5);$$

$$P_{n,k,km} = (n+km+4k-4)(n+km+4k-3)(n+km+4k-2)(n+km+4k-1);$$

$$K = \frac{l^4 k(l)}{EI},$$

де $y(0)$, $\varphi(0)$, $M(0)$, $Q(0)$ – значення прогину, кута повороту, згинального моменту та поперечної сили в точці $x=0$ (так звані початкові параметри, для визначення яких слугуватимуть задані граничні умови).

Ґрунтуючись на точному розв'язку, проведені розрахунки балки при таких вихідних даних: $E = 1,5 \cdot 10^7 \text{ кПа}$; довжина балки $l = 5 \text{ м}$; ширина підшви балки $b = 0,4 \text{ м}$; висота балки $h = 0,6 \text{ м}$; $k(l) = 4 \cdot 10^3 \text{ кН / м}^2$; $q = 60 \text{ кН / м}$. Для $m=2,3,4$ обчислені значення параметрів напружено-деформованого стану балки – прогину, кута повороту, згинального моменту та поперечної сили. На рис. 2, 3 в графічному форматі частково представлені результати розрахунків, що відповідають випадку $m=3$.

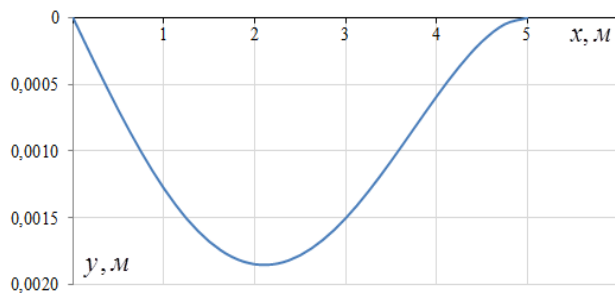


Рис. 2. Графік функції прогинів

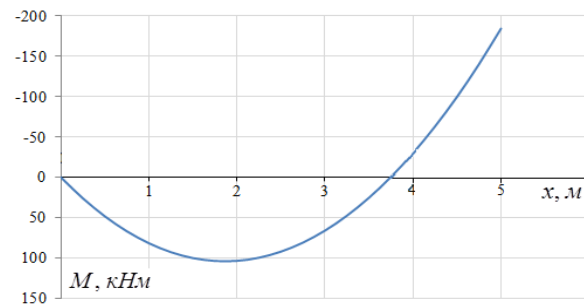


Рис. 3. Графік функції згинального моменту

[1] Krutii, Y., Surianinov, M., Petrash, S., & Yezhov, M. Development of an analytical method for calculating beams on a variable elastic Winkler foundation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1162(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1162/1/012009>

УДК 539.3

ТОЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ БАЛКИ НА НЕОДНОРІДНІЙ ПРУЖНІЙ ОСНОВІ

EXACT SOLUTION OF THE DIFFERENTIAL EQUATION OF FREE VIBRATIONS OF A BEAM ON AN INHOMOGENEOUS ELASTIC FOUNDATION

д-р техн. наук Ю.С. Крутій¹, канд. техн. наук А.О.Перпері¹, Н.А. Теорло¹
¹Одеська державна академія будівництва та архітектури (м. Одеса)

Dr.Sc. (Tech.), Yu. S. Krutii¹, PhD (Tech), A.O. Perperi¹, N.A. Teorlo¹
¹Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odesa)

Розглядається задача про вільні згинальні коливання балки Ейлера-Бернуллі сталої жорсткості EI , яка опирається на неоднорідну суцільну пружну основу Вінклера. Загальну схему коливань зображено на рис. 1.

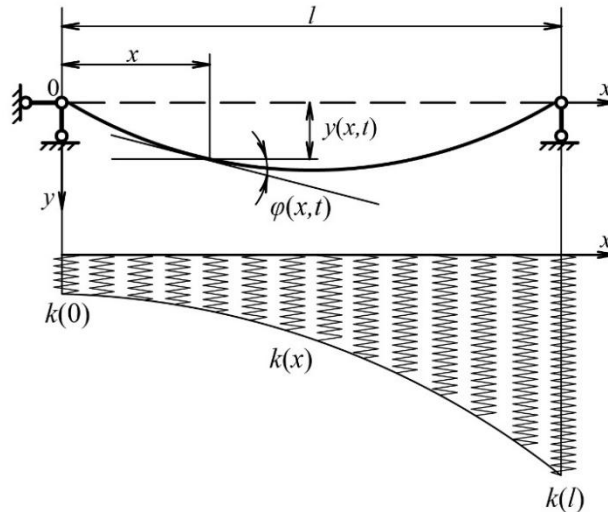


Рис. 1. Розрахункова схема коливань балки на неоднорідній пружній основі

Неоднорідність пружної основи характеризується змінним погонним коефіцієнтом постелі $k(x)$, який у загальному випадку може являти собою будь-яку неперервну функцію. Для $k(x)$ прийнято подання $k(x) = k_0 B(x)$, де k_0 – значення коефіцієнту постелі у деякій характерній точці балки (наприклад у точці $x=0$), а $B(x)$ – неперервна безрозмірна функція, якою визначається закон зміни коефіцієнту постелі уздовж довжини балки.

Диференціальне рівняння вільних коливань балки, матиме вигляд

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + k_0 B(x) y = 0, \quad (3)$$

де m – інтенсивність розподіленої маси (погонна маса) балки.

Виконавши в даному рівнянні стандартну підстановку методу Фур'є $y(x,t) = v(x)T(t)$ та розділивши змінні, матимемо два наступні звичайні диференціальні рівняння відносно функції часу $T(t)$ та амплітудної функції прогинів $v(x)$:

$$T''(t) + \omega^2 T(t) = 0; \quad (4)$$

$$v''''(x) + \frac{1}{l^4} (KB(x) - \Omega^2) v(x) = 0, \quad (5)$$

де ω – частота вільних коливань балки,

$$K = \frac{k_0 l^4}{EI}, \quad \Omega^2 = \frac{m \omega^2 l^4}{EI}.$$

Розв'язок рівняння (4) очевидний

$$T(t) = T(0) \cos \omega t + \frac{T(0)}{\omega} \sin \omega t .$$

Головна проблема полягає у знаходженні розв'язку диференціального рівняння (5). Точний розв'язок цього рівняння знаходиться методом прямого інтегрування, який запропоновано та розвинуто в роботі [1]. Він визначається наступною сукупністю формул:

$$y(x) = C_1 X_1(x) + C_2 X_2(x) + C_3 X_3(x) + C_4 X_4(x);$$

$$X_n(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} (-K)^k \Omega^{2m} \alpha_{n,m,k}(x); \quad (6)$$

$$\alpha_{n,0,0}(x) = \frac{1}{(n-1)!} \left(\frac{x}{l}\right)^{n-1} \quad (n=1,2,3,4); \quad (7)$$

$$\alpha_{n,m,0}(x) = \frac{1}{(n+4m-1)!} \left(\frac{x}{l}\right)^{n+4m-1} \quad (m=1,2,3,\dots); \quad (8)$$

$$\alpha_{n,0,k}(x) = \frac{1}{l^4} \int_0^x \int_0^x \int_0^x \int_0^x B(x) \alpha_{n,0,k-1}(x) dx dx dx dx \quad (k=1,2,3,\dots); \quad (9)$$

$$\alpha_{n,m,k}(x) = \frac{1}{l^4} \int_0^x \int_0^x \int_0^x \int_0^x (B(x) \alpha_{n,m,k-1}(x) + \alpha_{n,m-1,k}(x)) dx dx dx dx \quad (m=1,2,3,\dots)(k=1,2,3,\dots), \quad (10)$$

де C_1, C_2, C_3, C_4 – сталі інтегрування. Змінні коефіцієнти ряду (6) тут послідовно визначаються по рекурентним формулам (7)-(10).

[1] Крутій, Ю. С. (2016). *Розробка методу розв'язання задач стійкості і коливань деформівних систем зі змінними неперервними параметрами* [Дис. д-ра техн. наук, Луцький національний технічний університет]. Україніка наукова.

DETERMINATION OF RATIONAL GEOMETRIC PARAMETERS OF ROPE DRUM

*PhD (Tech.), L.M. Kozar¹, PhD (Tech.), A.V. Yevtushenko¹, PhD (Tech.),
Y.V. Romanovych¹, PhD student, M.L. Kozar¹*

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

A double-ended lifting is widely used in the Ukraine's mining industry. Hoists with a single split drum are more compact and less material intensive in comparison to two-drum hoists, which use a separate drum for each of the ropes.

In this mine hoist, the drum consists of two parts – a wide jammed part and a narrow adjustable part, with a clearance of 3 to 5 mm between them. The jammed part of the drum is used for winding and unwinding both ropes. This design allows a significant reduction of the physical dimensions and the metal capacity of the mine hoist.

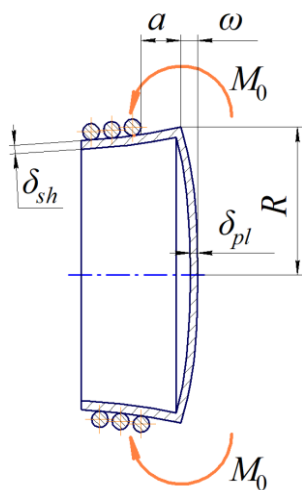
A split drum comprises two essential parts – a wide one, which is rigidly fixed onto the shaft, and a narrow part, which is mounted on bearings and can be connected to the shaft using the decoupling device. This design allows changing the hosting height by varying the length of the rope. In operation, one of the ropes passes the split while being wound onto the drum. According to the technical specifications, the clearance between two drum parts must be 3 to 5 mm wide. However, the drum's deformation due to the forces caused by the wounded rope may increase the clearance beyond the defined limit [1].

There are other problems related to the operation of mine hoists' drums. Algorithms for determining their stress-strain state have been previously developed. In particular, for the drum's shell, which is reinforced with stiffening elements, considering the specific placement of the stiffeners [2].

Using a mathematical model, we determined the dynamic response factors for oscillations at the starting stage of lifting, which ranged between 1.71 and 2.12 for the ropes. Oscillations are caused by the instantaneous application of external moments to the motor rotor and the end loads [3].

Based on the computational scheme (Fig. 1), we built the analytical model using the theory of elasticity. The model allows us to determine the plate flexure depending on the load of the coiled rope. The linear bending moment takes the dynamic response factors into account [3].

The result of modeling is presented on graphs (Fig. 2, 3). By analyzing these graphs we found that a 100% increase in the shell thickness reduces the plate flexure by 30% and increases the overall mass of the drum by 52%.



R – drum radius, $R = 3,1$ m;
 δ_{sh} – shell thickness, m;
 δ_{pl} – plate thickness, m;
 a – distance between plate and nearest coil of rope, m;
 ω – plate flexure, m;
 M_0 – linear bending moment, N·m/m

Fig. 1. Computational scheme for building of the analytical model

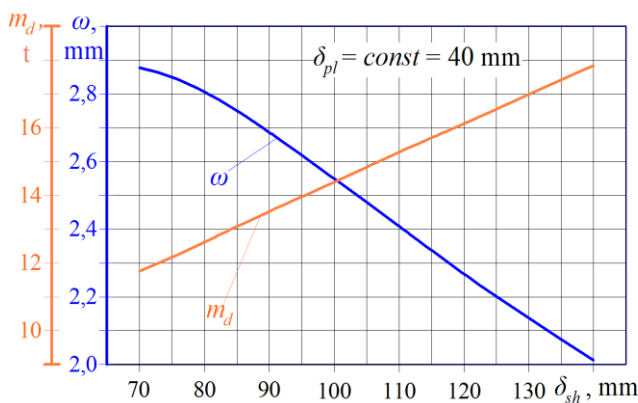


Fig. 2. Relationship between plate flexure ω , drum's mass m_d , and shell's thickness δ_{sh}

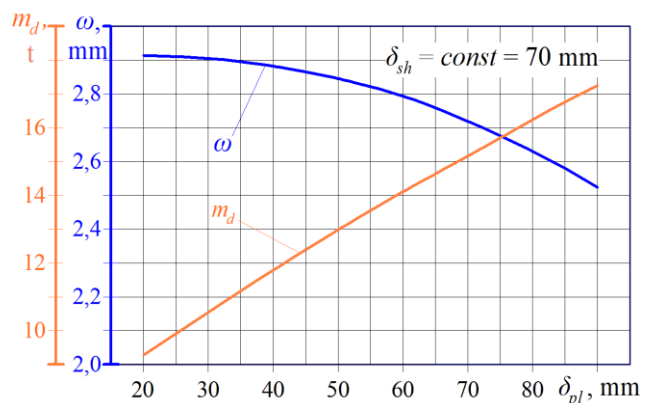


Fig. 3. Relationship between plate flexure ω , drum's mass m_d , and plate's thickness δ_{pl}

On the other hand, increasing the thickness of the plate to the value that corresponds to equal mass growth decreases the plate flexure by only 16%. Therefore, the thickness of the plate is a major factor affecting the plate flexure caused by the load of the coiled rope. This has to be considered in the design of rope drums.

[1] Kozar L.M. (2004). The Influence of dynamic and static loads of a split elevating drum on its work stability during the passing of a cable rope through a split. Kharkiv: Ukrainian Engineering Pedagogics Academy [in Ukrainian].
 [2] Fidrovskaya, N., Slepuzhnikov, E., Nesterenko, V., & Musaiev Z. (2023). Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University, 101, Vol. 2. 142-146. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.142-146>.
 [3] Kozar L., Romanovych Y., Afanasov H., Pashchenko V., & Radionov H. (2018). Mathematical Modeling of Torsional and Longitudinal Oscillations in a Mine Winding Plant as a Multiinass System. International Journal of Engineering & Technology, Vol. 7, No. 4.3, 53-57. Retrieved from: <http://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/19551>.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГИНІВ В ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ДВОШАРНИРНИХ АРКАХ З ВИСОКОМІЦНОГО БЕТОНУ НА ДІЮ КОРОТКОЧАСНИХ СТАТИЧНИХ ОДНОРАЗОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

INVESTIGATION OF DEFLECTIONS IN REINFORCED CONCRETE DOUBLE-HINGED ARCHES MADE OF HIGH-STRENGTH CONCRETE UNDER SHORT-TERM STATIC SINGLE LOADS

доктор філософії Б.В. Караван¹, канд. техн. наук В.В. Караван¹, докт. техн. наук С.В. Філіпчук¹, аспірант П.П. Попрожук¹

¹Національний університет водного господарства та природокористування (м.Рівне)

Ph.D, B.V. Karavan¹, Ph.D. (Tech.), V.V. Karavan¹, Dr.Sci. (Tech.), S.V. Filipchuk¹, postgraduate student P.P. Poprozhuk¹

¹The National University of Water and Environmental Engineering (Rivne)

Дослідні залізобетонні арки А1, А2, А3, виготовлені із високоміцного швидкотверднучого бетону [1], з/без затяжки випробовувались на дію статичного короткочасного одноразового навантаження до руйнування (рис.1, рис.2) за схемою наведеною в [2].

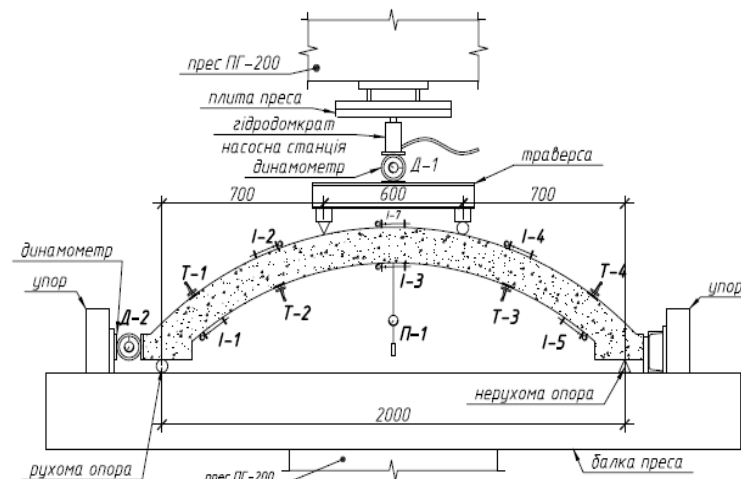


Рис. 1. Схема випробування арки А1 без затяжки, де: Т-1...Т-4 – тензометри Гугенбергера; І-1...І-7 – індикатори годинникового типу 1(2) МИГ; П-1 – прогиномір 6ПАО; Д-1, Д-2 – динамометр

При навантаженні арки А1 $F_u = 105$ кН прогин поясу арки становив $f = 7$ мм, що менше гранично-допустимого значення $f_u = 1/150l = 13,3$ мм [3, 4]. Приріст прогинів на ступенях навантаження в 5 кН становив: при $F = 10$ кН – $\Delta f = 0,14$ мм, в діапазоні $F = 15...70$ кН – в середньому $\Delta f = 0,25$ мм, в діапазоні

$F = 75 \dots 90$ кН – в середньому $\Delta f = 0,5$ мм, при $F = 98$ кН і $F = 105$ кН – $\Delta f = 0,7$ мм. Залежність прогину поясу арки від навантажень до $F = 70$ кН має лінійний характер.

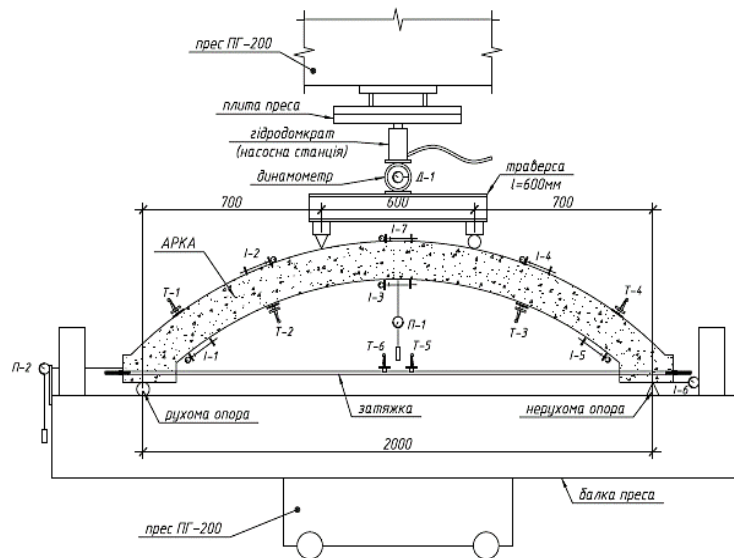


Рис. 2. Схема випробування арки А2, А3 із затяжкою, де: Т-1...Т-6 – тензометри Гугенбергера; І-1...І-7 – індикатори годинникового типу 1(2)МИГ; П-1, П-2 – прогиномір 6ПАО; Д-1 – динамометр

При навантаженні арки **А2** $F = 50$ кН до розриву затяжки прогин поясу арки становив $f = 12,7$ мм, при розвантаженні до $F = 23$ кН значення прогину складо $f = 8,6$ мм, а при руйнуванні за $F_u = 100$ кН прогин в середині арки був $f = 13,3$ мм, що дорівнює гранично-допустимому значенню $f_u = 1/150l = 13,3$ мм. Приріст прогинів на ступенях навантаження становив: в діапазоні $F = 10 \dots 30$ кН – в середньому $\Delta f = 1,2$ мм, в діапазоні $F = 35 \dots 50$ кН до розриву затяжки – в середньому $\Delta f = 1,7$ мм. Приріст прогинів на ступенях навантаження після розриву затяжки в діапазоні $F = 35 \dots 100$ кН складав в середньому $\Delta f = 0,3$ мм, що відповідає приросту прогинів на ступенях навантаження арки А1, яка випробовувалась за такою ж схемою.

При навантаженні арки **А3** $F_u = 130$ кН прогин поясу арки становив $f = 12,5$ мм, що менше гранично-допустимого значення $f_u = 1/150l = 13,3$ мм. Приріст прогинів на ступенях навантаження становив: в діапазоні $F = 5 \dots 85$ кН – в середньому $\Delta f = 0,4$ мм, в діапазоні $F = 90 \dots 130$ кН – в середньому $\Delta f = 0,67$ мм на 5 кН навантаження. Залежність прогину поясу арки від навантажень до $F = 85$ кН має лінійний характер.

Висновок. На ступенях навантаження, для арок А1...А3, при $F = 90 \dots 130$ кН, приріст прогинів збільшуються, що пов'язано зі збільшенням пластичних деформацій у бетоні та надмірним розкриттям тріщин [5]. Зі збільшенням навантаження, приріст прогинів на ступенях суттєво збільшуються, що пов'язано зі збільшенням пластичних деформацій бетону, утворенням та розвитком тріщин та, в загальному, зі зменшенням жорсткості поясу.

- [1] Дворкін Л.Й. Міцність бетону: Навчальний посібник / Дворкін Л.Й. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. 310 с.
- [2] Бабич Є. М., Караван Б. В. Результати експериментальних досліджень залізобетонної арки з високоміцного бетону. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. Вип. 42. Рівне, 2022. с. 76-85.
- [3] Бамбура А. М., Сазонова І. Р., Дорогова О. В., Войцехівський О. В. Проектування залізобетонних конструкцій: посібник. Київ: Майстер книг, 2018. 240 с.
- [4] ДСТУ 9208:2022. Бетони важкі. Технічні умови. [Чинний від 01.09.2023]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2023. 12 с.
- [5] Asal Pournaghshband. Form-finding of Arch Structures – 2016. University of Warwick, School of Engineering.

УДК 624.74. 2.041.6

ГНУЧКІ ПЛАСТИНИ НА СТОВПАХ І ВІЛЬНИМ ОПИРАННЯМ ДВОХ ПРОМІЖНИХ СТОРІН

FLEXIBLE PLATES ON COLUMNS WITH FREE SUPPORT ON TWO INTERMEDIATE SIDES

*докт. техн. наук, проф. В.П. Кожушко¹,
докт. техн. наук, проф. С.О. Бугаєвський¹,
канд. техн. наук, доц. С.М. Краснов¹*

¹*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

*Dr. of Technical Sciences, Prof. V.P. Kozhushko¹,
Dr. of Technical Sciences, Prof. S.O. Bugayevsky¹,
Ph.D. in Technical Sciences, Assoc. Prof. S.M. Krasnov¹*
¹*Kharkiv National Automobile and Highway University*

Актуальність проблеми полягає у тому, що плити з зазначеними умовами опирання часто застосовують при будівництві, але робіт, присвячених визначенню напружено-деформівного їх стану, порівняно мало. Немає і єдиного підходу для визначення внутрішніх зусиль у пластині, навантаженої різними зовнішніми навантаженнями. Значні труднощі в математичному плані зазнає визначення НДС пластини, завантаженої зосередженими силами, моментами або кусочко-розподіленими навантаженнями.

Нами поставлена задача побудови ліній впливу зусиль, що передаються поперечною смугою на поздовжні смуги. Це дозволить просто визначати внутрішні зусилля (згинальні моменти і поперечні сили), а також деформації (прогини і кути повороту) пластини при дії на неї будь яких зовнішніх навантажень.

Першою задачею розрахунку є розбивка пластини на поздовжні і поперечні смуги. Поздовжні смуги (див. рис. 1) мають довжину l ; вони повинні бути розташовані таким чином, щоб стояки знаходились на поздовжній осі смуги. Інші поздовжні смуги будуть знаходитися між стояками. Кількість поздовжніх смуг залежить від кількості стояків у поперечному напрямку. На рисунку пластина розбита на 9 поздовжніх смуг однакової ширини d .

Поперечні смуги шириною $b'=1$ слід вирізати у тому місті по довжині поздовжньої смуги, у якому передбачається визначати внутрішні зусилля. На рисунку показано два варіанти розташування поперечних смуг: у середині прольоту поздовжньої смуги (поперечна смуга 1) і над стояками (поперечна смуга 1').

Поперечний елемент розглядається як смуга на пружно-осідаючих опорах, якими є поздовжні смуги. Для визначення зусилля Z_i , що передаються поперечною смугою на поздовжні смуги (див. рис. 1) пропонується змішаний метод будівельної механіки, для чого вводиться фіктивне затиснення поперечної смуги на її лівому кінці (у точці А). Для визначення зусиль Z_i при якомусь положенні одиночної сили $P=1$, які і будуть ординатами лінії впливу зусиль у i -й поздовжній смузі, треба розв'язати систему рівнянь із $(n+2)$ невідомими.

$$\begin{cases} \delta_{11} Z_1 + \delta_{12} Z_2 + \dots + \delta_{1n} Z_n + a_1 \varphi_0 + y_0 + \Delta_{1p} = 0; \\ \dots \\ \delta_{n1} Z_1 + \delta_{n2} Z_2 + \dots + \delta_{nn} Z_n + a_n \varphi_0 + y_0 + \Delta_{np} = 0; \\ Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n - 1 = 0; \\ a_1 Z_1 + a_2 Z_2 + \dots + a_n Z_n - a_i = 0. \end{cases}$$

Поперечна смуга передає навантаження на поздовжні смуги через абсолютно жорсткі стержні (див. рис.1.), кількість яких дорівнює кількості поздовжніх смуг. Для побудови ліній впливу зусиль Z_i , діючих на якусь поздовжню смугу, треба прикласти над цією смугою одиничне зусилля сили $P=1$.

Визначення одиничних переміщень δ_{ik} і вільних членів Δ_{ip} не викликає забруднень, вони визначаються як у консольній смузі. Слід зауважити, що при визначенні головних одиничних переміщень δ_{ii} слід урахувувати прогин y_{ii} поздовжньої смуги у місці розташування поперечної смуги від одиночного рівномірно розподіленого навантаження інтенсивністю $q=1$.

Методику і формули для визначення одиничних переміщень і вільних членів наведено у роботі [1].

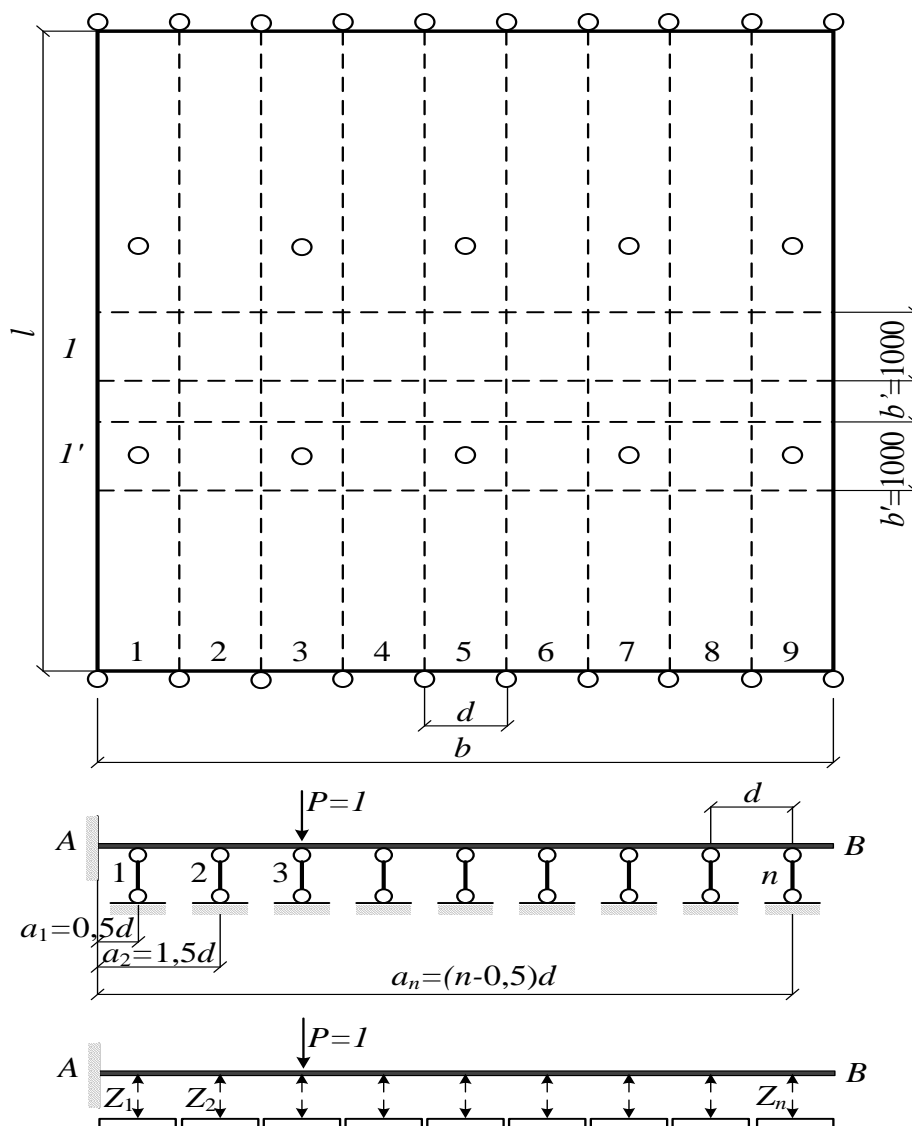


Рис. 1. Розрахункова і основна схеми поперечної смуги

Запропонований метод розрахунку дозволяє визначати напружено-деформівний стан пластин при будь-якій схемі їх опирання на стояки і при дії на пластини будь-яких зовнішніх навантажень.

[1] Кожушко В.П. Моделирование пролётных будов мостів. Монографія / В.П. Кожушко. – Харків: ХНАДУ, 2010. – 196 с.

**МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ
ІЗ КВАЗІКРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ЗСУВІ**

**METHODS OF CALCULATING THE BEARING CAPACITY OF
STRUCTURES FROM QUASI-BRITTLE MATERIALS UNDER THE
SHEAR**

*канд. техн. наук О.О. Довженко¹, канд. техн. наук В.В. Погрібний¹,
аспіранти В.Л. Швайковський¹, М.О. Міщенко¹, М.В. Пенц¹*

¹*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

*PhD (Tech.), O.O. Dovzhenko¹, PhD (Tech.), V.V. Pohribnyi¹, graduate students
V.L. Shvaikovsky¹, M.O. Mishchenko¹, M.V. Penz¹*

¹*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

Для удосконалення конструктивних рішень та забезпечення надійної тривалої експлуатації будівель і споруд важливе значення має створення методів їх розрахунку, які б максимально враховували усі визначальні фактори. Досягнення вказаної мети можливо шляхом систематизації експериментальних досліджень та використання достатньо загальної теоретичної основи.

Теорія пластичності знайшла успішне застосування при встановленні величини граничного навантаження пластичних тіл. Для конструкцій із квазікрихких матеріалів, до яких відносяться бетон і кам'яна кладка, її використання доволі обережне, що пояснюється певною невизначеністю умов реалізації пластичного кінематичного механізму. Також існує необхідність адаптування математичного апарату теорії пластичності до бетону (кладки) з врахуванням особливостей їх міцносних і деформативних властивостей.

Розривні рішення в теорії пластичності дозволяють суттєво знизити складність отримання результатів. Застосовується принцип віртуальних швидкостей, стрибки яких мають місце в дотичному і нормальному до поверхні руйнування напрямках, що пов'язано з дилатансією бетону та кам'яної кладки. Пластична деформація локалізується в тонких шарах на поверхні руйнування. Сусідні області вважаються жорсткими. Величина граничного навантаження відповідає мінімальному значенню потужності пластичної деформації.

Розглядаються випадки домінування деформації зсуву в кам'яних простінках при сумісній дії вертикальних N і горизонтальних (сейсмічних) S сил, похилій стиснутій смузі коротких консолей, стиснутій зоні опорних ділянок балок, яка сприймає нормальні N_c і поперечні V_c зусилля, шпонкових стиках залізобетонних конструкцій несущих систем.

У [1] передбачено підвищення безпеки будівель і споруд при сейсмічних впливах і розроблення додаткових конструктивних заходів. Для уникнення

діагонального розколювання встановлені області його реалізації та випадок втрати несучої здатності простінку при зсуві за цілим перерізом (рис. 1).

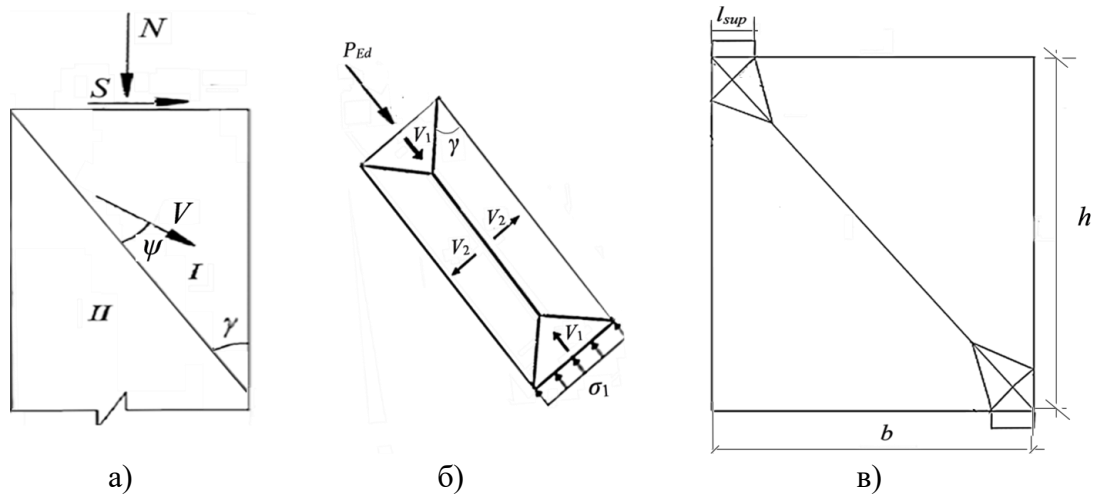


Рис. 1. Кінематичні схеми руйнування цегляного простінку, завантаженого вертикальною та горизонтальною силами при зрізі (а) та діагональному розколюванні (б): фрагмент стіни (в): I, II – жорсткі диски; γ – кут між силою N і поверхнею руйнування; ψ – кут між напрямком руху диска та площиною зрізу; P – рівнодійна сил S і N ; V, V_1 і V_2 – швидкості дисків

Найбільш напруженою областю коротких консолей є похила смуга [2], в якій руйнування відбувається шляхом зсуву (рис. 2, а) та діагонального розколювання. У стиснутій зоні балок над похилою тріщиною (рис. 2, б) та в шпонкових з'єднаннях реалізується зріз за цілим перерізом.

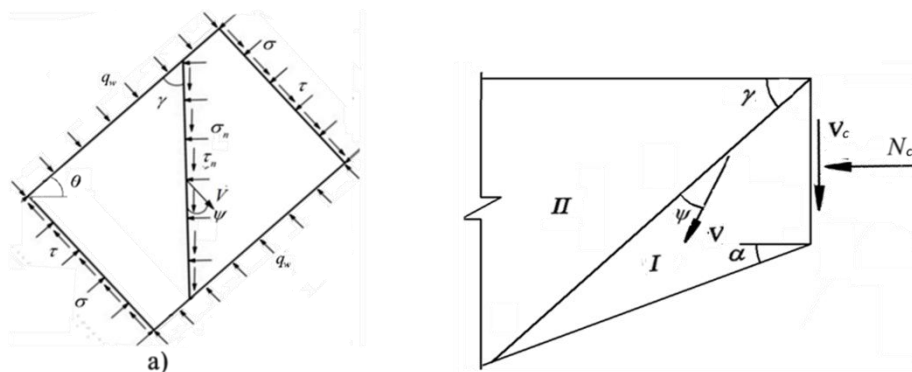


Рис. 2. Кінематичні схеми руйнування: похилої стиснутої смуги (а); клиноподібної бетонної зони над небезпечною похилою тріщиною (б): σ і τ – нормальні та дотичні складові поверхових сил; σ_n і τ_n – напруження на поверхні зрізу; θ – кут нахилу смуги; α – кут клину

Встановлено вплив на несучу здатність визначальних факторів: відношення S/N , довжини площадки спирання перемички l_{sup} , відношення ширини простінка до його висоти b/h при діагональному розколюванні; кута нахилу смуги θ , інтенсивності армування q_{sw} коротких консолей; кута клину α стиснутої зони над похилою тріщиною балок; форми, розмірів та кількості шпонок, ширини стика.

- [1] ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво у сейсмічних районах України. – К.: Мінрегіон України. – 2014. – 110 с.
 [2] Погрібний В.В. Методологія розрахунку несучої здатності залізобетонних і кам'яних конструкцій з використанням умов екстремуму деформування: монографія / В.В. Погрібний. – Полтава: ПП «Астрія», 2022. – 388 с.

УДК 624.073:621.886

РОЗРАХУНОК НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ШПОНКОВОГО З'ЄДНАННЯ ПРИ РУЙНУВАННІ ШВА ЗА СТИСНУТОЮ СМУГОЮ

CALCULATION OF THE BEARING CAPACITY OF A KEYPED JOINT IN THE CASE OF FAILURE OF THE SEAM BY A COMPRESSED STRIP

канд. техн. наук *О.О. Довженко¹*, аспірант *М.О. Міщенко¹*,
Г. Р. Шершерія¹

¹Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

PhD (Tech.), O.O. Dovzhenko¹, graduate student *M.O. Mishchenko¹*,
G.R. Shersheria¹

¹National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

При визначенні несучої здатності шпонкових з'єднань зі швом у якості розрахункової моделі використовується стиснута нахилена смуга, котра формується між площадками навантаження в межах ширини шва. Варіаційним методом у теорії пластичності бетону розв'язана задача несучої здатності такого шпонкового з'єднання із використанням опору смуги діагональному розколюванню (рис. 1, а).

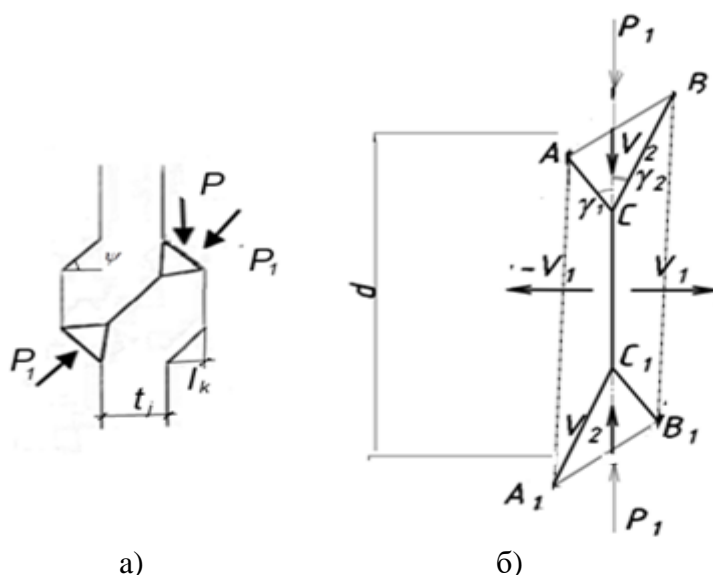


Рис.1. Руйнування стиснутої смуги шпонкового з'єднання шляхом діагонального розколювання (а), кінематично можлива схема руйнування (б)

В загальному випадку в теоретичній моделі в стадії руйнування стиснута смуга розділяється на чотири жорсткі диски: два клини під площадками, через які передається навантаження (клини можуть бути несиметричними, останнє визначається співвідношенням геометричних параметрів стику) та два елемента, окреслені зсувними ділянками клинів і площиною розколювання, котра з'єднує їх вершини. Клини при дії зовнішнього навантаження рухаються назустріч один одному, спричиняючи віддалення двох інших жорстких дисків у напрямку, перпендикулярно площині розколювання (рис. 1, б). Невідомими при розв'язку задачі виступають: кути нахилу ділянок зсуву клинів до площини розколювання γ_1 і γ_2 , відношення швидкостей руху жорстких дисків $k = V_1 / V_2$ і граничне навантаження P_1 , котре визначається за залежністю:

$$\begin{aligned} \frac{P_1}{mbl_k} = & \left[2B\sqrt{(k - tg\gamma_1)^2 + 0,25(k - tg\gamma_1 + 1)^2} - (k - tg\gamma_1) \right] \frac{1}{2tg\gamma_1} + \\ & + \left[2B\sqrt{(k - tg\gamma_2)^2 + 0,25(k - tg\gamma_2 + 1)^2} - (k - tg\gamma_2) \right] \frac{1}{2tg\gamma_2} + \\ & + \frac{f_{ct}}{m} \left(\frac{d}{l_k} - \frac{(1 + tg\gamma_1 tg\psi)}{tg\gamma_1} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

тут $m = f_c - f_{ct}$, f_c , f_{ct} – характеристики міцності бетону при стискові і розтягу відповідно; $B^2 = \left(1 + \chi / (1 - \chi)^2\right) / 3$, $\chi = f_{ct} / f_c$; b – ширина елемента, l_k – довжина шпонки; ψ – кут нахилу до горизонталі опорної поверхні шпонок;

$$\frac{d}{l_k} = \sqrt{\left(\frac{1}{\gamma} - tg\psi\right)^2 + \left(\frac{t_j}{l_k} + 1\right)^2}, \quad \gamma = l_k / h_k, \quad t_j - \text{ширина шва.}$$

Невідомі кути нахилу клину ущільнення пов'язані між собою залежністю:

$$tg\gamma_2 = \frac{tg\gamma_1}{2tg\psi tg\gamma_1 + 1}. \quad (2)$$

Вертикальне рівномірно розподілене за опорною поверхнею шпонки навантаження підраховується як:

$$\frac{q_u}{m} = \frac{P}{ml_k b} = \frac{P_1 \sin \alpha}{ml_k b}, \quad (3)$$

тут α – кут нахилу стиснутої смуги до горизонталі, $tg\alpha = \frac{h_k - l_k tg\psi}{t_j + l_k}$.

Величина граничного навантаження визначається дослідженням функції (1) на безумовний екстремум.

У разі одноярусного армування стику посередині за висотою в формулу (1) додається складова, котра враховує його вплив $\frac{\sigma_y A_{sw} k}{b_k h_k} \frac{1}{\gamma} \cos \alpha$, $\sigma_y A_{sw}$ – зусилля в арматурі, у разі досягнення напруженнями в ній межі текучості.

УДК 624.016:624.04

ЗМІНА НАПРУЖЕНЬ У ПЕРЕРІЗІ СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛОК ПІД ЧАС БІСТАДІЙНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ САМОНАПРУЖЕНИХ ПЕРЕКРИТТІВ СХОВИЩ

CHANGE OF THE STRESSES IN THE CROSS-SECTION OF STEEL-CONCRETE BEAMS DURING TWO-STAGE MANUFACTURE OF SELF-TENSIONING STORAGE FLOORS

*д.т.н., професор, О.В. Семко¹, д.т.н., доцент, А.В. Гасенко¹,
к.т.н., доцент, Л.В. Гасенко²*

¹Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(м. Полтава)

²Херсонський державний аграрно-економічний університет (м. Херсон)

*Doctor of Technical Sciences, Professor, O.V. Semko¹, Doctor of Technical
Sciences, Associate professor, A.V. Hasenko¹ PhD, Associate professor,
L.V. Hasenko²*

¹National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic» (Poltava)

²Kherson State agrarian and economic University (Kherson)

Постановка проблеми. В умовах військового стану в Україні гостро постає питання розширення фонду захисних споруд цивільного захисту населення. На влаштування вбудованих укриттів у існуючі конструктивно-планувальні схеми будівель досить часто відсутні технічні умови і технологічні карти [1]. Нетипові архітектурно-конструктивні рішення можливо вирішити за допомогою монолітних чи збірно-монолітних залізобетонних та сталезалізобетонних конструкцій [2], з яких можливо виконувати як несучі, так і огорожувально-захисні частини будівель.

Метою роботи є визначення зміни напружень у перерізі сталобетонних балок перекриттів із врахуванням бістадійної технології їх виготовлення.

За рахунок бістадійної технології виготовлення збірно-монолітних сталезалізобетонних перекриттів, відбувається зміна геометричних характеристик їх композитних поперечних перерізів. Зміну поперечного перерізу елементів будівельних конструкцій в процесі виготовлення прийнято називати генетичною нелінійністю. Суть *генетичної (родовідної) нелінійності*

полягає у нелінійній або кусково-лінійній (дискретній) залежності між зовнішнім навантаженням на конструкцію та характеристиками жорсткості її елементів у процесі створення (див. рис. 1, а). При цьому у більшості випадків зміна (збільшення за рахунок замоноличення верхньої бетонної полицки (див. рис. 1, б-в) поперечного перерізу сталезалізобетонного елемента перекриттів відбувається за різних напружень у його складових: наявних напружень у сталевій частині від власної ваги монолітної бетонної плити та відсутності напружень у монолітній бетонній плиті (див. рис. 2, а-б).



Рис. 1. Демонстрація генетичної нелінійності роботи сталезалізобетонних перекриттів під час їх виготовлення: а) 1-й етап виготовлення – влаштування сталеві балкової клітки; б) схема зміни жорсткості перерізу; в) 2-й етап виготовлення – влаштування монолітної залізобетонної плити

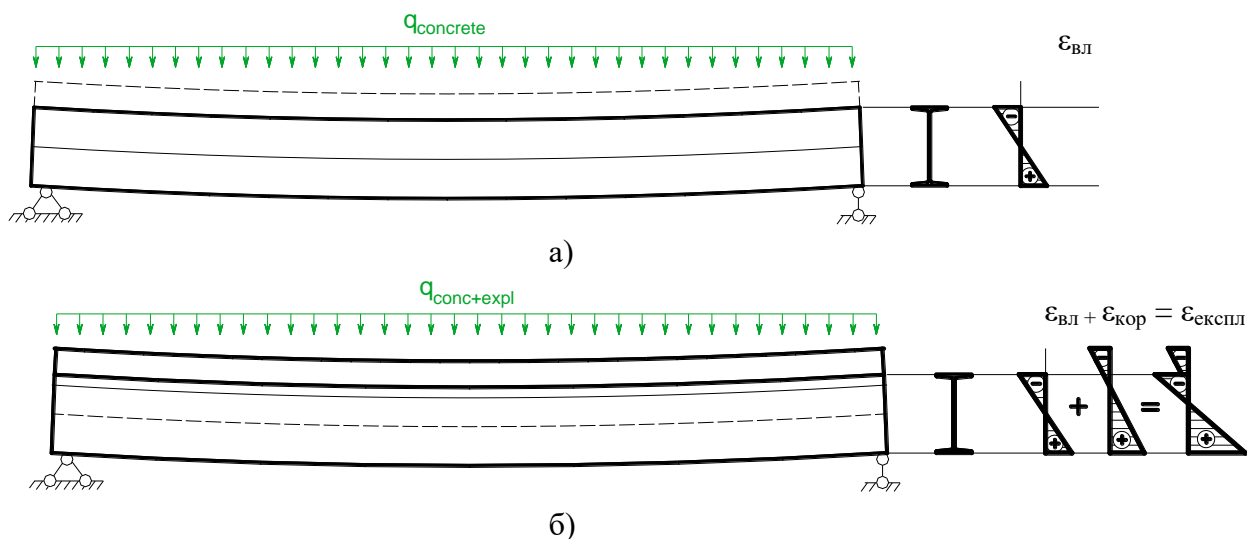


Рис. 2. Стадії роботи СЗБ перекриття, виготовленого за двостадійною технологією: а) влаштування монолітної плити; б) експлуатаційна стадія

Уникнути генетичної нелінійності роботи сталезалізобетонних перекриттів можливо шляхом встановлення на час бетонування монолітної плити тимчасових стійок під сталеві балки або влаштування монолітної плити по інвентарній тимчасовій опалубці. Вказаний захід дасть можливість повністю розвантажити сталеві балки від ваги свіжоукладеної бетонної суміші і після набору бетоном плити проектної міцності забезпечить сумісну роботу композитної конструкції на корисне навантаження, починаючи від нульових напружень як у монолітній бетонній плиті, так і сталевій балці. Слід відзначити, що шляхом встановлення вказаних вище тимчасових стійок або застосування

поетапної технології бетонування монолітної плити нерозрізних сталезалізобетонних конструкцій, можливо навпаки досягнути вигідних попередніх напружень у компонентах, що припустимо називати самонапруженням таких перекриттів [3].

[1] Філіпчук С.В., Налєпа О.І., Голуб А.О., Баран Д.Я. Аналіз існуючих архітектурно-конструктивних рішень захисних фортифікаційних споруд. *Зб. наук. пр. «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди»*. Рівне : НУВГтаП, 2023. Вип. 43. С. 228–237. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i43.25>

[2] Семко О.В., Гасенко А.В., Дарієнко В.В., Богуш О.І. Поєднання сталеві та бетонної частин сталезалізобетонних конструкцій за допомогою анкерів системи Nelson. *Наук.-техн. зб. «Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура»*. Харків : ХНАМГ, 2011. Вип. 97. С. 77 – 82.

[3] Гасенко А.В. Самонапруження сталезалізобетонних конструкцій: монографія. Полтава: ПП «Астрія», 2022. 312 с.

УДК: 691.322

ПІДГОТОВКА ФІБРОБЕТОННИХ КУБИКІВ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ ВПЛИВ ВИСОКОЇ ТЕМПЕРАТУРИ, ДО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

PREPARATION OF FIBER CONCRETE CUBES EXPERIENCED AT HIGH TEMPERATURE FOR EXPERIMENTAL STUDIES

*к.т.н., доц. С.Ю. Берестянська¹, к.т.н., доц. Є.І. Галагура¹,
к.т.н., доц. Л.Б. Кравців¹, к.т.н., доц. М.О. Ковальов¹, І.Д. Потапов²*

¹Український державний університет залізничного транспорту

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Phd. tehn. S. Berestyanskaya¹, Phd. tehn. E. Galagurya¹,
Phd. tehn. M. Kovalov¹, Phd. tehn. L. Kravtsiv¹, I.D. Potapov²*

¹Ukrainian State University of Railway Transport, (Kharkiv)

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Останнім часом до будівельних матеріалів застосовуються більш вибагливі умови. Конструкції мають відповідати підвищеним міцнісним та деформативним характеристикам. Одним з перспективних способів поліпшення механічних характеристик матеріалу є створення композитних матеріалів. Введення у бетон фібри є найбільш розповсюдженим композитним матеріалом, який задовольняє сучасним вимогам. Спектр областей застосування фібробетонів дуже широк і кожна з них пред'являє свої специфічні вимоги, як по механічним так і по реологічним властивостям.

Рівномірне розповсюдження фібри по об'єму бетонної матриці забезпечує її тримірне зміцнення, закріплюючи внутрішню структуру своїми волокнами. При цьому властивості фібробетону залежать від виду самої фібри, її вмісту у бетонній матриці та розмірів [1].

Армований фібрами бетон у декілька разів перевищує міцнісні і деформативні характеристики звичайного бетону, однак недостатня вивченість властивостей волокон у бетонній матриці обмежує області і об'єми застосування фібробетонів в будівництві, незважаючи на те, що використання неметалевих волокон виключає проблеми пов'язані з корозією.

За останній час багатьма авторами проведені експериментальні дослідження, які показують вплив різних характеристик фібри на міцнісні і деформативні характеристики фібробетону при різних видах деформацій. [2,3]. Наряду з цим, існує недостатність методів розрахунку таких матеріалів на різні впливи, а саме температурний вплив.

При проектуванні конструкцій визначають не тільки міцнісні і деформативні характеристики, а і межу вогнестійкості. Тому, при проектуванні, має бути розроблений математичний апарат, який дозволяв би виконувати розрахунки на температурний вплив. Для цього необхідно знати залежності між температурою і механічними характеристиками фібробетону.

Аналіз літературних джерел виявив недостатню вивченість впливу температури на міцнісні та деформативні характеристики фібробетонів. Тому ціллю дослідження є підготовка фібробетонних кубиків, які зазнали температурний вплив, до експериментальних досліджень.

Планування експерименту. Для визначення впливу температури на міцнісні і деформативні характеристики фібробетонів, а також виявлення залежностей цих характеристик від температури необхідно провести експериментальні дослідження. З цією метою виконано планування експерименту, це процедура визначення числа і умов проведення досліджень, необхідних і достатніх для вирішення поставленої задачі з потрібною точністю. Метою дослідження є визначення кубикової міцності фібробетону в залежності від температури нагрівання та виду фібрового волокна. Вміст фібри та її характеристики в даному дослідженні не розглядаються, а приймаються згідно з [2,3]. Таким чином, температура і вид фібри це фактори, які впливають на відгук системи, то б то результат експерименту. В нашому випадку це межа міцності. У даному дослідженні розглядаються три види армування (сталева фібра, базальтова фібра і контрольний бетонний зразок без фібри). Властивості зразків визначатимемо для наступних температур: 20°C, 60°C, 90°C, 120°C, 200°C, 400°C, 600°C, 800°C. Таким чином, кількість рівней факторів є неоднаковим і вони є незалежними одне від одного. Кількість можливих різних дослідів N визначається виразом:

$$N = p^k \cdot n = 72 \quad (1)$$

де $p = 3$ – кількість рівнів,
 $k = 2$ – кількість факторів,
 $n = 8$ – кількість значень температури.

Таким чином, необхідно виготовити 72 кубика: 24 – зі сталеною фіброю, 24 – з базальтовою і 24 – без фібри [6].

Склад і підготовка зразків. Марка бетону і відповідно склад бетонної суміші розраховано для класу С 20/25, а саме; портландцемент М 400 – 437,5 кг/м³, щебінь фракції 5-10 мм - 1158.12 кг/м³, пісок річний - 552.6 кг/м³, вода - 210 л/м³ (визначалась за графіками Міронова). Такий склад розраховано виходячи з рухомості бетонної суміші 5 см. Аналіз впливу видів фібрового армування на міцнісні та деформативні характеристики розглянуто в [3-6], де зроблено висновки о раціональних параметрах фібрового армування для базальтової і сталевий фібри. Таким чином, для виготовлення зразків було використано:

- базальтову фібру довжиною 12 мм, яка додавалась у кількості 0,2% від маси цементу

- сталеву фібру «Чілябінка» додавали у кількості 32,536 кг/м³ бетону.

Фібру вводили у цемент і ретельно перемішували вручну. Всі компоненти засипались у бетонозмішувач і ретельно перемішувались.

Для проведення випробувань виготовили три серії зразків: з базальтовою фібрую (серія КББ), зі сталевий фібрую (серія КСБ) та контрольна серія без додавання фібри (КОБ). Кожна серія складалась з 24 кубиків. До відповідних температур нагрівалось по три кубика. Всі зразки промаркеровано.

Для виготовлення зразків застосовувались металеві форми розміром 10x10x10 см, які змазувались машинним маслом, а потім заповнювались бетонною сумішшю. Ущільнення виконувалось на вібростолі до появи цементного молочка. Залита в форми бетонна суміш витримувалась у формах на протязі 3 діб, після цього опалубка знімалась і зразки знаходились у вологій тирсі на протязі 28 діб при нормальній температурі. [7]. Після виготовлення зразків їх необхідно було підготувати для випробувань. Для цього кубики нагрівались до наступних температур: 20°C, 60°C, 90°C, 120°C, 200°C, 400°C, 600°C, 800°C. Нагрів здійснювався в муфельной печі зі швидкістю нагрівання 150°C/год. Після досягнення заданої температури зразки витримувались під впливом цієї температури 4 години, а потім залишались у печі до повного охолодження. Така схема нагрівання бува застосована у відповідності до [8].

Висновки; Для виконання вимог протипожежної безпеки на стадії проектування виконують розрахунки з метою визначення межі вогнестійкості. Для цього необхідно знати залежність міцнісних і деформативних характеристик фібробетонів від температури. Аналіз літературних джерел виявив недостатню вивченість цього питання. Тому було проведено планування експерименту, яке дозволило визначити необхідну кількість зразків для випробування. Розраховано склад бетонної суміші, ретельно описана технологія виготовлення зразків, описано і обґрунтовано методику підготовки зразків до випробувань.

[1] Берестянская А.А., Гаврилко Н.Н., Быченко И.В. Особенности расчета и проектирования сталефибробетонных конструкций. Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво. 2014. Вип. 3(2). С. 20-25.

[2] Бугаевский, С. А. Методы возведения каркасных систем нового типа Вестник Харьковского национального автомобильного университета. 2012. Вип. 58. С. 78–84.

[3] Веревичева М.А., Берестянская А.А., Дериземля С.В. Выбор рациональных параметров фибрового армирования. Строительство, материаловедение, машиностроение. 2015. Вип. 82. С. 60-69.

- [4] Vatulya G., Berestianskaya S., Opanasenko E., Berestianskaya A. Substantiation of concrete core rational parameters for bending composite structures. DYN-WIND'2017 – MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 107. 00044 2017.
- [5] Vatulya G., Berestianskaya S., Berestianskaya A., Opanasenko E. Theoretical and Numerical Analyses of Thermal-Load Behavior of Steel-Concrete and Steel-Fiber-Concrete Slabs. Journal of Civil Engineering and Construction. 2016 Vol. 5(2) P. 98-104.
- [6] Берестянская С.Ю., Опанасенко Е.В., Берестянская А.А. Предпосылки для проведения экспериментальных исследований фибробетонов на температурные воздействия. Тези доповідей 6-ї міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності на довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті». 2017. С.101-102.
- [7] ДСТУ Б В.2.7-217:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона. [Чинний від 2009-12-22]. Київ, Мінрегіонбуд України, 2010. 20 с. (Інформація та документація).
- [8] Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций при пожаре. Москва: Стройиздат, 1986. 225 с.

УДК 624.014:629.11

ЕФЕКТИВНА КОНСТРУКЦІЯ ПОКРИТТЯ ТРАНСПОРТНОГО СКЛАДУ КЛАСУ В+

EFFICIENT COVERING STRUCTURE FOR STORAGE BUILDING OF CLASS B+

док. техн. наук Д.О. Банніков¹, Є.А. Місюра¹

¹Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)

Doc. (Tech.), D.O. Bannikov,¹ Ye.A. Misiura¹

¹Ukrainian State University of Science and Technologies (Dnipro)

В сучасних умовах обсяги та складність транспортних перевезень різних видів постійно збільшується [1]. І це пов'язано не стільки із темпами росту чисельності населення, скільки із темпами покращення рівня соціального статусу різних верств населення. При цьому одним із логістичних завдань сфери транспортних перевезень виявляється необхідність тимчасового або довготривалого складування товарів.

На тепер в світі склалась доволі впорядкована класифікація складських будівель на основі системи узагальнюючих критеріїв [2, 3], яка також стає домінуючою і у вітчизняній практиці. Основним типом складських будівель є будівлі класу В+, які повинні бути одноповерховими із висотою поверху не менше 8 м. Мінімальний крок колон в таких будівлях має становити 12 м. Площа воріт має становити не менше 1000 м². Ззовні будівель обов'язково передбачається пандус для машин вантажного типу, а самі будівлі повинні бути розташовані поблизу із залізничною вантажною станцією.

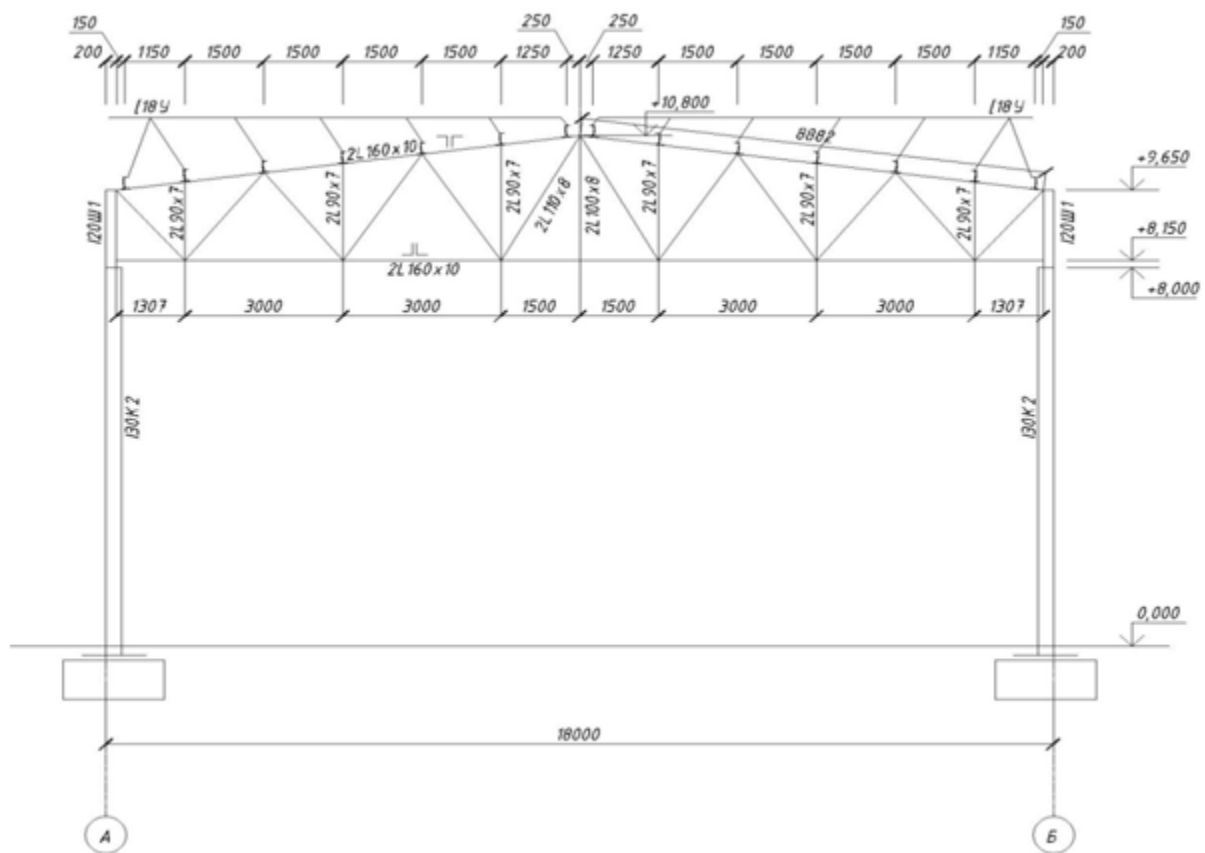
Саме така будівля була обрана в якості об'єкту досліджень. Будівля проектується в місті Дніпро та передбачається окремою однополітною новобудовою. В плані складська будівля має прямокутне окреслення із загальною довжиною 42 м і прольотом 18 м. Висота до верху покриття в коньку

становить 10,8 м. Конструктивна схема будівлі передбачається каркасною із поперечними несучими сталевими рамами.

Під час проектування розглядалися два конструктивні варіанти несучих поперечних рам складської будівлі (рис. 1):

- варіант № 1 – ригель виконано у вигляді ферми;
- варіант № 2 – ригель виконано у вигляді балки.

Для аналізу роботи сталевого каркасу будівлі використовувався вітчизняний проектно-обчислювальний комплекс Lira. Розроблені скінченно-елементні моделі каркасу представлені на рис. 2. Під час моделювання, проведення розрахунків та аналізу отриманих результатів використовувались авторські розробки, викладені в роботах [4-7].



a)

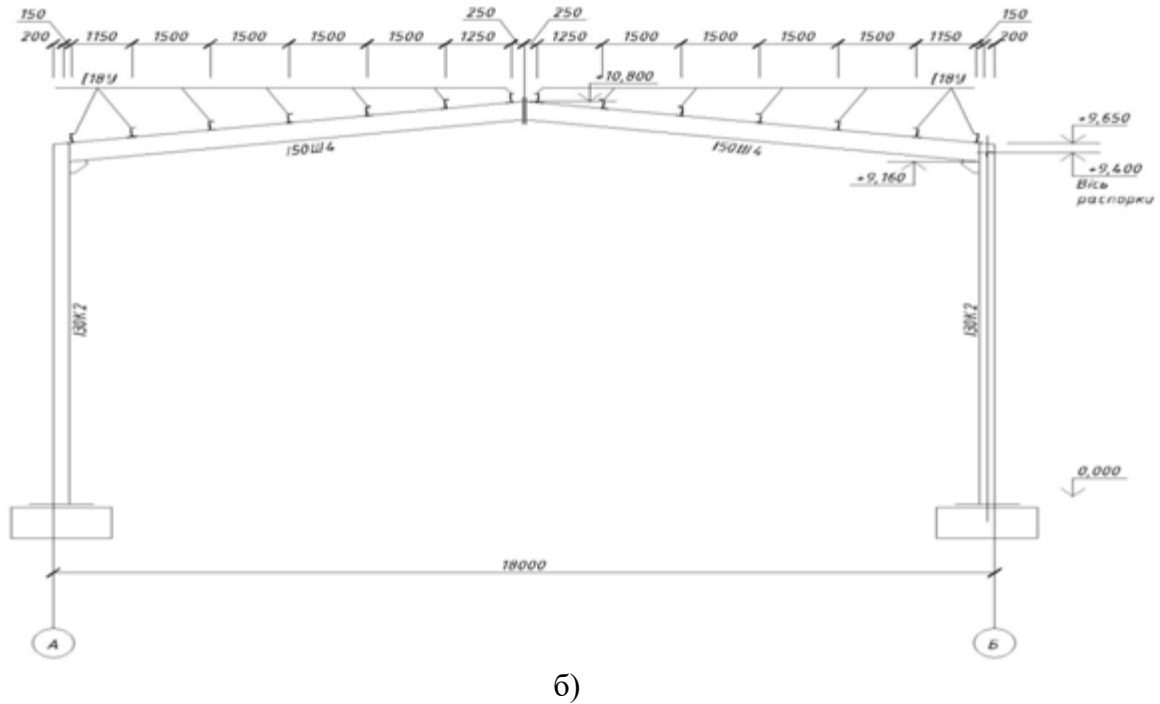


Рис. 1. Поперечний переріз складської будівлі:
а) конструктивний варіант № 1; б) конструктивний варіант № 2

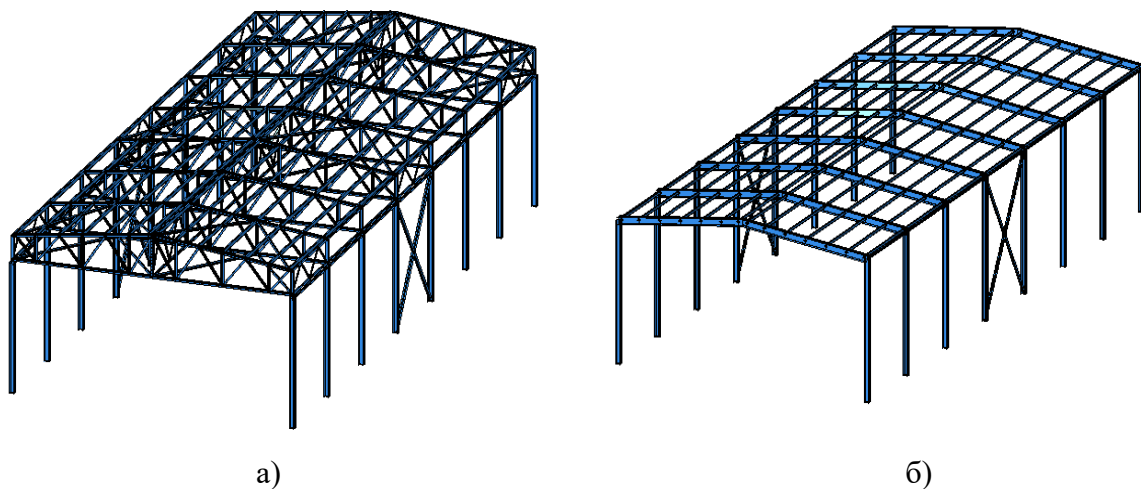


Рис. 2. Розрахункова модель складської будівлі:
а) конструктивний варіант № 1; б) конструктивний варіант № 2

За результатами аналізу виявилось, що конструктивний варіант № 2 поперечного перерізу складської будівлі має масу 52,47 т, що приблизно на 10 % нижче, ніж для конструктивного варіанту № 1 (57,29 т). Також конструктивний варіант № 2 є більш технологічним у виготовленні. Тому варіант № 2 був обраний в якості остаточного.

Відмітимо також, що проектні роботи виконувались в 2018 році. На тепер здорожчення металоконструкцій сягає 2,5 разів і в цінах 2024 року вартість металоконструкцій має становити в середньому:

- для конструктивного варіанту № 1 – 3 437 тис. грн.;
- для конструктивного варіанту № 1 – 3 148 тис. грн.

Таким чином, конструктивний варіант із використанням балково-рамної системи для несучого каркасу одноповерхової складської будівлі виявився більш ефективним для умов міста Дніпро як за масовими показниками, так і за технологічними аспектами. Тому такий конструктивний варіант може бути рекомендований в якості основного проектного рішення для складських будівель класу В+ із невеликими прольотами.

- [1] Новак В., Кириленко О., Розумова К., Игнатюк В. Організація міжнародних перевезень вантажів основними видами транспорту (огляд). *Наукоємні технології*. 2022. Вип. 1 (53). С. 70-76.
- [2] Місюра Є. А. Визначення ефективності сталевих конструкцій покриття складської будівлі. *Наука та прогрес транспорту*. 2024. № 2 (106). С. 91-99.
- [3] Банніков Д. О., Нікіфорова Н. А., Косячевська С. М. Сучасний стан класифікації транспортних будівельних конструкцій в Україні. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2022. № 21.
- [4] Bannikov D., Radkevich A., Nikiforova N. Features of the Design of Steel Frame Structures in India for Seismic Areas. *Materials Science Forum*. 2019. Vol. 968. P. 348-354.
- [5] Kruhlikova N. G., Bannikov D. O. Rational design of shot-span industrial building roof for reconstruction conditions. *Наука та прогрес транспорту*. 2019. Вип. 2 (80). С. 144-152.
- [6] Безсалий В. М., Банніков Д. О. Ефективність сталевих тонкостінних оцинкованих профілів для аркових елементів. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2019. Вип. 16. С. 20-29.
- [7] Банніков Д. О. Використання будівельно-орієнтованого ПК SCAD для аналізу роботи машинобудівних конструкцій. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. Вип. 1 (73). С. 98-1116.

УДК 624.07

ВПЛИВ ПОВТОРНИХ МАЛОЦИКЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СТАЛЕФІБРОБЕТОННИХ ЛОТКІВ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

THE INFLUENCE OF REPEATED LOW-CYCLE LOADS ON THE STRESS-STRAIN STATE STEEL-REINFORCED CONCRETE DRAINAGE TRAYS

*канд. техн. наук О.В. Андрійчук¹, канд. техн. наук І.М. Ясюк¹, канд.
техн. наук С.О. Ужегов¹, канд. техн. наук Л.О. Талах¹*
¹Луцький національний технічний університет (м. Луцьк)

*PhD (Tech.), O.V. Andriichuk¹, PhD (Tech.), I.M. Yasiuk¹, PhD (Tech.),
S.O. Uzhehov¹, PhD (Tech.) L.O. Talakh¹*
¹Lutsk Nation Technical University (Lutsk)

Сталефібробетон (СФБ) є сучасним будівельним матеріалом, що поєднує в собі високі механічні властивості бетону та міцність сталевих фібри. Його застосування в конструкціях, які піддаються динамічним навантаженням, є перспективним через підвищену тріщиностійкість та деформативність. Однією з таких конструкцій є лотки для водовідведення в дорожньо-транспортних

системах. Повторні малоциклові навантаження, спричинені рухом транспортних засобів, суттєво впливають на напружено-деформований стан таких лотків, а також на їх термін експлуатації.

Метою наукового дослідження було вивчення впливу на роботу СФБ лотків водовідведення дії повторних малоциклових навантажень.

Для експерименту було виготовлено три сталеві фібробетонні лотки серії 2СФБп із діаметром внутрішньої частини 300 мм, товщиною стінки $t = 40$ мм і довжиною $l = 300$ мм. Армування виконувалося анкерною фіброю ($\varnothing 0,8$ мм, довжина $l = 50$ мм) із відсотком армування $\mu \approx 2\%$. На лотки діяло навантаження, що було створене за допомогою гідравлічного преса. Крок збільшення навантаження на кожному із десяти циклів становило $F = 1,56$ кН. Кожен цикл включав прикладання навантаження з фіксацією показників деформацій, прогину, тріщиноутворення та подальше розвантаження конструкції лотка.

Під час проведення експериментальних досліджень впливу на напружено-деформований стан дослідних сталеві фібробетонних лотків для притрасового водовідведення – навантаження прикладалося шістьма кроками (по орієнтовно $F = 1,56$ кН). Прикладалося навантаження ступенями під час десяти циклів повторних малоциклових навантажень до рівня прикладання зусиль $\eta = 0,6$ (становило $F = 9,33$ кН). Розвантаження зразків на циклах виконувалося такими ж ступенями, як і при навантаженні. На 11 циклі прикладання навантаження дослідні моделі сталеві фібробетонних лотків були доведені до руйнування. Детально програма випробувань описана в працях [1, 2].

Основним завданням дослідження сталеві фібробетонних лотків є порівняння їх міцнісних характеристик під час 11 циклу прикладання навантаження з отриманими характеристиками під час одноразового доведення лотків до руйнування. Під час проведення експериментальних досліджень було встановлено наступні характеристики деформацій для сталеві фібробетонних лотків серії 2СФБп:

Переміщення перерізів лотка (Δl). На етапі першого циклу максимальне переміщення становило $\Delta l = 0,47$ мм при навантаженні $F = 9,33$ кН. На 10-му циклі переміщення перерізів збільшувалося до $\Delta l = 0,98$ мм при тому ж навантаженні. На одинадцятому циклі під час максимального навантаження $F = 10,83$ кН переміщення стінок лотка досягало $\Delta l = 1,29$ мм, після чого лотки руйнувалися.

Процес тріщиноутворення (a_{crc}). Перші тріщини в сталеві фібробетонних зразках виникли на 10-му циклі при навантаженні $F = 9,33$ кН. Ширина тріщин на цьому етапі становила $a_{crc} = 0,05$ мм. На 11-му циклі, при навантаженні $F = 9,33$ кН, тріщини розкривалися до $a_{crc} = 0,1$ мм. Після цього лотки не сприймали подальшого навантаження та руйнувалися.

Деформації та тріщини. На перших циклах прикладання навантаження (цикли 1...9) деформації зразків були незначними і лінійно залежали від величини навантаження. Зростання ширини тріщин та їхня інтенсивність значно збільшувалася на останніх циклах, що свідчить про прогресуюче виснаження матеріалу і підтверджує здатність СФБ лотків чинити опір

навантаженням до критичних значень.

При дослідженні сталевібробетонних лотків на дію малоциклових короткочасних повторних навантажень було встановлено високу тріщиностійкість у дослідних зразках. В процесі досліджень було зафіксовано, що деформації в лотках із СФБ є менш вираженими та мають лінійну залежність до моменту руйнування.

В результаті дослідження напружено-деформованого стану сталевібробетонних лотків було встановлено, що вони мають значні показники жорсткості та тріщиностійкості при повторних малоциклових навантаженнях. Деформації зразків на першому етапі були мінімальними та почали значно збільшуватися тільки на пізніх циклах, що свідчить про високу ефективність СФБ, як конструкційного матеріалу для лотків водовідведення. Це підтвердило, що сталевібробетонні лотки мають високу стійкість до дії повторних малоциклових навантажень. Це робить СФБ перспективним матеріалом для використання при експлуатації дорожніх і гідротехнічних споруд.

[1] Andriichuk O. The influence of repeated loading on work of the steel fiber concrete drainage trays and pipes on the roads / O. Andriichuk, V. Babich, I. Yasyuk, S. Uzhehov // MATEC Web of Conferences, N 116, 2017, p 02001, 1-9.

[2] Andriichuk O. The impact of the reinforcement percentage on the stress-strain state of the bending steel fiber reinforced concrete elements / O. Andriichuk, V. Babich, I. Yasyuk, S. Uzhehov // MATEC Web of Conferences 230, 2018, (02001) 1-5.

УДК 624.012.2

**ПРО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ ЖОСТКОСТІ БУДІВЕЛЬ
(СПОРУД), ЩО ЗАЗНАЛИ НЕРІВНОМІРНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ОСНОВ І
ФУНДАМЕНТІВ, НАПРУЖЕНИМИ СТАЛЕВИМИ ПОЯСАМИ**

**ON ENSURING SPATIAL RIGIDITY OF BUILDINGS (STRUCTURES) IN
WHICH UNEVEN DEFORMATIONS OF THE BASES AND FOUNDATIONS
OCCURRED, BY TENSIONED STEEL BELTS**

*канд. техн. наук В.В. Погрібний¹, докт. техн. наук О.В. Семко¹, доктор
філософії Д.М. Овсій¹, О.М. Овсій¹*

*¹Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка"(м. Полтава)*

*PhD (Tech), V. Pohribnyi¹, Dr.Sc. (Tech), O. Semko¹, PhD (Tech),
D. Ovsii¹, O. Ovsii¹*

¹National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic" (Poltava)

У процесі експлуатації будівлі чи споруди можуть зазнати нерівномірного осідання. Причини нерівномірних осідань будівлі різні залежать від інженерно-геологічних умов: наявність на майданчику забудови ґрунтів з просадними

властивостями; присутність карстово-суфозійних явищ, пов'язаних із розчиненням і виносом гірських порід та утворенням порожнин; наявність пустот і порожнин після проведення підземних гірничих виробіток, а також від нерівномірного навантаження ділянок і частин будівлі (споруди) та інших причин. Залежно від характеру розвитку нерівномірних осідань основ і жорсткості будівлі (споруди) розрізняють п'ять загальних форм їх деформацій: крен, прогин, вигин, перекид, кручення. Більш чутливими до нерівномірних осідань є будівлі (споруди), які містять жорстко зв'язані між собою несучі елементи, взаємне зміщення яких може викликати в них значні деформації та місцеві ушкодження. До таких будівель можна віднести великопанельні й цегляні будівлі з несучими поперечними і поздовжніми стінами.

В результаті і нерівномірних осідань у цегляних та бетонних стінах вищезазначених будівель (споруд) виникають значні пошкодження: вертикальні і похилі тріщини й місцеві руйнування, які за ознаками, поданими в додатку В нормативних документів ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 [1] (див. табл. В.1.1, табл. В.3.1 і табл. В.6.1 [1]), класифікують технічний стан конструкцій і будівлі (споруди) в цілому як непридатний до нормальної експлуатації або аварійний, відповідно категорії "3" і "4". Тому для забезпечення просторової жорсткості будівлі (споруди) та подальшої експлуатації несучих та самонесучих її стін необхідно виконати їх підсилення напруженими горизонтальними і вертикальними сталевими чи монолітними поясами (обоймами), як зазначено в пп. 7.3.1, 7.4.15, 7.4.16, 7.4.17 положень норм ДСТУ Б В.3.1-2:2016 [2].

Найбільш простим і ефективним способом забезпечення просторової жорсткості та сумісної роботи цегляних стін будівлі (споруди) згідно Рекомендацій...[3] є спосіб їх підсилення шляхом об'ємного обтиснення будівлі в цілому чи окремої її частини по периметру внутрішніх і зовнішніх її несучих і самонесучих стін оперізуючими замкнутими горизонтальними поясами, в яких закріплення конструктивних елементів із поздовжніх і поперечних металевих тяжів і опорних елементів здійснюється по висоті будівлі на рівні її конструкцій переkritтя (покриття). Розташування елементів тяжів, які виготовляються із сталюого прокату круглого чи полосового, здійснюється поблизу зовнішньої чи внутрішньої грані стін або в поздовжніх борознах по їх грані. Кінцеві ділянки елементів тяжів закріплюють до опорних елементів, які виготовляються із сталевих гарячекатаних кутиків, швелера чи прокату листового, за допомогою зварювання чи болтових з'єднань. Для улаштування ефекту об'ємного обтиснення опорні елементи необхідно встановлювати ззовні по кутам зовнішніх стін та в місцях перетину (з'єднання) внутрішніх стін із зовнішніми та в середині приміщень будівлі при перетині внутрішніх несучих і самонесучих стін між собою. Штучне натягування елементів тяжів в Рекомендаціях...[3] пропонують здійснювати за допомогою стяжних муфт, які повинні мати ліву і праву внутрішню різьбу. Технологічно при здійсненні процесу натягування тяжів за допомогою стяжних муфт необхідно залучати трьох робітників, що особливо ускладнює виконання цих робіт на висоті при улаштуванні поясів та потім при відновленні зусилля натягу

після релаксації напружень в елементах тяжів, яке необхідно здійснювати періодично на протязі експлуатації будівлі. Рекомендації...[3] пропонують тільки конструктивне вирішення напружених металевих поясів без наведення прикладу розрахунку і урахування характеру нерівномірних деформувань основ, ступеня пошкоджень чи руйнування фундаментів і стін будівлі (споруди), технології їх улаштування.

На Кафедрі будівництва і цивільної інженерії Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» розроблена методика, яка допомагає запроєктувати і сконструювати тяжі й опорні елементи залежно від характеру руйнування та об'ємно-планувального і конструктивною вирішення будівлі (споруди), яка враховує технологію їх улаштування і використання на протязі експлуатації. Так, науково-педагогічними працівниками кафедри на протязі років за допомогою розробленої методики були виконані проекти підсилення напруженими поясами несучих стін наступних будівель, які зазнали нерівномірних деформувань основ: лікувального корпусу санаторію «Полтава» та корпусу №5 санаторію «Хорол» санаторно-курортного комплексу «Миргород»; будівель Полтавської кондитерської фабрики по вул. Спаській, 10; складу готової продукції Полтавського лікero-горілчаного заводу; гуртожитку №2 Полтавського національного педагогічного університету імені В.Г. Короленка; будівлі КЗ «Полтавська загально-освітня школа I-III ступенів №11 Полтавської міської ради» та інших виробничих будівель і споруд.

[1] ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 02.07.2016 р. №213, чинні з 01.04.2017 р.– К., ДП «УкрНДНЦ», 2017.– 44 с.

[2] ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій і основ будівель і споруд.–Затв. наказом Мінрегіону від 24.06.2016 № 182, чинний з 01.04.2017. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017.- 68 с.

[3] Рекомендації щодо посилення кам'яних конструкцій будівель та споруд/ЦНДІБК ім. Кучеренко, 1984. - 36 с.

UDC 624.046.3

ABOUT DYNAMIC CALCULATION OF CIRCULAR SOLID PLATES ON AN INHOMOGENEOUS ELASTIC FOUNDATION

*Sc.D. (Tech.), Yu.S. Kruti¹, PhD (Tech), A.O. Perperi¹,
Post. grad., D.V. Velychko¹,*

¹Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odesa)

The authors investigated the problem of free symmetric vibrations of circular solid plates with constant cylindrical stiffness D resting on a heterogeneous elastic foundation (Fig. 1). The relevance of such studies is emphasized in a significant number of modern publications, among which [1] is of special note.

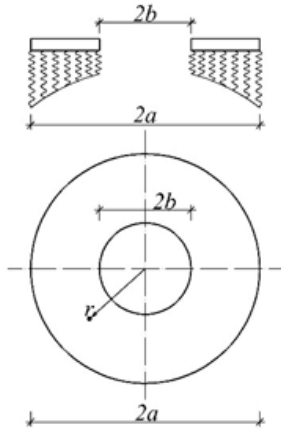


Fig. 1. Annular plate on an inhomogeneous elastic foundation

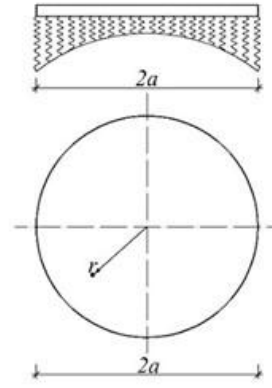


Fig. 2. Circular solid plate on an inhomogeneous elastic foundation

Winkler hypothesis is adopted for an elastic foundation, wherein the reaction force of the foundation $R(r,t)$ under the plate and the dynamic deflection $W(r,t)$ are linked by the equation $R(r,t) = -k(r)W(r,t)$, where $k(r)$ – variable subgrade modulus.

The corresponding differential equation of the plate vibrations can be expressed as

$$D \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left\{ r \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial W}{\partial r} \right) \right] \right\} + k(r)W + \rho h \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = 0,$$

where ρ – the mass density of the material, h – plate thickness.

The exact solution to this equation was established in [2]. As a result, the closed form of the calculation formulas for the parameters of plate free vibrations are presented there. Following the exact solution, the authors of this publication developed an analytical method for calculating the vibrations of solid circular and annular plates when the subgrade modulus is defined by any continuous function. The corresponding program code was created to implement the developed method. Thus, it is possible to compute the symmetrical vibrations of plates in the program mode.

The authors carried out a series of calculations to determine the natural frequencies and shapes of symmetric vibrations for solid circular and annular plates with different variants of boundary conditions and with different variable subgrade modulus.

Example. The calculation results for a concrete solid plate with a fully fixed contour. The subgrade modulus varies according to a linear law

$$k(r) = k(0) \cdot \left(1 - \frac{r}{a} \right)^2.$$

Input data for the calculation: $\rho = 2500 \text{ kg / m}^3$; $E = 290 \text{ GPa}$; $\mu = 0,16$; $a = 0,6 \text{ m}$; $h = 0,2 \text{ m}$; $k(0) = 6 \cdot 10^3 \text{ kN / m}^3$.

Table 1 shows the calculation results obtained from the authorial method (AM) and the approximate finite element method (FEM) using LIRA-SAPR software package. Since the authorial method of calculation is based on the exact solution of the corresponding differential equation, the obtained numerical results can be interpreted as accurate. Comparison of the results makes it possible to determine the relative error of the finite element method calculations for the example in question.

Table 1 – Free vibration frequencies of the plate ω , rad/s

Mode №	AM	FEM	Relative error, %
1	7220,555667	6879,278320	4,726469
2	28110,283970	26766,589844	4,780080
3	62978,890206	59928,503906	4,843506
4	111804,747592	106336,960938	4,890478
5	174584,377116	165970,890625	4,933710

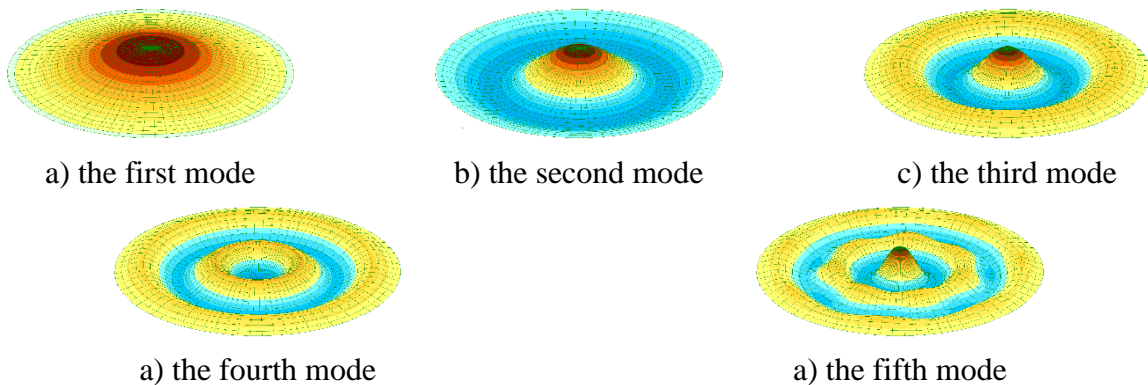


Fig. 3. The first five symmetric vibration modes

In conclusion it can be stated that a new analytical method for calculating the vibrations of solid circular and annular plates resting on an inhomogeneous continuous elastic Winkler foundation exists. In this case the subgrade modulus which actually describes the nature of the elastic foundation inhomogeneity can be set by any continuous function.

[1] Foyouzat M. A., Mofid M., Akin J. E. Free vibration of thin circular plates resting on an elastic foundation with a variable modulus. *Journal of Engineering Mechanics*. 2016. 142(4). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EM.1943-7889.0001050](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001050)

[2] Krutii Y., Surianinov M., Osadchiy V., Kolomiichuk V. Development of analytical calculation method for axisymmetric oscillations of circular and annular plates on variable Winkler elastic foundation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1164(1), 012056. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1164/1/012056>

**ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ ОПОРНОЇ СИСТЕМИ
ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ВАГ**

**COMPARISON OF SUPPORT STRUCTURE VARIANTS FOR
INSTALLATION OF RAILWAY TENSOMETRIC SCALES**

док. техн. наук Д.О. Банніков¹, Л.І. Клочко¹

¹Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)

Doc. (Tech.), D.O. Bannikov,¹ L.I. Klochko¹

¹Ukrainian State University of Science and Technologies (Dnipro)

Одним із напрямків сучасної модернізації підприємств залізничної галузі є оснащення їх спеціалізованими вагами для зважування вагонів. Це пов'язано із необхідністю чітко контролювати масові показники вантажів, які завозяться в Україну під час воєнного стану з-за кордону. При цьому застосовуються найбільш сучасний тип ваг – електричні тензометричні системи комплексної оцінки. Для їх розташування передбачається спеціальна опорна система, у вигляді підтримуючої сталевий конструкції. Такі конструкції розраховуються окрім статичних ще й на динамічні навантаження від рухомого складу.

В якості об'єкту модернізації розглядалась існуюча виробнича одноповерхова будівля одного із підприємств Дніпропетровської області [1]. Будівля має в плані прямокутну геометричну форму із габаритними розмірами 18,0×16,8 м. Висота поверху до верху покрівлі становила 7,4 м. Глибина закладання стрічкових фундаментів під зовнішні стіни будівлі становила 4,3 м. Вагонні ваги розміщуються в спеціальному підвальному приміщенні, виконаному із залізобетону на зразок просторової замкненої коробки із геометричними розмірами в плані 7,3×16,8 м та максимальній глибині 6,56 м. Поперечний переріз будівлі наведений на рис. 1.

Сталева опорна конструкція для встановлення залізничних тензометричних розглядалась у вигляді двох конструктивних варіантів:

- варіант № 1 – з однією просторовою несучою рамою;
- варіант № 2 – з двох окремих незв'язаних несучих рам.

Для аналізу роботи опорної конструкції використовувався вітчизняний проектно-обчислювальний комплекс SCAD. Розроблені скінченно-елементні моделі опорної конструкції представлені на рис. 2. Під час моделювання, проведення розрахунків та аналізу отриманих результатів використовувались авторські розробки, викладені в роботах [2-6].

За результатами аналізу виявилось, що конструктивний варіант № 2 опорної системи має масу 1,3 т, що приблизно на 40 % нижче, ніж для конструктивного варіанту № 1 (2,1 т). Тому варіант № 2 був обраний в якості остаточного.

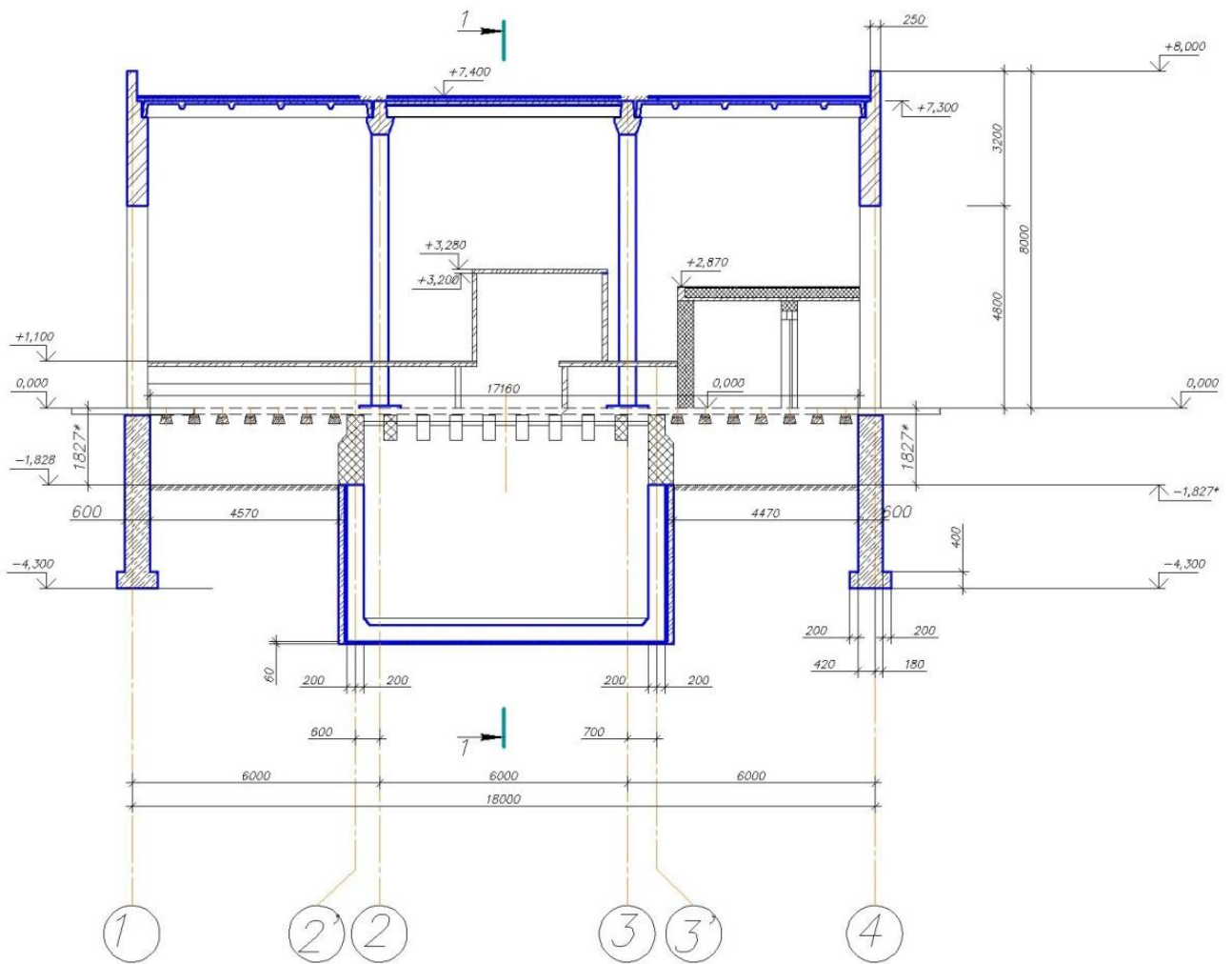


Рис. 1. Поперечний переріз модернізованої будівлі для встановлення залізничних тензOMETричних ваг

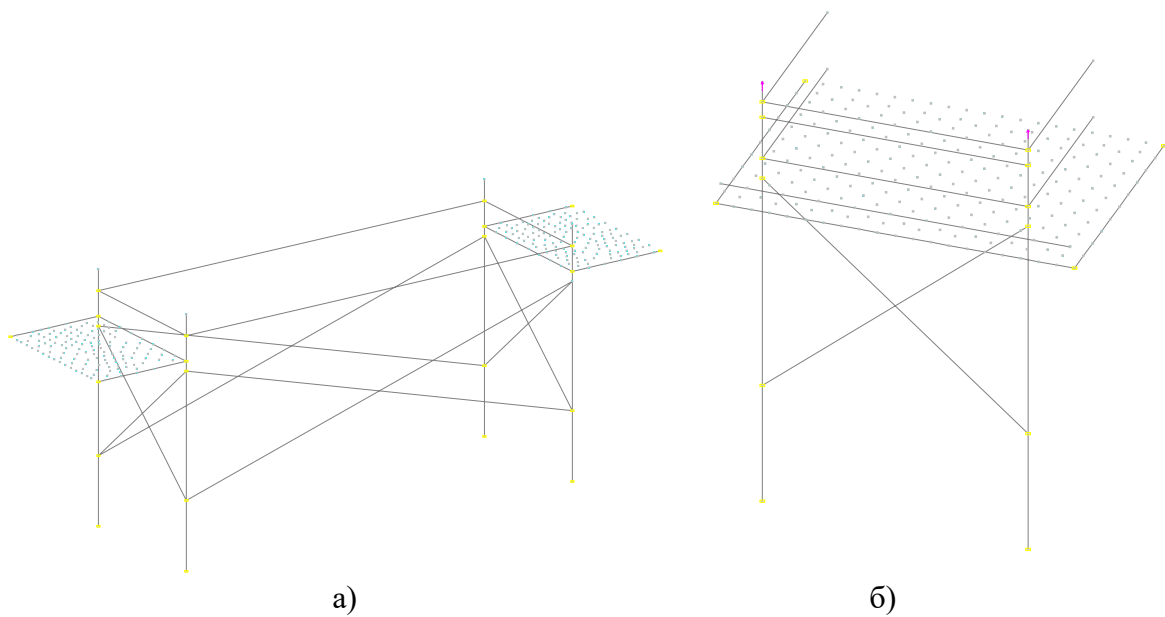


Рис. 2. Скінченно-елементна модель опорної конструкції:
а) конструктивний варіант № 1; б) конструктивний варіант № 2

Розроблене креслення для обраного конструктивного варіанту № 2 представлено на рис. 3, а в таблиці 1 наведено прийняті перерізи елементів.

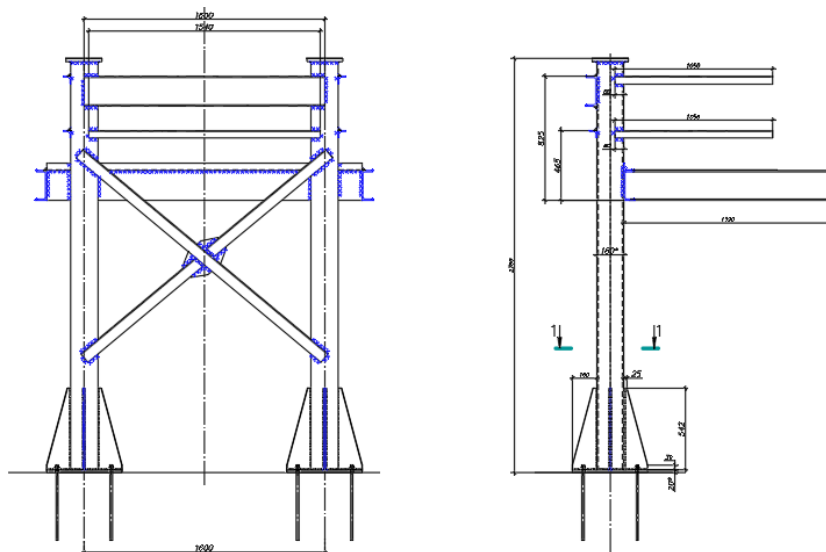


Рис. 3. Практична реалізація конструктивного варіанту № 2 опорної системи

Запропонована конструкція опорної системи буда додатково адаптована для умов діючого підприємства. При цьому її практична реалізація виявилась можливою навіть в умовах діючого виробничого процесу.

Таблиця 1 – Конструктивна реалізація варіанту № 2

Елемент	Кількість, шт.	Переріз
Стояк	4	□180x12
Вертикальна в'язь	2	└ 60x4
Конструкція під настил	2	└ 60x4
Настил	2	t 6
Розпірка (рівень 1)	2	[5
Консольна частина (рівень 1)	4	[5
Розпірка (рівень 2)	2	└ 40x3
Розпірка (рівень 3)	2	└ 25x3
Розпірка (рівень 4)	2	└ 25x3
Консольна частина (рівень 4)	4	└ 25x3

[1] Клочко Л. І. Несні сталеві конструкції для встановлення залізничних тензометричних ваг. *Наука та прогрес транспорту*. 2024. № 2 (106). С. 80-90.

[2] Bannikov D., Radkevich A., Nikiforova N. Features of the Design of Steel Frame Structures in India for Seismic Areas. *Materials Science Forum*. 2019. Vol. 968. P. 348-354.

[3] Kruhlikova N. G., Bannikov D. O. Rational design of shot-span industrial building roof for reconstruction conditions. *Наука та прогрес транспорту*. 2019. Вип. 2 (80). С. 144-152.

[4] Безсалий В. М., Банніков Д. О. Ефективність сталевих тонкостінних оцинкованих профілів для аркових елементів. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2019. Вип. 16. С. 20-29.

[5] Банніков Д. О. Використання будівельно-орієнтованого ПК SCAD для аналізу роботи машинобудівних конструкцій. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. Вип. 1 (73). С. 98-1116.

УДК 69:624.05

ТЕХНОЛОГІЯ ВЛАШТУВАННЯ ПЛИТНИХ ФУНДАМЕНТІВ З СУМІСНОЮ ШПУНТОВОЮ СТІНКОЮ В УМОВАХ УЩІЛЬНЕНОЇ ЗАБУДОВИ

TECHNOLOGY OF SLAB FOUNDATIONS WITH A COMPATIBLE SHEET PILE WALL IN CONDITIONS OF COMPACTED CONSTRUCTION

*к-т. техн. наук І.Б. Мудрий¹, аспірант М.М. Фречка¹
¹Національний університет «Львівська політехніка» (м. Львів)*

*PhD (Tech.) I. Mudruy¹, postgraduate student M. Frechka¹
¹National University «Lviv Polytechnic» (Lviv)*

В сучасних умовах будівництва на існуючій міській території гостро постає питання зведення будівель і споруд в ущільненій забудові. Переважно в таких умовах будівництво проводять будівель з примиканням до існуючих, що викликає втручання у роботу основи під фундаментами, як на етапі будівництва так і наступної експлуатації. Згідно діючих норм при зведенні в умовах ущільненої забудови необхідно передбачити заходи, як до початку так під час виконання робіт, які унеможливають вплив нового будівництва на існуючі будівлі та споруди.

Одним із варіантів вирішення цього питання є використання технології, яка передбачає влаштування плитних фундаментів з сумісною шпунтовою стінкою. Така технологія проводиться поетапним зведенням фундаментів, в яких короткі палі використовуються, як шпунтові огороження у зоні примикання до існуючих будівель, з наступним їх включенням у конструкцію фундаментів. Однак існуючі нормативні документи не виділяють окремі вимоги до розробки проектних рішень шпунтових стін такого типу та відсутні самі методи розрахунку таких фундаментів. Додатково, до фундаментів такого типу, діють технологічні обмеження, головні з яких висуваються на умови влаштування шпунтових стін поряд з існуючими конструкціями.

Для часткового вирішення даних питань авторами пропонується конструктивно-технологічне рішення влаштування плитних фундаментів з сумісною шпунтовою стінкою, за 6-ма етапами зведення:

- влаштування коротких шпунтових палей у зоні примикання до існуючих будівель;
- влаштування обв'язувальної балки та первинна розробка земляної споруди;

- влаштування опорних конструкцій та розпірок;
- доробка ґрунту у зонах розпірок;
- влаштування фундаментів у зонах доробки ґрунту;
- влаштування конструкцій каркасу в рівні розпірок.

Практична реалізація запропонованої технології, влаштування фундаментів з сумісною шпунтовою стінкою, дозволяє уникнути впливу на сусідні споруди у зоні примикання до існуючих фундаментів. Така технологія менш затратна на зведення шпунтових огорожень, у порівнянні з рішеннями які передбачають влаштування захисних екранів («стін в ґрунті») чи шпунтових стін, виконаних за технологією «січних паль», оскільки мають менші конструктивні параметри шпунтів. Але дана технологія має складніший організаційно-технологічний порядок зведення каркасу підземної частини, з великою кількістю розосереджених та мало об'ємних робіт. Практична реалізація такого конструктивного рішення показує, що порушення етапності виконання робіт, або введення непередбачених технологічних перерв викликає суфозію в міжпалевому просторі, відповідно технологічний контроль за етапами зведення має визначальний вплив на забезпечення несучої здатності шпунтових огорожень такого типу.

- [1] Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. ДБН В.1.2-12-2008. – [Чинний від 2009–01–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 34 с.
- [2] Magnushev R. A. Modern pile technologies: manual / Ruble. A. Mangushev, A. V. Ershov, A. I. Osokin; M: ASV publishing house; SPb GASU, 2007.–160 p.
- [3] Minregion Ukrainy. Ob'jekty budivnytva ta promyslova produkcija budivel'nogo pryznachennja. Osnovy ta fundamenti budynkiv i sporud. Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennja proektuvannja: DBN V.2.1-10-2009 [Construction objects and industrial products of the construction purposes. Grounds and foundations of buildings and structures. Grounds and foundations of structures. The main standarts of design: State Building Code V.2.1-10-2009]. Kiev: Minregionbud Ukrainy, 2009. 107 p. (in Ukrainian).
- [4] Minregion Ukrainy. Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennja proektuvannja Pali i pal'ovi fundamenti: DBN V.2.1-10-2009. Zmina № 1 [Grounds and foundation of structures. The main standarts of the designe Piles and pile foundation: State Building Code V.2.1-10-2009. Change № 1]. Kiev: Minregionbud Ukrayiny, 2011, 55 p. (in Ukrainian)
- [5] Самородов А. В. (2016). Новая конструкция плитно-свайного фундамента. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, 2016, № 1 (214) – 58-65. <https://oaji.net/articles/2017/2528-1507198636.pdf>
- [6] Ustroistvo systemy vertykalnykh u horyzontalnykh heotekhnicheskyykh barerov pry stroitelstve vysotnykh zdaniy na slabykh hruntakh / O.A. Makovetskiy, S.S. Zuev, M.A. Tymofeev, S.F. Seletkov, V.Y. Travush // Zhylyshchnoe stroitelstvo. – 2016. – № 9. – S. 40–44.
- [7] Ter-Martirosyan Z.G., Pronozin Ya.A., Stepanov M.A. (2012) Feasibility of pile-shell foundations with prestressed soil beds // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – № 4. – P. 1–5. https://www.researchgate.net/publication/319480503_Qualified_method_of_layer-by-layer_summation_to_define_the_settlement_of_foundation
- [8] G C Fanourakis, P W Day, G R H Grieve//The effects of placement conditions on the quality of concrete in large-diameter bored piles/ Vol 54 No 2, October 2012, Pages 86–93, Paper 806
- [9] Корнієнко М. В. Про ефективність закріплення котлованів екраном з мікропаль / М. В. Корнієнко, П. В. Павленко, А. М. Ращенко, Н. В. Воробйова // Основи та фундаменти. - 2015. - Вип. 37. - С. 94-103: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Otf_2015_37_12
- [10] Eskandari, Leila & Kalantari, Behzad. (2011). Basic Types of Sheet Pile Walls and Their Application in the Construction Industry—a Review. 16. https://www.researchgate.net/publication/267920552_Basic_Types_of_Sheet_Pile_Walls_and_Their_Application_in_the_Construction_Industry-a_Review
- [11] Stanislav S. (2006) Interactional Approach of Cantilever Pile Walls Analysis. ACTA Geotechnica Slovenica; P 47-59 / <https://www.yumpu.com/en/document/view/12369423/interactional-approach-of-cantilever-pile-walls-analysis>
- [12] Sobala Dariusz & Rybak Jaroslaw. (2017). Steel Sheet Piles – Applications and Elementary Design Issues. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 245. 022072. 10.1088/1757-899X/245/2/022072.

- [13] A. Siemińska-Lewandowska, M. Mitew-Czajewska, "The effect of deep excavation on surrounding ground and nearby structures", Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground - Proceedings of the 6th International Symposium, IS-SHANGHAI 2008, pp. 201-206, 2009
- [14] M. Bustamante, L. Gianeselli, Predicting the bearing capacity of sheet piles under vertical load; Proceedings of the 4th International Conference on Piling and Deep Foundations, Stresa (Italy), 7 – 12 April 1991.

УДК 625.012

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗАЛІЗОБЕТОННИЙ БАЛОК, ЯКІ ПІДСИЛЕНІ ШЛЯХОМ НАРОЩУВАННЯ ПОЗДОВЖНЬОЇ АРМАТУРИ

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE STRESSED AND DEFORMED STATE OF REINFORCED CONCRETE BEAMS, STRENGTHENED WITH ADDITIONAL LONGITUDINAL REINFORCEMENT

А.Г. Азізова¹, доктор філософії Д.М. Овсій¹, О.М. Овсій¹

*¹Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(м. Полтава)*

A. Azizova¹, PhD (Tech), D. Ovsii¹, O. Ovsii¹

¹National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic» (Poltava)

Одним із шляхів підсилення збірних залізобетонних балок і монолітних балкових конструкцій і елементів згідно п. 6.4.2.1.1 ДБН Б В.3.1-2:2016 [1] є спосіб нарощування їх перерізів розтягнутої зони шляхом встановлення додаткової поздовжньої арматури, яка приварюється у прогоні за допомогою арматурних коротких стержнів у вигляді "коротишів" чи відгинів, або сталевих пластин безпосередньо до робочої поздовжньої арматури конструкції при частковому руйнуванні чи демонтажі її захисного шару бетону з наступним його відновленням чи набетонуванням.

При з'єднанні додаткових арматурних стержнів з поздовжніми стержнями робочого армування залізобетонних балкових конструкцій за допомогою електрозварювання виникають ряд факторів, які впливають безпосередньо на їх напружено-деформований стан та опосередковано на міцність і деформативність балкової конструкції, що підсилюється. Після приварення додаткових арматурних стержнів до поздовжніх стержнів робочої арматури балок в них виникають:

- зменшення величини (пониження) умовної границі текучості і границі міцності арматурної сталі в перерізах арматурних стержнів поблизу місць їх приварення, особливо в перерізах на ділянках довжиною від 2-х до 4-х діаметрів від місця улаштування зварного шва (навколошовна зона), які виникають під час впливу на структуру сталі високих температур в межах

$T=800...1300$ °C і більше, які нерозривно пов'язані з технологічним процесом при зваренні;

- нерівномірне розподілення місцевого напруження в перерізах арматурних стержнів (концентрація напруження), яке виникає поблизу місць обриву і приварення поздовжніх стержнів внаслідок зміни перерізу та появи додаткового вигинального моменту при позацентровому їх розтягуванні ($M_S=N_S \times e$), особливо у випадках при з'єднанні арматурних стержнів по довжині за допомогою додаткових вставок у вигляді "коротишів", відгинів чи сталевих пластин, коли ексцентриситет (e) прикладення поздовжнього зусилля розтягу (N_S) є максимальним;

- нерівномірне розподілення поздовжнього сумарного зусилля розтягу (N_S) по довжині арматурних стержнів.

В наукових роботах [2-8] були проведені експериментальні та теоретичні дослідження міцності та характеру руйнування арматурних стрижнів, які з'єднанні по довжині за допомогою зварних швів, та залізобетонних балок, які зміцнювалися під дією навантажень різного рівня нарощуванням робочої арматури додатковими стрижнями, що з'єднували за допомогою ручного електродугового зварювання.

У результаті експериментальних досліджень [2-8] встановлено, що місце зміни поперечного перерізу арматурних стрижнів із сталевих арматур, їх розташування по висоті та між собою істотно впливають на характер руйнування балок і їх міцність на згин та зріз. Руйнування залізобетонних балок із визначеною арматурою поперечних перерізів і місцем обриву поздовжньої розтягнутої арматури відбувалося [2, 4, 5]: у деяких випадках одночасно в зонах вигину та зсуву з одночасним руйнуванням бетону в стиснутій зоні перерізу балок над похилими і вертикальними тріщинами і досягнення напружень σ_S в поздовжній арматурі в розрахункових перерізах межі текучості f_y ; в інших випадках – або по нормальному перерізу, або по похилому перерізу з руйнуванням бетону в стисненій зоні та досягнення напружень σ_S в поздовжній і поперечній арматурі межі текучості f_y .

Аналіз факторів впливу показав, що необхідно їх враховувати при проектуванні конструктивних елементів підсилення залізобетонних балкових конструкцій, яке здійснюється шляхом встановлення і приварення додаткових арматурних стрижнів до їх поздовжньої робочої арматури.

[1] ДБН Б В.3.1-2:2016 Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. [Текст]: Наказ Мінрегіону від 24.06.2016 №182, чинний з 2017-04-01. – К.: ДП "УкрНДНЦ", 2017. – 72 с.

[2] Овсій М.О. Вплив обривів поздовжньої арматури на деформативність залізобетонних балок, які не переармовані по похилому і нормальному перерізах / М.О Овсій, О.О. Шпак // *Збірник наукових праць «Галузеве машинобудування, будівництво»*. – Полтава : ПДТУ ім. Юрія Кондратюка, 2000. – Вип. 5.- С. 129-138.

[3] Митрофанов В.П. Експериментальне дослідження напружено-деформованого стану складених арматурних стержнів, випробуваних окремо і в складі залізобетонних балок / В.П. Митрофанов, М.О. Овсій // *Збірник наукових праць «Галузеве машинобудування, будівництво»*. – Полтава: Полт.ДТУ, 1998. – Вип. 1.- С. 53-62.

[4] Бліхарський З.Я. Експериментальні дослідження залізобетонних балок, підсилені нарощуванням арматури / З.Я. Бліхарський, Я.В. Римар // *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наук. праць НУВГП*. - Рівне: НУВГП.– 2005.– Випуск 13.- С. 346-351.

- [5] Gul A., Alam B., Khan F. A., Badrashi Y. I., & Shahzada K. (2015) Strengthening and evaluation of reinforced concrete beams for flexure by using external steel reinforcements / *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, April 2015, vol.4 (№4), pp. 260–263. <https://doi.org/10.17950/ijset/v4s4/409>
- [6] Issa C.A., Nasr A. (2006): An experimental study of welded splices of reinforcing bars. *Build Environ.* 41 (10), 1394–1405. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.025>
- [7] Nikolaou G.D., Papadimitriou M. (2004): Mechanical properties of lap-welded reinforcing steel bars used for repairing damaged reinforced concrete structures. *Mater. Struct.* 37, 698–706.
- [8] Caprili, S., Salvatore, W. & Valentini, R. (2021) Micro and macro structural investigations on welded joints of composite truss steel concrete beams. *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 6183178, 13 pages, DOI: 10.1155/2021/6183178.

УДК 624.07+624.03:699.85

**ПРО УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ
МАЛОГАБАРИТНИХ ШВИДКОСПОРУДЖУВАНИХ ЗАХИСНИХ
СПОРУД ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ МОДУЛЬНОГО ТИПУ**

**ON THE IMPROVEMENT OF STRUCTURAL SOLUTIONS OF SMALL-
DIMENSION QUICK-ERECTION CIVIL DEFENSE STRUCTURES OF THE
MODULAR TYPE**

*докт. техн. наук О.В. Семко¹, канд. техн. наук Т.А. Галінська¹,
доктор філософії Д.М. Овсій¹, О.М. Овсій¹*

*¹Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(м. Полтава)*

*Dr.Sc. (Tech), O. Semko¹, PhD (Tech), T. Galinska¹,
PhD (Tech), D. Ovsii¹, O. Ovsii¹*

¹National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic» (Poltava)

На сьогодні в результаті агресії збоку сусідньої держави в Україні виникла необхідність у створенні і улаштуванні малогабаритних швидкосторуджуваних захисних споруд цивільного захисту модульного типу (МШЗСЦЗМТ). Проектування цих споруд ускладнене тим, що на сьогодні діючі нормативні документи ДСТУ 9195:2022 [1], ДБН В.2.2-5:2023 [2] та ДСТУ Б В.2.2-22:2008 [3] подають загальні принципи і вимоги щодо проектування та улаштування захисних споруд укриття і тому не мають чітких взаємних посилянь і вимог щодо проектування МШЗСЦЗМТ, які б розмежовували різні випадки їх застосування за призначенням. В окремих випадках положення норм мають суперечні трактування вимог, в інших – вони їх занадто підвищують, так як вони є узагальненими для всіх видів укриття, а окремі положення зовсім трактуються загальними фразами, особливо відносно конструктивних рішень модулів, їх стиків між собою, вузлів з'єднання їх елементів.

Для удосконалення методики проектування МШЗСЦЗМТ необхідно спочатку встановити їх чітку класифікацію залежно від призначення, а потім відповідно до умов їх експлуатації і вимог щодо забезпечення ними ступеня

захисту здійснювати їх проектування. Пропонується наступна класифікація МШЗСЦЗМТ залежно від призначення, місця розташування і ступеня їх захисту:

а) за призначенням:

- для розміщення осіб, що підлягають укриттю: тимчасове розміщення осіб терміном до 1...2 годин; тимчасове розміщення осіб терміном від 2 годин до доби; постійне розміщення осіб терміном від доби до невизначеного часу;
- для розташування спеціального обладнання та інженерно-технічних систем;
- для постійного розміщення осіб та розташування обладнання;

б) за місцем розташування:

- окремо розташовані: на відкритій місцевості; в міській забудові; наземні; підземні з підземним сполученням; підземні без підземного сполучення;
- прибудовані: підземні; наземні;
- вбудовані: підземні; наземні;

в) за положенням відносно поверхні землі:

- наземні: окремо стоячі без або з захисними стінками у вигляді кладки із блоків, габйонів, контрфорсів, контрбанкетів (додаткова присипка до стін на величину від 1/3 до 2/3 їх висоти із щебня з піском чи ґрунту), тощо;
- напівзаглиблені: з частковою присипкою або повним засипанням шаром із щебня з піском чи ґрунту; без обсипання додатковим шаром;
- заглиблені: верхній рівень покриття споруди розташований нижче рівня поверхні землі;

г) за ступенем впливу зовнішніх небезпечних чинників побічної дії:

- надмірного тиску від вибухової і повітряної ударної хвилі на фронті величиною не менше ніж $p=100$ кПа ($\Delta P_f=100$ кПа (1 кгс/см²) [1, 2]);
- місцевої і загальної дії уламків і звичайних засобів ураження (стрілецької зброї, уламків ручних гранат, артилерійських боєприпасів та авіаційних бомб);
- високих температур та продуктів горіння при пожежі;
- дії отруйних речовин, радіоактивних речовин і бактеріальних засобів;
- додаткового навантаження динамічного і ударного характеру при розташуванні в зоні потенційно можливого обвалення будівель і споруд.

В результаті аналізу МШЗСЦЗМТ із збірних залізобетонних елементів, які на сьогодні пропонують споруджувати в Україні підприємства для виготовленню збірних залізобетонних виробів, були виявлені ряд конструктивних рішень, які впливають на їх несучу здатність і відповідно безпеку осіб, що в них укриваються, а саме:

- майже в усіх МШЗСЦЗМТ зовнішні стіни мають прямокутну чи квадратну у плані форму з вертикальними стінами, що призводить до збільшення величини надмірного тиску від фронту вибухової ударної хвилі на їх поверхні у 1,15...2,3 рази (особливо значний вплив надмірного тиску здійснюється на вертикальні стіни наземних укриттів, що окремо розташовані), див. порівняльну таблицю коефіцієнтів лобового тиску на рис. 4-24 і рис. 4D-4 в додатку D роботи [4];
- у більшості споруд стикування конструктивних елементів: елементів стін з нижньою опорною плитою; стінових елементів між собою; верхніх плитних

елементів з вертикальними елементами стін здійснюється відкритими стиками за допомогою ззовні відкритих вузлів з'єднання, які встановлені вільно конструктивно вздовж граней стикування (від 2-ох до 5...6-ти вузлів по довжині граней стикування). При прикладенні зовнішніх динамічних навантажень елементи вузлів стикування сприймають значні зусилля зсуву і відриву, що призводить до появи значної концентрації напружень у зварних швах між їх з'єднувальними елементами, а потім руйнування зварних швів, деформування з'єднувальних накладок із листового прокату та відриву і зміщення закладних деталей, руйнування і випадення захисного шару бетону у місцях їх встановлення;

- в окремих спорудах стикування елементів по довжині здійснюється за допомогою закритого стику з однобічним виступом, але недоліком є те, що однобічний виступ улаштований не симетрично відносно центру мас споруди, а послідовно, що може при дії навантажень вибухового динамічного характеру призвести до одностороннього зсуву елементів в один бік по горизонталі.

Для підвищення несучої здатності і надійності МШЗСЦЗМТ необхідно застосувати в практику їх проектування і виготовлення ряд заходів, які рекомендуються в роботах [5-11] для улаштування залізобетонних споруд (укриттів) із збірних залізобетонних елементів та вузлів їх з'єднання, а саме:

- улаштування споруди круглої, овальної, гранчастої чи комбінованої у плані форми з покриттями конічного (пірамідального, шатрового) чи круглого (купольного) типу з зовнішніми боковими захисними вертикальними елементами у вигляді пористих стінок із залізобетону чи сталезалізобетону, габіонів, підкосів (контрфорсів), підсіпок (контрбанкерів) і ін.;

- зменшення стиків між елементами споруди за рахунок улаштування Г-подібних, U-подібних, П-подібних, сферичних чи об'ємних збірних залізобетонних конструктивних елементів;

- улаштування закритих стиків по довжині стикування між збірними елементами з однобічними чи двобічними поздовжніми виступами чи штробами;

- улаштування закритих вузлів з'єднання у вигляді ніш чи вставок з визначеним кроком вздовж площини стикування, величина якого залежить від їх несучої здатності;

- улаштування в збірних елементах стін і покриття по контуру додаткових ребер жорсткості у вигляді виступів, які дозволять збільшити загальну жорсткість споруди у поперечному і поздовжньому напрямках та улаштувати в них додаткові закладні елементи з отворами для встановлення в них внутрішніх анкерних чи болтових з'єднань для закріплення елементів між собою;

- улаштування поперечного армування із хрестоподібних похилих (під кутом 45°) арматурних стержнів, симетрично встановлених у протилежних напрямках, та додаткових поздовжніх анкерів у поздовжньому напрямку споруди, які встановити у попередньо улаштовані отвори у збірних залізобетонних елементах споруди та ін.

- [1] ДСТУ 9195:2022 Швидкоспоруджувані захисні споруди цивільного захисту модульного типу. Основні положення.- Наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ») від 06 грудня 2022 р. № 237, чинні з 01.03.2023 р.– К., ДП «УкрНДНЦ», 2023.– 15 с.
- [2] ДБН В.2.2-5:2023 Захисні споруди цивільного захисту.– Наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 10 серпня 2023 року № 702, чинний з 01.11.2023. – К.: Мінрегіонрозвитку України, 2023.- 131 с.
- [3] ДСТУ Б В.2.2-22:2008 Будинки і споруди. Будівлі мобільні (інвентарні). Загальні технічні умови.- Затв. наказом Мінрегіонбуду України від 25.12.2008 № 646, чинний з 01.01.2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.- 26 с.
- [4] Baker W. E., J. J. Kulesz, R. E. Ricker, R. L. Bessey, P. S. Westine, v. b. Parr, and g. a. Oldham. 1977. Workbook for Predicting Pressure Wave and Fragmentation Effects of Exploding Propellant Tanks and Gas Storage Vessels, NASA CR-134906, NASA Lewis Research Center.
- [5] Twisdale, Lawrence A., Jr.; Frank, Robert A.; Lavelle, Francis M. Airmobile Shelter Analysis. Volume 2.-Applied Research Associates Inc Raleighnc.- Final rept. 1 Jun 1991-1 Nov 1992.- 328 p. https://www.researchgate.net/publication/235112874_Airmobile_Shelter_Analysis_Volume_2
- [6] FIB, Bond of reinforcement in concrete, fib bulletin, Fédération Internationale du Béton - fib Bulletin, Vol.°10; state-of-art report prepared by Task Group Bond models, 427 p., Lausanne, Switzerland, 2000.
- [7] FIB, Structural connections for precast concrete buildings. Guide to good practice, Fédération Internationale du Béton, fib bulletin, Vol. 43, 370 p., Lausanne, Switzerland, 2008.
- [8] FIB, Bond and anchorage of embedded reinforcement: Background to the fib Model Code for Concrete Structures 2010, Fédération Internationale du Béton, fib bulletin, Vol. 72, 161 p., Lausanne, Switzerland, 2014.
- [9] FIB, Advances on bond in concrete, Fédération Internationale du Béton, fib bulletin, Vol. 106, 316 p., Lausanne, Switzerland, 2022.
- [10] TM 5-1300: Structures to resist the effect of accidental explosions, U. S. Army Corps of Engineers: Washington, D.C., 1990, (Navy NAVFAC P-397 or Air Force AFR 88-22).
- [11] Dusenberry D., Handbook for Blast-Resistant Design of Buildings, 486 p., John Wiley & Sons, INC. New Jersey, USA, 2010.

УДК 625.014.2

ФОРМУВАННЯ УЗАГАЛЬНЕНИХ МОДЕЛЕЙ (ВИПАДКІВ) КОРОЗИЙНОГО УШКОДЖЕННЯ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ СТАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

FORMATION OF GENERALIZED MODELS (CASES) OF CORROSION DAMAGE TO THE CROSS-SECTION OF STEEL ELEMENTS OF BUILDING STRUCTURES

канд. техн. наук Т.А. Галінська¹, доктор філософії Д.М. Овсій¹, О.М. Овсій¹
¹Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"
(м. Полтава)

PhD (Tech), T.A. Galinska¹, PhD (Tech), D. Ovsii¹, O. Ovsii¹
¹ National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic» (Poltava)

Корозійне руйнування металу має значний вплив на довготривалу експлуатацію сталевих конструкцій. В п.7.2.3 діючих на сьогодні нормах ДСТУ Б В.2.6-210:2016 [1] корозійне пошкодження поперечних перерізів сталевих елементів враховується тільки, як рівномірне за периметром, що у більшості випадків відрізняється від реального їх стану. Відсутність методики оцінки

реального технічного стану пошкоджених корозією сталених елементів конструкцій призводить до хибного їх діагностування і оцінки несучої здатності. Значний вплив на нерівномірний розподіл корозійного зносу по периметру сталеного елемента має його конструктивна форма перерізу і її положення в просторі. Авторами в роботі [2] наявно було проаналізовано вплив різноманітності конструктивних форм і типів перерізів сталених елементів конструкцій на нерівномірність корозійного зносу їх поверхонь.

Для реальної оцінки впливу корозійного зносу на переріз сталеного елемента необхідно для його різних конструктивних форм сформувані узагальнені моделі (випадки), які б враховували нерівномірне ушкодження по периметру їх перерізів. Авторами статті в результаті аналізу впливу агресивного середовища на елементи (полки і стінки) сталених елементів будівельних конструкцій були сформовані узагальнюючі моделі (випадки) корозійного пошкодження для найбільш поширених конструктивних форм: двотаврового перерізу (випадок I на рис. 1); перерізу подібного до перерізу швелера (випадок II на рис. 1); перерізів із двох спарених кутиків (випадки III і IV на рис. 1); перерізу із двох спарених швелерів (випадок V на рис. 1), які найбільш зустрічаються у практиці їх конструювання.

Кожний переріз сталених елементів конструкцій має три випадки моделей корозійного пошкодження: а) рівномірна модель зменшення товщини перерізу елементів (полки і стінки) сталеного елемента в результаті поверхневої корозії; б) і в) нерівномірні моделі зменшення товщини перерізу сталених елементів (полки і стінки) в результаті поверхневої корозії, при якій відбулося часткове локальне зменшення товщин елементів.

Мета наступних досліджень полягає у визначенні для запропонованих моделей корозійного зносу перерізів сталених елементів граничної товщини (глибини) Δ_{ef}^{rp} корозійного ушкодження, при якій їх технічний стан буде сприйматися, як аварійний.

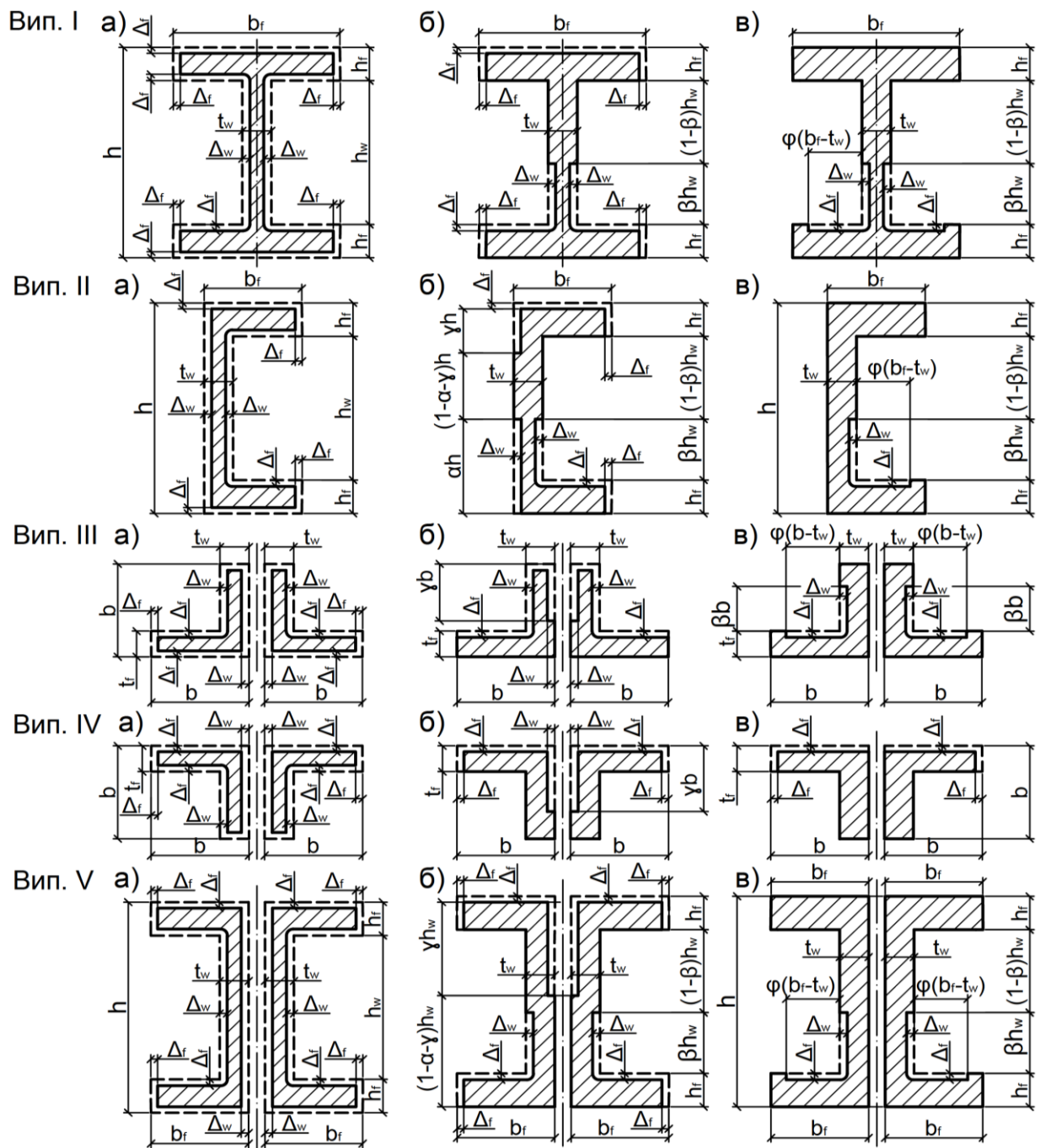


Рис. 1. Узагальнюючі моделі зменшення товщини перерізу сталевих елементів (полиці і стінки) найбільш поширених в практиці будівництва конструктивних форм в результаті поверхневої корозії: а – рівномірна модель; б або в – нерівномірна модель

[1] ДСТУ Б В.2.6-210:2016 Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. [Текст]: Наказ Мінрегіону України від 24.04.2016 №99, чинний з 2017-01-01. – К.: Мінрегіон України, 2016. – 57 с.

[2] Галінська Т.А. Вплив форми поперечного перерізу сталевих елементів конструкцій на розподіл величини корозії по його периметру / Т.А. Галінська, Д.М. Овсій, О.М. Овсій // Тези 76-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 14 травня – 23 травня 2024 р.). – Полтава : Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2024. – Т. 1. – С. 196–197. <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/16299>

**ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНІ ВИШУКУВАННЯ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ТА БУДІВЕЛЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ
ТРАНСПОРТІ**

**ENGINEERING AND GEODETIC SURVEYS FOR THE CONSTRUCTION
OF ENGINEERING STRUCTURES AND BUILDINGS ON RAILWAY
TRANSPORT**

канд. техн. наук Р.А. Міщенко¹, Д.М. Овсій¹

*¹Національний університет "Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка" (м. Полтава)*

PhD (Tech.), R.A. Mishchenko¹, Student, D.M. Ovsii¹

¹National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic» (Poltava)

Важливість інженерно-геодезичних вишукувань полягає у забезпеченні точних даних для прийняття обґрунтованих проектних рішень, що впливають на безпеку, ефективність та довговічність об'єктів інфраструктури залізничного транспорту.

Інженерно-геодезичні вишукування мають специфічні вимоги через:

- необхідність проектування довгих лінійних об'єктів з мінімальними ухилами;
- високі вимоги до точності геометрії колії;
- необхідність врахування динамічних навантажень від рухомого складу;
- особливі вимоги до проектування мостів, тунелів та інших штучних споруд;
- необхідність інтеграції нових об'єктів у існуючу залізничну мережу.

Сучасні технології та обладнання які використовуються при виконанні інженерно-геодезичних робіт:

1. GNSS. Забезпечують високоточне позиціонування та створення опорних геодезичних мереж з сантиметровою точністю. Використовуються RTK (Real-Time Kinematic) та статичні методи спостережень;

2. Лазерне сканування. Наземне сканування створює детальні 3D-моделі об'єктів з міліметровою точністю. Мобільне сканування встановлюється на транспортні засоби для швидкого сканування довгих ділянок колії;

3. БПЛА. Використовуються для аерофотозйомки та створення ортофотопланів. Особливо ефективні для важкодоступних ділянок та моніторингу великих територій;

4. Електронні тахеометри. Застосовуються для точних вимірювань кутів та відстаней, особливо при створенні опорних мереж та зйомці колійного господарства;

5. Цифрові нівеліри. Забезпечують високоточні вимірювання перевищень, критично важливі для контролю геометрії колії.

6. Георадари. Дозволяють досліджувати підземні структури без розкопок, що важливо для оцінки стану земляного полотна.

Специфіка інженерно-геодезичних робіт на залізничних об'єктах: підвищені вимоги до точності вимірювань, особливо при визначенні геометричних параметрів колії; необхідність проведення робіт без перерви руху поїздів, що вимагає особливих заходів безпеки та організації праці; використання спеціалізованого обладнання для зйомки колії; врахування динамічних навантажень та вібрацій при проектуванні опорних мереж та виборі місць встановлення реперів; особлива увага до зйомки контактної мережі, систем сигналізації та зв'язку; врахування особливостей роботи в умовах обмеженої видимості (тунелі, густа забудова станцій); необхідність координації робіт з різними службами залізниці для забезпечення безпеки та ефективності вишукувань.

Інновації в сфері інженерно-геодезичних вишукувань:

1. Розвиток технологій штучного інтелекту для автоматизованої обробки геодезичних даних;

2. Впровадження технологій доповненої реальності для візуалізації проектних рішень на місцевості;

3. Удосконалення сенсорних технологій для моніторингу стану інфраструктури в режимі реального часу;

4. Розвиток мобільних лазерних сканерів для швидкого збору даних з рухомих платформ;

5. Інтеграція даних від різних джерел (супутники, БПЛА, наземні датчики) для створення комплексних моделей.

Рекомендації щодо вдосконалення інженерно-геодезичних вишукувань: постійне оновлення технічної бази та методології відповідно до новітніх технологічних досягнень; підвищення кваліфікації спеціалістів у сфері цифрових технологій та обробки даних; розвиток міждисциплінарного підходу, інтеграція геодезичних даних з іншими галузями знань; удосконалення нормативно-правової бази для врахування можливостей сучасних технологій; впровадження систем постійного моніторингу стану інфраструктури на основі геодезичних даних; розвиток співпраці між науковими установами, виробничими підприємствами та органами управління залізничним транспортом для впровадження інновацій.

Інженерно-геодезичні вишукування є критично важливим етапом у розвитку залізничної інфраструктури, забезпечуючи основу для безпечного, ефективного та сталого функціонування залізниць. Сучасні технології значно розширили можливості збору та аналізу даних, дозволяючи приймати більш обґрунтовані рішення на всіх етапах життєвого циклу об'єктів.

[1] Долина, Ю., & Поплавка, О. (2023). Сучасні технології інженерно-геодезичних вишукувань. Collection of Scientific Papers «ΛΟΓΟΣ», (August 18, 2023; Cambridge, UK), 297–301. <https://doi.org/10.36074/logos-18.08.2023.82>

[2] П. О. Пшінько, В. В. Марочка, В. В. Ковальчук, І. В. Калашніков, А. В. Гуменюк, (2014). Аналіз сучасного порядку розробки, узгодження проектної документації, отримання дозволу на будівельні роботи та задачі в експлуатацію лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури залізничного транспорту України. Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2014, № 6, 109-118.

UDC 697.34

BASIC APPROACHES TO FORECASTING ENERGY NEEDS OF OPERATED BUILDINGS TAKING INTO ACCOUNT THE FACTOR OF ACHIEVING THE EXPEDIENT LEVEL OF ENERGY EFFICIENCY

*PhD (Tech) V.V. Hrankina¹, PhD¹ (Tech) O.M. Xrenov,
PhD (Tech) O.M. Milanko¹, PhD (Tech) I.O. Khudyakov¹, S.V. Romanenko¹
¹O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (Kharkiv)*

According to European experience with thermal modernization, which is carried out in accordance with current energy efficiency standards, the final energy consumption for heating, ventilation, and hot water supply can be reduced to approximately 25-50%, the index of demand for useful energy for heating and ventilation can be about 70-80 kWh/m² per year. Comprehensive thermal modernization can bring the greatest benefit, but its implementation requires high investment costs [1].

In accordance with Directive 2010/31/EU [3] in Annex III, “Comparative methodological framework for the determination of cost-optimal levels of energy performance requirements for buildings and building elements”, the estimated economic life cycle is defined by each Member State. It refers to the remaining estimated economic life cycle of a building in the case of setting energy performance requirements for the building as a whole or to the estimated economic life cycle of a building element in the case of setting energy performance requirements for building elements.

According to the analysis of the technical and actual condition of the buildings put into operation, indicators of the expedient economic level of buildings were determined (Fig. 1). Therefore, when modernizing existing buildings, it is necessary to take into account investment costs for eliminating damage to the main load-bearing and enclosing structures and damage to engineering systems (heating, ventilation, air conditioning), to determine the economic feasibility of implementing energy efficiency measures, and also to identify cases when measures to increase energy efficiency are economically inexpedient for carrying out modernization work.

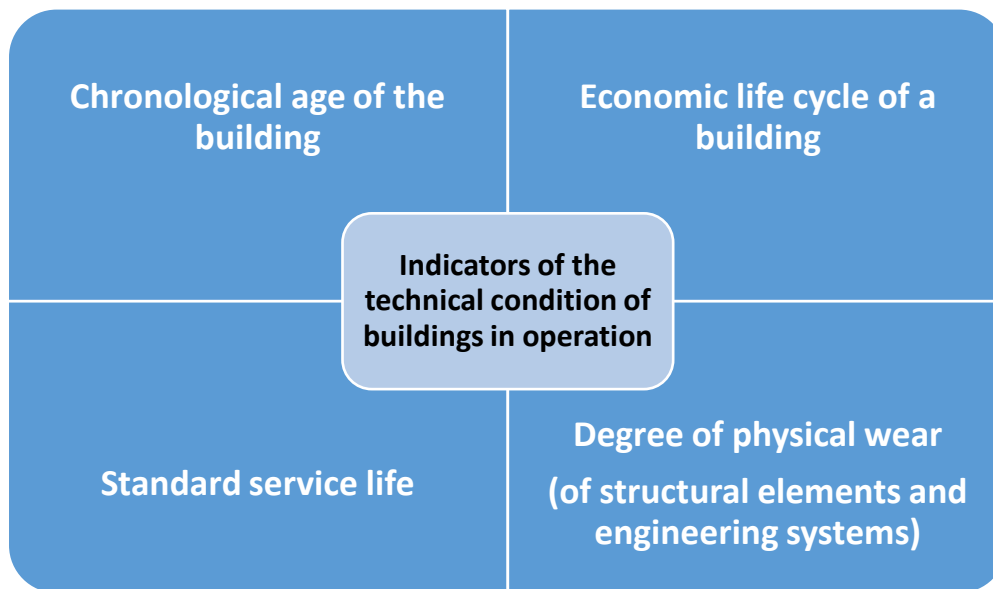


Fig. 1. Indicators of the technical condition of buildings in operation

In accordance with Part Four of Article 6 of the Law of Ukraine “On Energy Efficiency of Buildings” [3], the minimum requirements for the energy efficiency of buildings are calculated according to the Methodology “Determination of the Economically Expedient Level of Energy Efficiency of Buildings” [4], provided for in Part One of Article 5 of this Law, taking into account the requirements for the thermal characteristics of enclosing structures and the requirements for the energy efficiency of engineering systems (including equipment) of buildings in accordance with the economically expedient level and are differentiated depending on the functional purpose of buildings, the height of buildings, and the type of construction work (new construction, reconstruction, major repairs).

To ensure the normative indicator of energy efficiency of a building in accordance with the type of construction work, it is necessary to predict the economic feasibility of implementing modernization measures, taking into account the life cycle of the building. The energy needs of buildings are determined by the regulatory and legal documents of Ukraine, which clearly prescribe the boundary conditions for energy consumption depending on the type of construction work (new construction, reconstruction, major repairs).

[1] Dorota Anna Krawczyk. Buildings 2020. Constructions, materials and installations Copyright by Bialystok University of Technology, Bialystok 2019. ISBN 978-83-65596-70-3, p. 227.

[2] Directive 2010/31/EU

[3] Law of Ukraine «On Energy Efficiency of Buildings» (With changes introduced according to Law № 199-IX dated 17.10.2019, HVR, 2019, № 51, p.377).

[4] Methodology «Determination of the Economically Expedient Level of Energy Efficiency of Buildings». Approved by Order № 170 dated 11.07.2018. Registered in the Ministry of Justice of Ukraine 16 July 2018, № 823/32275.

**СТІЙКІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИТИВ ДО РІЗНОГО ТИПУ
ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУР**

**RESISTANCE OF BUILDING COMPOSITES TO DIFFERENT TYPES
OF TEMPERATURE INFLUENCE**

*аспірант В.В. Шевченко¹, канд. тех. наук О.М. Непомящий¹,
д-р. тех. наук, професор В.М. Вировой¹*
¹Одеська державна академія будівництва і архітектури

*Postgraduate student V.V. Shevchenko¹, PhD (Tech.) A.N. Nepomiashchiy¹,
Dr. Sc. (Tech.) V.N. Vyrovoy¹*
¹Odesa State Academy of Construction and Architecture

Подання конструкції у вигляді відкритої складної самоорганізованої системи дозволяє проаналізувати зовнішні впливи на реакцію окремих елементів її структури і системи в цілому. З гама зовнішніх впливів виділені безперервно повторювані цикли заморожування та відтаювання. Ці дії є найнебезпечнішими для зміни структури будівельних композитів.

Аналіз умов експлуатації більшості будівельних виробів і конструкцій (огороджувальні конструкції будівель і споруд різного значення, греблі, облицювання каналів, напірні і безнапірні труби, ЛЕП тощо) показав, що, як правило, зовнішні кліматичні навантаження діють на них односторонньо або локально. Можна припустити, що при різних типах впливів поведінка матеріалів у виробках буде значно відрізнятися. Для більш об'єктивної оцінки морозостійкості насамперед стоїть завдання аналізу умов зовнішнього впливу негативних температур на зміну фізико-механічних характеристик розчинів і бетонів.

Більшість фахівців до основних причин зниження морозостійкості бетонів як капілярно-пористих тіл відносять деформації і напруги, які виникають в порах і капілярах при замерзанні в них води [1, 2].

Згідно ДСТУ Б В.2.7-47-96 випробування на морозостійкість нормується проводити в хімічно агресивному середовищі і враховувати сценарій експлуатації. У сценаріях експлуатації, які враховуються ДСТУ, немає одностороннього впливу навколишнього середовища.

Проведений аналіз основних причин зниження морозостійкості показав, що практично відсутня науково-технічна інформація щодо впливу умов заморожування виробів (зразків) на здатність матеріалу сприймати розвиток деформацій при збільшенні обсягу замерзлої води без руйнування. Зміна умов заморожування істотно змінює формування фронту промерзання, що веде до зміни внутрішнього тепло- і масопереносу, затискання або витіснення газової складової, виникнення і розвитку вологісних і температурних деформацій та ін.

Це дає підставу припускати, що зміна умов заморожування зразків (всестороннє або одностороннє) має призвести до зміни морозостійкості будівельних матеріалів. Таким чином, врахування способу заморожування зразків дозволить об'єктивніше оцінити морозостійкість матеріалу і розробити адекватні рецептурно-технологічні методи підвищення стійкості матеріалів в залежності від виду та умов експлуатації виробу і конструкції

Досліди проводили на стандартних зразках–балочках, виготовлених з цементного каменю. Одностороннє заморожування при $T=-20^{\circ}\text{C}$ проводили шляхом термоізоляції половини зразка. Контролювали міцність при стиску (f_{ck}) та розтяг при згині (f_{ctk}), зміну швидкості проходження ультразвуку (v), зміну водопоглинення (W), зміну коефіцієнта пошкоженості (K_p), зміну маси (Δm) через кожні 5-ть циклів.

Досліди показали, що у зразків з цементно-піщаного розчину міцність стиск при розтягу після 20 циклів всестороннього заморожування знизилася майже в два рази, та на 18% при односторонньому впливі негативних температур.

Зниження міцності на стиск для зразків розчину після 20 циклів в умовах всестороннього заморожування склало 28%, в той час як зміна умов заморожування призвела до зниження міцності на стиск на 10% в половинці зразка O2 + і на 7% в O2-.

Зі збільшенням кількості циклів до 40 зберігається загальна картина впливу умов заморожування на зміну міцності зразків з цементно-піщаного розчину.

Також ця картина зберігається і на зразках з цементного каменю після 20 циклів заморожування-відтавання.

Виконана робота дала можливість оцінити вплив всестороннього і одностороннього заморожування зразків на зміну фізико-механічних характеристик і морозостійкості будівельних матеріалів.

Проведені експериментальні дослідження показали, що при односторонньому заморожуванні зміна маси, глибини карбонізації, коефіцієнтів пошкоженості та фізико-механічних характеристик відбувається менш інтенсивно в порівнянні з всестороннім впливом негативних температур.

Отримані експериментальні результати дають підставу зробити висновок, що умови впливу негативних температур на вироби і конструкції грають істотну роль в їх здатності чинити опір морозному руйнуванню. Для розкриття причин виникнення виявленого феномена розроблені програми подальших досліджень.

[1] Гузев Е. А. Оценка морозостойкости бетона по параметрам механики разрушения [Текст] / Е.А.Гузев, К.А. Пирадов, Т.Л. Манаев, А. Л. Мочалов // *Бетон и железобетон*. 2000. №3. С. 26–27.

[2] Пирадов К.А. Прогнозирование морозостойкости бетона на основе фундаментальных положений механики разрушения [Текст] / К.А. Пирадов, Т.Л., Манаев, Т.А. Кожобеков, С.М. Марченко // *Бетон на рубеже третьего тысячелетия*. М., 2001. Книга 3. С. 1490–1494.

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВАНТАЖНОГО КАНАТУ

INCREASING THE LONGEVITY OF CARGO ROPE

д-р. тех. наук, професор, Н.М. Фідровська¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Dr. of Technical Sciences, Professor, N.M. Fidrovskaya¹

¹Kharkiv National Automobile and Highway University

Підвищення довговічності вантажного канату являється дуже важливим при проведенні навантажувально-розвантажувальних робіт.

Сучасний рівень розвитку техніки потребує все нові вимоги до надійності і довговічності підйомних канатів. При виборі конструкції канатів потрібно виходити із тих умов, в яких вони будуть експлуатуватися і проводити розрахунки саме виходячи з цих умов. Метод розрахунку канатів, який застосовується стандартом на теперішній час, не відображає дійсних умов роботи канату і не забезпечує його потрібної довговічності

При роботі кранового каната в його перетинах виникають напруження розтягу від підіймає мого вантажу, вигину при проходженні блоків і барабана, кручення, а також контактні напруження. При проектуванні усі канати розраховують на статичне навантаження без урахування напружень згину, кручення. При розрахунку канату виходять з щільності канату і граничної прямої довжини. Оцінка натягнення канату при його згинанні по шківу або барабану є досить важливою, тому що вона визначає напружений стан та довговічність не тільки каната, але і блока та барабана. І.Ф.Нікітіним був проведений експеримент, який дав можливість визначити величину і характер зміни додаткових зусиль в дроті каната при набіганні його на шків, для цього був вибраний спіральний канат. Дуже цікавим є те, що дійсне максимальне натягнення дротинки в десять разів менше натягнення пасма і воно діє на дуже малій ділянці контакту з барабаном, де дротинка, крім розтягнення, починає вигинатися. Можна впевнитись в тому, що саме напруження згину, а не розтягнення приводить до деформацій дротинок. В тих розрахунках, які наводяться в навчальній і довідковій літературі, недооцінюється вплив геометричних і пружних параметрів канатних блоків на довговічність канату. Канат вибирається тільки з умов на розтягнення, в той час, як експериментально доведено, що розрив дротинок в більшості випадків виникає саме при проходженні канатом блоку. Експериментальні дослідження, які проводилися Б.С.Ковальським, Д.Г.Житковим, К.М.Масленіковим, І.Ф.Нікітіним та іншими показали, що довговічність канату залежить від його конструкції, режимів експлуатації і не може визначатися тільки статичною міцністю.

Значний вплив на довговічність канату має не тільки діаметр канатного блоку, але і кути розкриття канавки. Проведені тести і практика показали, що величина повороту канату навкруги своєї осі залежить від кута розкриття рівчака. Чим більший кут, тим менше буде скручуватися канат. При куті розкриття канавки 30 градусів кручиння в два рази більше, ніж при куті 60 градусів. Досвід експлуатації показує, що кут розкриття шківа, який рекомендований в нормалях, не відповідає умовам роботи талевих канатів.

Бокові поверхні рівчаків шківів, які виконані по цим нормам мають інтенсивний знос в наслідок недостатнього кута розкриття. На основі експериментальних даних, отриманих нами і іншими авторами, була виведена формула для визначення впливу кута розкриття рівчака блоку на довговічність канату. Основною причиною зносу канатів в механізмах підйому вантажопідйомних кранів є згин канату на поліспастих і обвідних блоках, а також на барабані. Проведені дослідження показують, що причиною руйнування дротинки канату являються знос поверхні і змінення в процесі експлуатації мікроструктури і механічних властивостей сталі. Це являється результатом великих контактних навантажень на дротинки з боку матеріалу рівчака блоку, тому що площа контакту між ними мала. Для підвищення довговічності канату необхідно збільшувати площину контактування канату і блоку. На практиці це часто не враховують, що призводить до підвищеного зносу і канату і блоку. Суттєвий вплив на строк служби канату має матеріал, профіль рівчаку жолобу і цілий ряд інших факторів. Тому, беручи до уваги актуальність проблеми підвищення довговічності роботи кранових канатів, рекомендується при виборі діаметру блоку використовувати методику розрахунку по строку служби.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ СТАЛЕВИХ БАЛОК
ПЕРЕКРИТТЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ ПРООН УКРАЇНИ**

**INVESTIGATION OF THE FIRE RESISTANCE OF STEEL FLOOR BEAMS
IN THE RECONSTRUCTION OF A BUILDING UNDP UKRAINE**

канд. техн. наук Н.О. Костира¹, доктор філософії О.В. Башинський²

¹Національний авіаційний університет (м. Київ)

*²Національний університет біоресурсів і природокористування
України (м. Київ)*

PhD (Tech.) N.O. Kostyra¹, PhD (Tech.) O.V. Bashynskiy²

¹National Aviation University (Kyiv)

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv)

При реконструкції об'єктів відповідно до ДБН А.2.1-1 не допускається розроблення проєктної документації без уточнення виконаних інженерних вишукувань та інструментального обстеження об'єктів. Оцінювання технічного стану несучих конструкцій двоповерхової будівлі Представництва ООН в Україні визначалось за натурним оглядом основних конструктивних елементів, інструментальними обстеженнями, а також на підставі геологічних і геодезичних вишукувань, які проводились одночасно з технічним обстеженням [1, 2].

При технічному обстеженні визначено конструктивну схему і встановлено категорії технічного стану для несучих конструкції будівлі. У перекритті над другим поверхом, яке тривалий час замочувалося внаслідок протікання покрівлі, виявлені численні дефекти і пошкодження, що показані за рисунках 1 і 2, які роблять його непридатним для подальшої експлуатації у якості несучої конструкції.



Рис. 1. Пошкодження дерев'яної балки горищного перекриття



Рис. 2. Розкриття горищного перекриття

За результатами технічного обстеження було прийнято рішення по верху реконструйованих горищних перекриттів виконати нові монолітні залізобетонні

перекриття по сталевих балках зі спіранням на сталезалізобетонні пояси, влаштовані по всіх стінах.

При розвитку пожежі у будівлях, що проектуються зі сталевих конструкцій, несучі конструкції починають активно деформуватися та втрачати свою несучу здатність через 15 хвилин [3] після виникнення пожежі. Тому необхідно виконати оцінку межі вогнестійкості сталевих несучих балок за представленою чисельно-аналітичною методикою для визначення ефективного вогнезахисного матеріалу [4] в LIRA-FEM (ПК ЛІРА-САПР).

Алгоритм розрахунку представлено на рисунку 3.

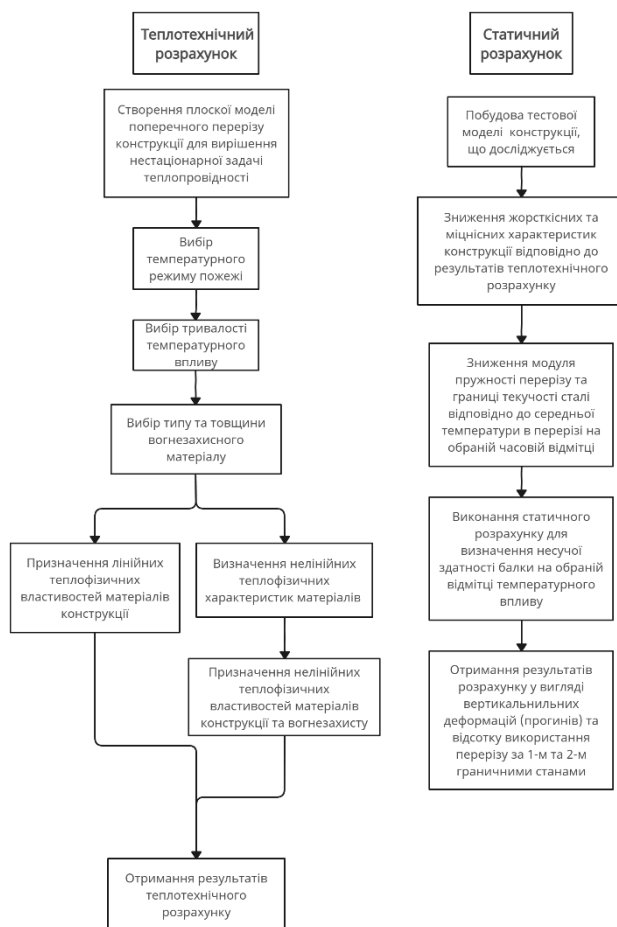


Рис. 3. Чисельно-аналітичний алгоритм визначення границі вогнестійкості сталевій балки перекриття

- [1] Костира Н.О. Особливості технічного обстеження об'єктів прилеглих до існуючої забудови / Н.О. Костира, В.М. Бакуліна // Будівельні конструкції. Теорія і практика. КНУБА. – № 12. –2023. – С. 105-114.
- [2] Костира Н.О., Малишев О.М., Бакуліна В.М. Особливості технічного обстеження та паспортизації прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. 2019. Vol. 10. № 1. P. 165–169.
- [3] Bilyk S., Bashynska O., Bashynskiy O. Determination of changes in thermal stress state of steel beams in LIRA-SAPR software. Strength of materials and theory of structures. 2022. №108. С. 189-202.
- [4] Башинський О.В., Башинська О.Ю. Аналіз напружено-деформованого стану вогнезахисної сталевій балки перекриття. Будівельні конструкції. Теорія і практика. 2023. №12. С. 126-138.

**ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ БАЛКОВИХ ЗГИНАЛЬНИХ
ЕЛЕМЕНТІВ З АРМУВАННЯМ ЛИСТАМИ**

**FEATURES OF MANUFACTURING BEAM BENDING ELEMENTS WITH
REINFORCING SHEETS**

аспірантка Н.В. Табаркевич¹, А.С. Візір¹

¹ДНП «Державний університет Київський авіаційний інститут» (м. Київ)

postgraduate N.V. Tabarkevich¹, A.S. Vizir¹

¹State Enterprise «State University Kyiv Aviation Institute» (Kyiv)

Однією з головних задач, що стоять перед будівництвом на сьогодні, є створення нових прогресивних конструктивних елементів, які б задовольняли вимогам зменшення витрат матеріалів, маси як окремих несучих конструкцій, так і будівель у цілому, зниження трудомісткості виготовлення, монтажу і підвищення несучої здатності.

Для вирішення задачі був запропонований поперечний переріз конструкції сталезалізобетонних балкових згинальних елементів (рис.1) та виготовленні експериментальні зразки для визначення несучої здатності запропонованих сталезалізобетонних елементів (рис.2). Виготовлення згинальних сталезалізобетонних балкових конструкцій з армуванням вертикальними листами викликає практичний та науковий інтерес і є актуальною задачею.

Ефективність таких сталезалізобетонних конструкцій, що згинаються, забезпечується за рахунок використання листової сталі шляхом розміщення її на зовнішніх гранях перерізу. Армування сталевими листами знижує розтягувальні напруги в бетоні, підвищуючи його стійкість до тріщиноутворення а також дає можливість одержати відповідний приріст міцності та жорсткості, та використовувати зовнішню листову сталь як опалубку при бетонуванні, а після затвердіння бетону – як несучу арматуру.

Сталезалізобетонні конструкції із зовнішнім листовим армуванням дозволять збільшити прольоти і покращити функціональні якості будівлі, значно розширюють можливості трансформації приміщень та їх перепланування у випадку зміни технології або призначення об'єкта, так як такі конструкції мають велику жорсткість.

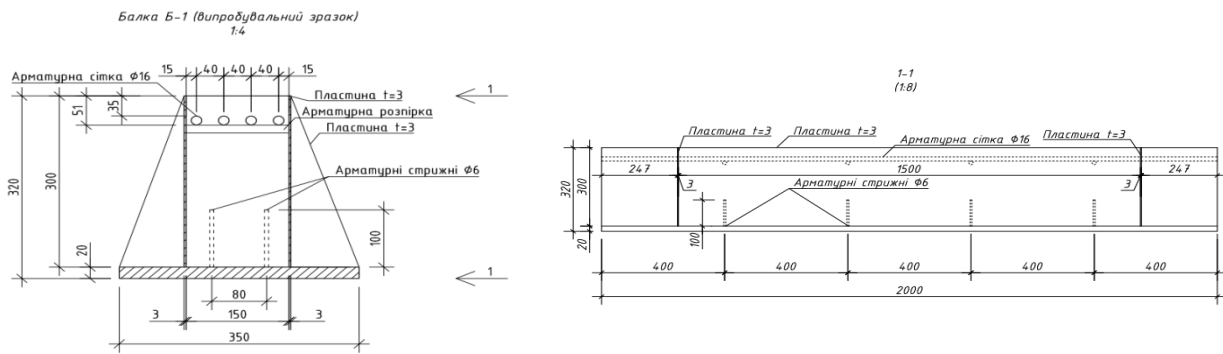


Рис. 1. Запропонований переріз конструкцій сталезалізобетонних балкових згинальних елементів



Рис. 2. Виготовленні зразки сталезалізобетонних балкових згинальних елементів з армуванням листами

Конструкції сталезалізобетонних балкових згинальних елементів широко застосовуються в будівництві для створення перекриттів, мостів, каркасів будівель та інших конструкцій, що піддаються великим навантаженням.

Сталезалізобетонні балкові конструкції з листовим армуванням підходять для об'єктів, де потрібні економія матеріалів і покращення експлуатаційних характеристик без значного збільшення маси конструкції. Завдяки своїм високим характеристикам вони знаходять все більш широке застосування в сучасному будівництві.

- [1] Ватуля Г.Л. Розрахунок і проектування комбінованих та сталобетонних конструкцій [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Г.Л. Ватуля. – Харків, 2015.
- [2] ДБН В.2.6-198:2014: Сталеві конструкції. Норми проектування. Зі Зміною № 1 [Чинний від 2014-06-10]. – К.: УкрНДІпроектстальконструкція», 2014, 290 с.
- [3] ДБН В.2.6-160:2010 Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення. Зміна №1 [Чинний від 2010-06-10]. – К.: Міністерство розвитку громад та територій України, 2010, 60с.
- [4] ДБН В.2.6-98:2009: Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2009-24-12]. – К.: Міністерство розвитку та територій України, 2009, 71с.
- [5] Сталезалізобетонні каркаси одноповерхових будівель універсального призначення: монографія / За заг. ред. Стороженко Л.І. – Полтава 2018. – 322 с.

**ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОЇ МІЦНОСТІ АРМАТУРИ В
ЗРУЙНОВАНОМУ ЗАЛІЗОБЕТОННОМУ ПІЛОНІ**

**DETERMINATION OF THE RESIDUAL STRENGTH OF
REINFORCEMENT IN THE DESTROYED REINFORCED CONCRETE
SUPPORT**

к.т.н., доцент С.М. Скребнєва¹, аспірант О.О. Табаркевич¹

¹ДНП «Державний університет Київський авіаційний інститут» (м. Київ)

У сучасних умовах експлуатації будівель та споруд питання оцінки технічного стану конструкцій набуває особливої актуальності. Залізобетонні пілони є важливими елементами багатьох інженерних споруд, таких як мости, висотні будівлі та інші об'єкти, де їх стійкість і довговічність мають вирішальне значення. В процесі тривалої експлуатації під дією різних навантажень, зовнішніх факторів та можливих аварійних ситуацій залізобетонні конструкції можуть зазнавати часткових або значних руйнувань.

Визначення залишкової міцності арматури у зруйнованих залізобетонних елементах є важливим етапом у процесі оцінки можливості подальшого використання або необхідності реконструкції конструкції. Дослідження цього аспекту дозволяє зрозуміти, наскільки ефективно арматура може виконувати свої функції після часткового руйнування пілону та які чинники впливають на зниження її несучої здатності.

Попередньо перед визначенням залишкової міцності арматури визначають коефіцієнт запасу міцності та приймають рішення щодо подальшої експлуатації залізобетонного пілону.

На прикладі реального зруйнованого залізобетонного пілону, який був попередньо обстежений, виконаний розрахунок залишкової несучої здатності та прийнято рішення, щодо відновлення для подальшої експлуатації пілону.

Висота залізобетонного пілону становить 3,3 м з яких 2 м пілону зруйновано (рис.1.1). З пілону було відібрано 1 партію зразків арматурної сталі Ø14 мм у кількості 3 штук.

Випробування арматури виконувалося на розтяг для отримання границі міцності, границі плинності та відносного подовження арматури. Зразки арматури закріплювалися в випробувальній машині, після чого до них прикладалося навантаження до моменту руйнування (рис.2).

Результати випробувань зразків арматури, наведено в таблиці 1.



Рис. 1. Зруйнований пілон



Рис. 2. Арматура після випробування

Таблиця 1 – Результати випробувань зразків арматури

Номер партії	Номер зразка	Розміри перерізу (діаметр), мм	Площа перерізу, мм ²	Довжина, мм	Границя плинності, МПа	Тимчасовий опір, МПа	Видовження, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	493/22	14	150.1	752	405.15	470.50	22.9
	494/22	14	149.6	632	406.47	474.66	21.4

За результатами проведених випробувань зразків арматурної сталі, що відібрані з залізобетонного пілону, було визначено механічні характеристики, які становлять:

- границя плинності зразків (партія 1) – від 405,15 МПа до 406,47 МПа;
- тимчасовий опір зразків (партія 1) – від 470,50 МПа до 474,66 МПа;
- відносне видовження зразків (партія 1) – від 21,4 до 22,9%.

Згідно з ДСТУ 3760:2019 випробувальні зразки арматури можна віднести до класу арматурного прокату А400С, що відповідає запроєктованому класу в зруйнованому пілоні, тому використання арматури для відновлення пілону доцільне.

[1] ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2019-08-01]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2019, 21 с.

[2] ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. [Чинний від 2019-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2018, 36 с.

[3] ДБН В.2.6-98:2009: Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2009-24-12]. – К.: Міністерство розвитку та територій України, 2009, 71с.

ЧИСЕЛЬНО-АНАЛІТИЧНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВНУТРІШНІХ ЗУСИЛЬ У ПЕРЕРІЗАХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

NUMERICAL-ANALYTICAL TECHNIQUE FOR DETERMINING INTERNAL FORCES IN CROSS-SECTIONS OF BUILDING STRUCTURES

А.В. Томашевський¹

¹*ТОВ «ЛІРА САПР», Національний авіаційний університет (м. Київ)*

A. V. Tomashevskiy¹

¹*“LIRA SAPR” LLC, National Aviation University (Kyiv)*

При моделюванні роботи будівельних конструкцій методом скінченних елементів використовуються скінченні елементи різної розмірності: стержневі, пластинчасті та об'ємні. Вибір певного типу скінченного елемента робиться з міркувань забезпечення достатнього рівня відповідності між математичною моделлю й дійсною роботою конструкції, коректності формування вузла примикання до інших елементів, зручності для збирання навантажень і аналізу результатів, придатності внутрішніх зусиль до використання в інших прикладних розрахунках.

Деякі конструкції, такі як пілони, короткі простінки, перемички, балки-стілки, збірні плити перекриттів, стінові панелі, діафрагми, ядра жорсткості будівель, моделюються набором елементів різної розмірності, але за роботою подібні до стержнів. Їхні складені поперечні перерізи будуть представлені в моделях наборами скінченних елементів та вузлів. Для докладного аналізу та прикладних розрахунків таких конструкцій пропонується впроваджена в ПК ЛІРА-САПР [1] чисельно-аналітична методика обчислення внутрішніх зусиль через вузлові реакції елементів, що формують складений переріз. Для визначення інтегрованих внутрішніх зусиль у складеному перерізі, утвореному вихідними вузлами та елементами, слід обчислити сумарні вузлові реакції, що виникають у даних вузлах від даних елементів, приведені до обраної системи координат складеного перерізу.

Методика реалізована в системах «Кам'яні та армокам'яні конструкції» та «Стержневі аналоги». У першій вона дозволяє розраховувати зусилля в простінках та є основою для подальших автоматизованих розрахунків кам'яних та армокам'яних конструкцій.

Більш універсальні можливості для аналізу та конструювання різноманітних будівельних конструкцій, робота яких подібна до роботи стержнів, надає система «Стержневі аналоги» [2]. Стержневий аналог складається з вихідних вузлів та елементів, що формують складені перерізи аналізованої конструкції, та цільового стержня, зусилля в якому обчислюються не на основі переміщень його вузлів, а шляхом підсумовування вузлових реакцій у вузлах від елементів

складених перерізів. Обчислені внутрішні зусилля в перерізах цільового стержня далі використовуються для визначення зусиль за розрахунковими сполученнями навантажень і зусиль, а також в роботі систем конструювання. Стержневі аналоги в ПК ЛПА-САПР можуть застосовуватися у лінійних та нелінійних моделях, у статичній та динамічній постановках задач [3, 4, 5, 6, 7].

Розглянута верифікація запропонованої методики на прикладах вирішення класичних задач будівельної механіки [8], а також варіанти застосування основаних на ній інструментів при вирішенні практичних задач [9].

Наведена чисельно-аналітична методика надає можливість обчислювати внутрішні зусилля у перерізах будівельних конструкцій при максимальному збереженні виду вихідної моделі з урахуванням міркувань інженера про доцільність вибору тих чи інших типів скінченних елементів, про граничні розміри скінченно-елементної сітки та про влаштування вузлів примикання конструкцій, фактично інтегруючи напруження по площині перерізу [10], але застосовуючи для цього вузлові реакції, отримуючи точні та керовані результати, готові для подальшого аналізу та застосування на наступних етапах розрахунку. Недоліком запропонованої методики є необхідність формування складеного перерізу скінченними елементами й вузлами в одній площині, що вирішується засобами автоматизації побудови скінченно-елементних моделей, які допоможуть згенерувати необхідні об'єкти та налаштувати сітку скінченних елементів.

- [1] Барабаш М. С., Сорока М. М., Сур'янінов М. Г. Нелінійна будівельна механіка з ПК ЛПА-САПР : монографія. Одеса : Екологія, 2018. 248 с.
- [2] Varabash M. S., Tomashevskyi A. V. Bar analogues for modelling of building structures. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2020. Vol. 16. Issue 3. P. 100 – 106.
- [3] Городецький О. С., Євзеров І. Д. Комп'ютерні моделі конструкцій. Київ : Факт, 2007. 394 с.
- [4] Городецький О. С., Барабаш М. С., Урахування нелінійної роботи залізобетонних конструкцій у практичних розрахунках. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування* : зб. наук. праць. Дніпро : ПДАБА, 2014. Вип. 77. С. 54 – 59.
- [5] Gorodetskyi O. S., Varabash M. S., Romashkina M. A., Tomashevskyi A. V. “Characteristic load” principle. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2020. Vol. 16. Issue 2. P. 50 – 63.
- [6] Барабаш М. С. Комп'ютерне моделювання процесів життєвого циклу об'єктів будівництва : монографія. Київ : Сталь, 2014. 301 с.
- [7] Барабаш М. С. Вплив процесу зведення на просторову роботу несучих систем будівель. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування* : зб. наук. праць. Дніпро : ПДАБА, 2012. № 65. С. 29 – 34.
- [8] Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В., Довідник з опору матеріалів. Київ : Наукова думка, 1988. 736 с.
- [9] Varabash M. Some aspects of modelling nonlinear behaviour of reinforced concrete. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 2018. Vol. 100. P. 164 – 171.
- [10] Gorodetskyi O. S., Varabash M. S., Filonenko Yu. B. Numerical Methods for Determining Stiffness Properties of a Bar Cross-Section. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2019. B. 55. Vol. 2. P. 180 – 188.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРУГЛИХ ОПОР У СВІТОВИХ СТАНДАРТАХ

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF CIRCULAR POLES IN NATIONAL BUILDING STANDARDS

*д-р техн. наук А.В. Махінко¹, д-р техн. наук Н.О. Махінко¹,
канд. техн. наук С.О. Склярєнко², аспірант Д.Є. Рулов¹*

¹ Національний авіаційний університет (м. Київ)

² ПП Полтава-проект (м. Полтава)

*A. Makhinko¹, D.Sc. (Tech.), N. Makhinko¹, D.Sc. (Tech.),
PhD (Tech.), S. Skliarenko², D. Rulov¹*

¹ National Aviation University (Kyiv)

² PE Poltava-Project (Poltava)

У дослідженні розглядається нормативний розрахунок на вітрове навантаження сталевих опор і веж круглого та багатокутного перерізів. Такий тип опор зазвичай використовуються для освітлення, зв'язку, реклами та ін.



Рис. 1. Приклади суцільних сталевих опор

Статичну схему конструкції відповідним чином відтворює консольна балка, закріплена в основі. Освітлювальні прилади або будь-яке інше обладнання, яке може утримувати стовбур схематизуються у вигляді локалізованих мас вздовж осі. Однак, незважаючи на структурну простоту, результати розрахунку таких конструкцій можуть сильно відрізнятись відповідно до різних будівельних норм. По-перше, це пов'язано з відмінностями в стандартизації аеродинамічних характеристик опор і веж, по-друге, з відмінностями в описі вітрових умов місцевості, по-третє, з використанням різних методів динамічного аналізу.

Аналізу підлягала лише перша складова проблеми - різний підхід у світових стандартах до опису аеродинамічних характеристик. Для цього розглянуто дев'ять відомих стандартів у галузі вітроенергетики: європейський стандарт Eurocode EN 1991-1-4, український ДБН В.1.2:2-2006, американський стандарт ASCE 7-10, міжнародний стандарт ISO 4354, стандарт Японського інституту архітектури AIJ RLB, австралійський і новозеландський стандарт AS/NZS 1170.2, британський стандарт BS 8100, Національний будівельний кодекс Індії і канадський стандарт CSA S37-01.

Під аеродинамічним опором в рамках всіх світових норм проектування слід розуміти коефіцієнт лобового опору, який безпосередньо впливає на реакцію споруд вздовж вітрового потоку. Для циліндричної опори будь-якого поперечного перерізу цей показник можна записати у вигляді

$$C_D = C_{D\infty} \cdot k_D, \quad (1)$$

де $C_{D\infty}$ – коефіцієнт лобового опору призми нескінченної довжини; k_D – коефіцієнт масштабу, який враховує фактичну довжину призми.

Для виконання порівняльного аналізу були відібрані секції опор із найбільш характерним відношенням висоти h до діаметру d . Виявлено, що аеродинамічні коефіцієнти циліндричних опор змінюються у досить широкому діапазоні значень, особливо це помітно при невеликих швидкостях вітру (рис. 2).

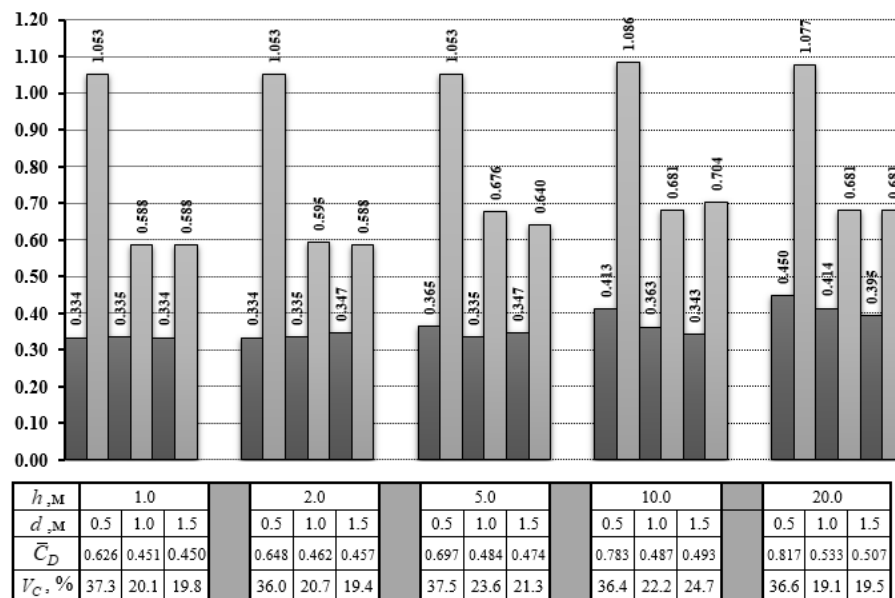


Рис. 2. Порівняльний аналіз аеродинамічних коефіцієнтів циліндричних опор зв'язку при середній швидкості вітру 10 м/с

Якщо пригадати, що коефіцієнт лобового опору виступає коефіцієнтом пропорційності між швидкісним напором вітру та безпосередньо вітровим навантаженням, то останнє, очевидно, може бути переоціненим або

недооціненим приблизно на 20 ÷ 70% . Це надзвичайно велика відмінність нормативних положень, особливо для такого простого з точки зору аеродинаміки тіла, як круговий циліндр.

[1] Makhinko A. Computational aerodynamics in architectural siting of the structures of agro-industrial complex // A. Makhinko, N. Makhinko. – E3S Web of Conferences, 2021. 280, 03002.

[2] Flaga A. Wind engineering: basics and applications / A. Flaga. – Warszawa: Arkady, 2008. – 720 p.

[3] Pichugin S. Wind load on building structures // S. Pichugin, A. Makhinko. – Poltava: ASMI, 2005. – 342 p.

[4] Пічугін С.Ф. Порівняльна оцінка надійності елементів металокопункцій під дією вітрового навантаження // С.Ф.Пічугін, М.А.В.ахінко, Н.О. Складенко – Зб. наук. пр.(Галузеве машинобудування, будівництво) . – Полтава, 2007. Вип. 17. – С. 122-127.

УДК 624.131.7: 624.138

**АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
АРМУВАННЯ ГРУНТОЦЕМЕНТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ОСНОВИ
ФУНДАМЕНТУ РЕЗЕРВУАРА**

**THE APPROVAL FOR THE METHOD OF EFFICIENCY ASSESSMENT
WHEN REINFORCING TANK FOUNDATION WITH SOIL-CEMENT
ELEMENTS**

*д-р техн. наук А.О. Мозговий¹, канд. техн. наук К.В. Спіранде¹,
асп. А.А. Бутенко¹, О.М. Агафонов²*

*¹Харківський національний університет міського господарства
імені О. М. Бекетова (м. Харків)*

*²ДП «Український державний головний науково-дослідний і виробничий
інститут інженерно-технічних і екологічних вишукувань» (м. Харків)*

***A.O. Mozgovyi¹, Dr. Sc. (Tech.), K.V. Spirande¹, PhD (Tech.)
A.A. Butenko¹, PhD student, O.M. Ahafonov²***

¹O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (Kharkiv)

*²State Enterprise «Ukrainian State Research and Production Institute of
Engineering and Technical and Environmental Surveys» (Kharkiv)*

Досить розповсюдженими спорудами в промисловому комплексі України є резервуари для зберігання рідини. Досліджено резервуари висотою 23 380 мм і діаметром 10 430 мм для зберігання олії, які під час гідравлічних випробувань зазнали понаднормативних деформацій осідання.

Плитний фундамент резервуара спирається на демпферний шар товщиною 700 мм зі щебеню і на основу, що армована вертикальними ґрунтоцементними елементами (ГЦЕ) діаметром 505 мм, довжиною 7 м, що рівномірно розміщено з кроком 1,2 м в обох напрямках.

В результаті контрольних інженерно-геологічних вишукувань встановлено, що за проєктне рішення приймалось спирання ГЦЕ в супіски з модулем деформації 32 МПа і частково в піски – 24 МПа. При цьому, на глибинах нижче 9.7 м мали б знаходитись супіски і піски з модулями деформації 36 МПа –

38 МПа. Але, фактично, спірання ГЦЕ відбулось в супіски з модулем деформації 14 МПа і частково в супіски – 7 МПа. А на глибинах нижче 13.5 м – в супіски та піски з модулями деформації 14 МПа та 20 МПа відповідно.

Крени фундаментів виникли при первинному навантаженні резервуарів. Окрім того, виявлено прогин та кривизну фундаментів безпосередньо. Нерівномірне осідання спричинило деформації сталевих резервуарів. Відхилення резервуарів 11.2 і 11.3 від вертикалі склали відповідно 100 мм і 374 мм. Вертикальний нахил при цьому відповідно склав $i = 0.004$ та $i = 0.015$.

Розрахунок осідань фундаментів резервуарів виконано на дію повного навантаження резервуара водою. Прийнято наступні параметри армування: $A_{гр}$ – площа ґрунту без урахування елементів армування, $A_{гр} = (S_x \cdot S_y - A_{sc})$; A_{sc} – площа поперечного перерізу елемента армування, S_x та S_y – кроки армування в обох напрямках, $S_x = S_y = 1.2$ м. Так, значення усередненого максимального напруження, що сприймається ґрунтоцементними елементами складає:

$$\sigma_{max}^{sc} = \frac{N_{max}^{sc}}{A_{sc}} = 1.92 \text{ МПа} < R_{sc} = 2 \text{ МПа},$$

де N_{max}^{sc} – усереднене максимальне зусилля, що сприймається ГЦЕ, R_{sc} – розрахунковий опір ґрунтоцементну у відповідності до табл. 1 [1]. Враховуючі близькі значення напружень до розрахункового опору слід зауважити можливість руйнування оголовків ГЦЕ за умовою міцності матеріалу внаслідок нерівномірного розподілення тиску під фундаментом.

За побудованими графіками представленими на рис. 1 значень зусиль визначено уточнене осідання армування з ГЦЕ і ґрунтового масиву.

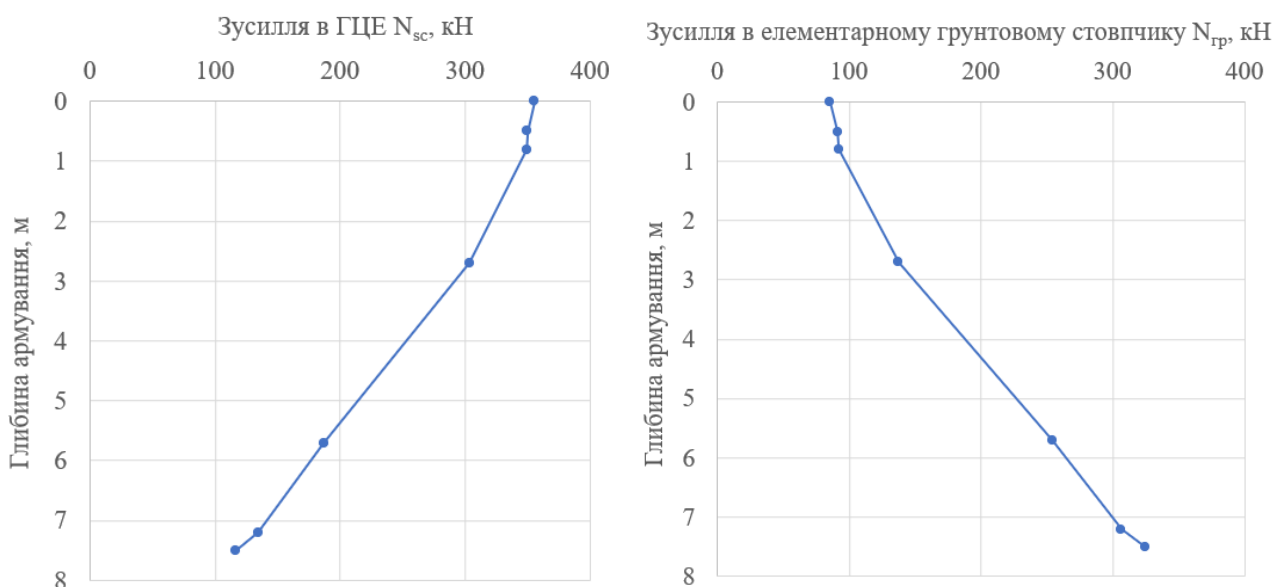


Рис. 1. Графіки розподілу зусиль між ґрунтоцементними елементами і ґрунтовим масивом

Осідання фундаменту складає 179.8 мм, що включає 117.8 мм на рівні армування ґрунту і 62 мм нижче армування ГЦЕ. Основною причиною

підвищених деформацій фундаментів є параметри ґрунтів з невисокими модулями деформації і підвищеними показниками текучості. Крени фундаментів можна пояснити наявністю ущільнених ґрунтів з боку резервуару, що існував раніше, який був демонтований і переміщений в рамках проекту реконструкції.

[1] ДБН В 2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. – К: ДП «Укрархбудінформ», 2018. – 36 с.

**СЕКЦІЯ
БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ЗАХИСТ І РЕМОНТ
КОНСТРУКЦІЙ ТА СПОРУД**

УДК 691.5

**THE INFLUENCE OF CARBONATE ADDITIVES ON THE FORMATION
OF THE STRUCTURE OF CEMENT STONE**

*Dr hab., O. Borziak¹, Dr hab. ing., T. Rucińska¹,
PhD student V. Zhuravel²*

¹*West Pomeranian University of Technology in Szczecin (Szczecin, Poland)*

²*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Concrete and reinforced concrete hydraulic structures located in marine areas and transport structures where road salt is regularly used are exposed to chlorides. As is known, chlorides are hazardous substances for concrete structures, as they accelerate the corrosion processes of steel reinforcement. Penetration of chlorides into concrete leads to a series of chemical reactions that cause corrosion of reinforcement and, ultimately, destruction of concrete. Understanding the mechanisms of chloride penetration into concrete, the mechanisms of chloride corrosion and the development of appropriate protection strategies are key tasks in the context of durability and operational safety of the mentioned structures.

The presence of chloride ions in reinforced concrete leads to the destruction of the passivation layer of reinforcing bars; to the decrease in the pH of the pore solution, since the solubility of calcium hydroxide decreases; to the increase in humidity due to the absorption properties of salts in concrete; and an increase in the electrical conductivity of concrete [1, 2].

There are conflicting data in various literature sources on the effect of carbonate admixtures on chloride penetration in concrete. Research [3] shows that the more limestone powder in concrete, the faster chloride ions penetrate into it. Limestone powder increases the content of capillary pores, which is the main factor affecting the rate of diffusion of chloride ions in concrete. In turn, other studies discussed in the literature have shown that the penetration of chloride ions is significantly reduced when using mineral additives in concrete production, including calcium carbonates [4].

It is reliably known that chloride ions bind to ordinary Portland cement paste and thus change its mineralogy. Chloride ions entering the cement system displace sulfates from the monosulfoaluminate, thereby forming Kusel's salt at lower chloride concentrations and Friedel's salt at higher concentrations. The released sulfate ions react with calcium and aluminum. This leads to the formation of ettringite, which usually causes volume expansion but also seals the pores. In the presence of carbonate additives, chloride ions displace carbonate from the monocarboaluminate

phase and thus form Friedel's salt [5-6]. Carbonate-containing systems and conventional systems have their advantages and disadvantages. Carbonate suppresses the potentially expansive chloride penetration reactions, but at the same time reduces the overall chloride binding capacity and increases the Cl-/OH- ratio in water [5].

Samples of cement-sand mortar were studied using Portland cement without additives and Portland cement with limestone as a binder. The samples were placed in solutions with different chloride concentrations. As a result of the studies, it was found that the depth of chloride penetration in all samples, as expected, varies depending on the concentration of the solution in which the samples were stored. Changing the composition of the cement did not lead to a significant change in the depth of chloride penetration. It can be concluded that the structure of the material still determines the penetration of chlorides. Although the addition of carbonates will affect the composition of the hydration products of the cement stone, it will not slow down the penetration process at high chloride concentrations. To learn more about this topic, studies are needed to detect additional hydration products and analyze their effect on chloride penetration. It is necessary to analyze individual hydration products and determine which of them affect the spread of chlorides. It is also necessary to conduct a detailed analysis of the structure of the cement stone and assess how the combined change in the mineral composition of hydration products and the capillary-porous structure will affect the permeability of the cement composite for chlorides.

- [1] Agboola, O., Kupolati, K.W., Fayomi, O.S.I. *et al.* A Review on Corrosion in Concrete Structure: Inhibiting Admixtures and Their Compatibility in Concrete. *J Bio Tribo Corros* **8**, 25 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40735-021-00624-2>
- [2] Vu Kim Anh T., Stewart Mark G. Structural reliability of concrete bridges including improved chloride-induced corrosion models, *Structural Safety*, Vol.22, Issue 4, 2000, pp 313-333. [https://doi.org/10.1016/S0167-4730\(00\)00018-7](https://doi.org/10.1016/S0167-4730(00)00018-7).
- [3] Kępcniak, M.; Woyciechowski, P.; Łukowski, P.; Kuziak, J.; Kobyłka, R. The Durability of Concrete Modified by Waste Limestone Powder in the Chemically Aggressive Environment. *Materials* **2019**, *12*, 1693. <https://doi.org/10.3390/ma12101693>
- [4] Uysal M., Yilmaz K., The effect of mineral admixtures on mechanical properties, chloride ion permeability and impermeability of self-compacting concrete. *Construction and Building materials*, T. 27, N 1, 2012, pp 263-270. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.049>
- [5] Cherif R., Hamami Ameer El Amine, Aït-Mokhtar A., Bosschaerts W. Thermodynamic equilibria-based modelling of reactive chloride transport in blended cementitious materials. *Cement and Concrete Research*, **156**, 2022, 106770. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.106770>.
- [6] Balonis M., Lothenbach B., Le Saout G., Glasser F. P. Impact of chloride on the mineralogy of hydrated Portland cement systems. *Cement and Concrete Research*, **40** (7), 2010, pp. 1009-1022. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.03.002>.

**THE RELEVANCE OF INCREASING THE CORROSION RESISTANCE OF
CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER
EXPOSURE TO SEA WATER**

Yu Wei¹, PhD student

¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

Designing concrete structures that are resistant to seawater is of great importance for the global construction industry. Seawater causes corrosion of reinforcement and deterioration of concrete properties [1]. The use of corrosion-resistant materials ensures a long service life of offshore structures, reducing the need for frequent repairs and reconstruction. This is especially important for infrastructure facilities that must operate continuously and without significant interruptions for repair work.

It is also important that corrosion of metal elements in concrete can lead to pollution of seawater. Reducing the corrosion of metal elements in concrete helps reduce the risk of pollution of the marine environment with heavy metals and other harmful substances. Corrosion-resistant materials help preserve coastal ecosystems. Due to climate change and rising sea levels, the need for offshore structures that are resistant to aggressive conditions is growing. This allows the infrastructure to adapt to new conditions and minimize the risks associated with climate change.

For China specifically, the development of corrosion-resistant materials is of great importance, as China is actively developing its seaports, docks, piers, breakwaters and other coastal infrastructure facilities. In addition, China is building artificial islands and other structures in the South China Sea [2]. The conditions there are very aggressive due to the high salinity of the water, which makes corrosion-resistant materials necessary to ensure the long-term operation of the facilities.

Thus, the development of seawater-resistant concrete structures is an important step to ensure the durability, cost-effectiveness, safety and environmental sustainability of the construction industry.

[1] Mangi, S.A., Makhija, A., Raza, M.S. et al. A Comprehensive Review on Effects of Seawater on Engineering Properties of Concrete. *Silicon* 13, 4519–4526 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00724-7>

[2] Zhao H., Wang L. Construction of Artificial Islands on Coral Reef in the South China Sea Islands (2017) *Tropical Geography*, 37 (5), pp. 681 - 693, Cited 12 times. DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.002974

**МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СПІЛЬНОЇ ДІЇ АГРЕСИВНИХ ВОДНИХ
СЕРЕДОВИЩ ТА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ НА ЦЕМЕНТНІ
КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ**

**METHODS OF STUDYING THE COMBINED EFFECT OF AGGRESSIVE
AQUEOUS ENVIRONMENTS AND ELECTRIC CURRENT ON CEMENT
COMPOSITE MATERIALS**

*аспірант М.С. Гудименко¹, аспірант В.В. Журавель¹,
докт. техн. наук О.С. Борзяк¹, докт. техн. наук Г.М.Шабанова²*
¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)
²Національний технічний університет «Харківський політехнічний
інститут» (м. Харків)

*PhD student, M. Hudymenko¹, PhD student, V. Zhuravel¹,
DSc, O. Borziak¹, DSc, G. Shabanova¹*
¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)
²National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (Kharkiv)

Корозія є широко поширеною проблемою, яка вражає кілька галузей промисловості. Корозія становить загрозу і для будівельної галузі, оскільки вона руйнує матеріали, які використовуються в конструкціях будівель, мостів, трубопроводів, опор та інших споруд. Це стосується не тільки металевих конструкцій, будь-які цементні композитні матеріали, які піддаються корозії, зазнають руйнування, яке згодом доходить до точки, коли знадобиться реконструкція або відновлення цілої конструкції. Дослідження впливу різних факторів навколишнього середовища на корозійні процеси в структурі таких композитів дозволяють розробляти адаптовані методи захисту.

Вплив електричних полів на цементні матеріали, наприклад, вплив блукаючого струму, створюваного міським залізничним транспортом, на транспортні бетонні конструкції був поступово визнаний науковцями. Раніше вчені зосередилися на електрохімічній корозії арматури в бетоні, що викликана електричними полями, ігноруючи вплив цих полів на цемент.

В роботах [1, 2] автори провели експериментальні дослідження методу електрохімічного прискорення деградації цементних матеріалів при вилуговуванні. Цей метод доводить можливість прискорення розчинення продуктів гідратації цементу шляхом збільшення швидкості руху іонів Са 2+ у поровій воді шляхом дії на цементний зразок, що контактує з водою, постійного градієнта потенціалу. Експериментальне обладнання складалось з двох скляних резервуарів між якими затиснутий зразок цементно-піщаного розчину. Резервуари були заповнені іонообмінною водою, один резервуар містив анод, а

іншій – катод (з нержавіючої сталі). Електроди були підключені до джерела постійного струму, щоб забезпечити градієнт потенціалу вздовж зразка.

Аналогічне експериментальне обладнання і аналогічна схема дослідження були використані і в подальших дослідженнях [3-5 та ін.]. Експериментальне обладнання складалося із джерела імпульсного електричного поля постійного струму, електролітичних комірок з діелектричного матеріалу, електродів (титанових стрижней) і трьох кубічних зразків. В роботі [4] для дослідження впливу рідких агресивних середовищ досліджували зразки цементних матеріалів розміщені між розчинами солей – сульфатів магнію і натрію. В результаті встановлено, що електричне поле в цементному камені впливає на стабільність продуктів гідратації – портландит і гель C S H деградували під впливом агресивного рідкого середовища з низьким рН і електричних полів.

На кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту для дослідження впливу на обводнений бетон пульсуючого одно-спрямованого електричного потенціалу різної величини, режимів виникнення і зникнення одиничних електричних імпульсів, близьких до реальних умов руху електропоїздів, були розроблені і виготовлені спеціальні установки [6, 7]. Кожна установка складалась з полімерної ємності, із системою, що забезпечує за допомогою перфорованої трубки рівномірний потік води з нижньої сторони зразка бетону, джерела постійної напруги. У результаті експериментальних досліджень встановлені кількісні закономірності впливу пульсуючого односпрямованого електричного потенціалу на бетони різних складів. Експериментально встановлено, що в результаті тривалої дії на бетон пульсуючого односпрямованого електричного потенціалу відбувається розчинення портландиту і його винесення з бетону.

В роботі [8] була розроблена оригінальна методика дослідження електрокорозійних процесів у шпалах з композитною та сталеву арматурою. Експериментальне обладнання складалось з контейнеру з діелектричного матеріалу, що заповнений водою або розчином електроліту, в якому розташовані зразки цементно-піщаного розчину зі сталеву або композитною арматурою в циліндрах з діелектричного матеріалу. Електроди розміщуються зверху і знизу зразка, зразки піддаються впливу електричного потенціалу, як постійного, так і пульсуючого. В ході досліджень встановлено, що інтенсивність електрокорозійних процесів у бетоні, залежить від характеру прикладеного електричного потенціалу (постійний чи пульсуючий односпрямований) та типу армування (сталеву чи композитна).

Проведений аналітичний огляд методик експериментальних досліджень дозволив зробити висновок, що для дослідження спільної дії агресивних водних середовищ та електричного струму на цементні композитні матеріали доцільно використати методику, що представлена в роботі [8]. Запропонована в роботі [8] експериментальна установка була модифікована для дослідження проникнення хлорид-іонів в структуру цементного композиту. В подальшому запланована серія експериментальних досліджень з використанням подібної методики для дослідження сумісного впливу електричного струму та водних середовищ різного хімічного складу на цементні композитні матеріали.

- [1] Saito H., Nakane S. Comparison between diffusion test and electrochemical acceleration test for leaching degradation of cement hydration products. *ACI Mater J*, 96 (2) (1999), pp. 208-211
- [2] Saito H., Deguchi A. Leaching tests on different mortars using accelerated electrochemical method. *Cement and Concrete Research*, Volume 30, Issue 11, 2000, pp. 1815-1825. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00377-X](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00377-X)
- [3] Fang, Z., Wang, C., Hu, H., Zhou, S., Luo, Y. 2022 Effect of electrical field on the stability of hydration products of cement paste in different liquid media *Construction and Building Materials*, 359, 129489 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129489>
- [4] Luo Y., Wang C., Luo C., Huang Q., Wang S., Peng X. Effect of electrical field on TSA failure of cement-based materials *Cement and Concrete Research* **90** (2016) pp. 19-26 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000888461630165X?via%3DIhub>
- [5] Huang Q., Liu H., Wang Q., Shan Y., Tang D., Zhang Z., Zhu X. Electric field-induced deterioration of cement mortars owing to calcium leaching. *Developments in the Built Environment*, **17**, 2024, 100303. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100303>.
- [6] Плугін О. А., Борзяк О. С., Мартинова В. Б., Халюшев О. К. Електричні впливи на бетон (електрообробка та захист від електрокорозії бетонів, виробів і конструкцій із них). Харків: Форт, 2013. 300 с
- [7] Плугін Д. А. Розвиток теорії електрокорозії обводнених конструкцій і розробка електрокорозійностійких матеріалів і способів захисту : автореф. дис. ...д-ра техн. наук : 05.23.05 – будівельні матеріали та виробы / Дмитро Артурович Плугін ; Укр. держ. акад. залізн. трансп. - Харків, 2014. - 47 с.
- [8] Plugin A.A., Zhu W., Murygin M.A., Plugin D.A. & Murygina N.O. New research methods of electro-corrosion processes in concrete structures, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1376 (2024) 012018

УДК 691.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕНЕТРАЦІЇ ХЛОРИД-ІОНІВ В СТРУКТУРІ ЦЕМЕНТНИХ КОМПОЗИТІВ З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ПІД ВПЛИВОМ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

STUDY OF CHLORIDE ION PENETRATION IN THE STRUCTURE OF CEMENT COMPOSITES FROM AQUEOUS SOLUTIONS UNDER THE INFLUENCE OF AN ELECTRIC FIELD

аспірант В.В. Журавель¹

¹*Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

PhD student V. Zhuravel¹

¹*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Різноманіття використання композитів на основі мінеральних в'язучих в сучасному світі настільки велике як і велике різноманіття чинників і впливів на них. Одним з таких типів впливу є корозійний вплив електричних струмів витоку та блукаючих струмів, що посилюється при контакті з агресивними водними середовищами. Довговічність таких композитів визначається їх проникністю для експлуатаційних середовищ та стійкістю до них.

Для дослідження сумісного впливу електричного струму та агресивного водного середовища, що містить хлорид-іони на базі кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд УкрДУЗТ було розроблено експериментальну установку. В основу розробленої установки покладено методика дослідження міграції хлоридів у бетонних структурах, що

представлена в роботі [1], а також доповнену методику дослідження електрокорозійних процесів, що представлена в роботі [2].

Основні елементи експериментальної установки:

- контейнер з діелектричного матеріалу, що заповнений розчином хлориду натрію;

- зразки цементних композитів у циліндрах з діелектричної оболонки з відкритими протилежним сторонами, які занурюються до контейнера таким чином, щоб був безпосередній контакт нижньої частини зразка з рідким середовищем у контейнері; верхня частина діелектричної оболонки заповнена розчином гідроксиду натрію.

- металеві електроди, що розміщуються зверху і знизу зразка та підключені до джерела постійного струму.

Зразки цементних композитів піддаються впливу пульсуючого електричного потенціалу, що імітує аналогічний електричний вплив на бетонні конструкції на ділянках руху електричного колійного транспорту. Контрольні зразки перебувають в аналогічному середовищі без електричного впливу.

Основні зразки було виготовлено з використанням двох видів портландцементу – з добавкою вапняку, або з комплексною добавкою вапняку і шлаку в кількості 6-20%. Додатково для зниження проникності композитів для хлорид-іонів було введено добавку крейди в кількості 10%.

Протягом 30 діб зразки піддавались впливу пульсуючого електричного потенціалу величиною 40 В у режимі 15/10 (15 хв – включений, 10 хв – відключений). Після закінчення експерименту були досліджені поперечні перерізи зразків з ціллю встановлення глибини та характеру проникнення хлорид-іонів.

[1] Nordtest NT Build 492: Concrete, mortar, and cement-based repair materials: chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments

[2] Plugin A.A., Zhu W., Murygin M.A., Plugin D.A. & Murygina N.O. New research methods of electro-corrosion processes in concrete structures, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1376 (2024) 012018

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЕОЦЕМЕНТНИХ
МАТРИЦЬ ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ІММОБІЛІЗАЦІЇ ТВЕРДИХ І
УПАРЕНИХ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ**

**INVESTIGATION OF THE MAIN PROPERTIES OF GEOCHEMICAL
MATS INTENDED FOR IMMOBILISATION OF SOLID AND VAPORISED
RADIOACTIVE WASTE**

канд. техн. наук С.Г. Гузій¹

*¹Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища»
НАН України (м. Київ)*

PhD (Tech.) S.G. Guzi¹

*¹State Institution «Institute of Environmental Geochemistry» of the National Academy
of Sciences of Ukraine (Kyiv)*

Існуюча практика поводження з рідкими РАВ полягає у зберіганні твердих і упарених РРВ у спеціальних сховищах на майданчиках АЕС і може розглядатися тільки як тимчасовий захід. На жаль, більшість наявних наразі проектів і програм передбачають, головним чином, інженерні методи безпеки кондиціонування та захоронення, які не можуть бути визнані надійними навіть на найближчі 100 років їхнього зберігання. Це зумовлено тим, що наявні методи поводження з радіоактивними відходами ґрунтуються на їхньому компактуванні в цементній або бітумній матриці, які з огляду на свою природу несумісні з рідкими РАВ і здійснюють лише їхнє фізичне зв'язування.

Запропоновано принципово новий підхід до розв'язання цієї проблеми, який базується на створенні мінералоподібної довговічної геоцементної матриці. Склад цеолітоподібних новоутворень таких матриць характеризується сорбційними властивостями і не тільки фізично блокує радіоактивні елементи, алей хімічно їх зв'язує в структурі тривимірних решіток [1]. Імобілізації радіонуклідів лужних (Na, K, Li, Cs) і лужноземельних (Sr, Ba) елементів із міцним закріпленням радіонуклідів у складі мінералоподібного каменю, формування якого відбувається за їхньої безпосередньої участі, та зумовлює його довговічність і надійність захоронення.

У даному дослідженні акцент зроблений на вибір основних структурних типів цеолітоподібних новоутворень в матриці, в залежності від співвідношення $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ і $\text{H}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$, спроможних забезпечити їх експлуатаційні властивості за критеріями щільності, міцності, γ -послаблення \rightarrow max і об'ємної усадки та внутрішніх напружень \rightarrow min.

За допомогою оптимізації складів геоцементів методом трифакторного симплексного центрального плану експерименту в математичному середовищі STATISTICA 12, визначені оптимальні співвідношення оксидів, що

задовольняють критеріальні вимоги. Результати планування експерименту наведені в табл. 1 і табл. 2.

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту

Точки плану	План матриці в кодах			Матричний план у повному розмірі		
	X1	X2	X3	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	H ₂ O/Al ₂ O ₃	ДГШ
1	0,00	1,00	0,00	4	20	5
2	0,33	0,33	0,33	5,3	16,7	7,3
3	1,00	0,00	0,00	8	15	5
4	0,50	0,50	0,00	6	17,5	5
5	0,00	0,00	1,00	4	15	12
6	0,50	0,00	0,50	6	15	8,5
7	0,00	0,00	0,50	4	17,5	8,5

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості зразків штучного каменю на основі геоцементів

Точки плану	Вихідні параметри				
	ρ, г/см ³	R _{cm} , МПа	α _v , %	E _{вн} , МПа	C _γ , %
1	1,5	8,17	8,7	8,29	20,49
2	1,63	8,64	2,2	9,44	26,46
3	1,86	28,69	1,2	0	29,81
4	1,74	10,29	2,4	8,93	29,49
5	1,71	9,62	3,8	8,48	43,55
6	1,81	19,93	6,3	8,12	29,55
7	1,64	11,2	6,8	8,16	31,3

Вище наведений матеріал (табл. 2) підтверджує актуальність розгляду питань щодо впливу співвідношення оксидів як на вибір структурного типу матриці, так і на властивості.

Зазначеним вимогам відповідає морденітовий тип геоцементної матриці (склад №3) при співвідношенні SiO₂/Al₂O₃=8 і H₂O/Al₂O₃=15, незважаючи на дещо менші показники по γ-послабленню, максимальні значення яких характерні для анальцимового типу геоцементної матриці при співвідношенні SiO₂/Al₂O₃=4 і H₂O/Al₂O₃=15-17,5 [2].

Робота виконана в рамках проекту: The EURAD-2 project has been co-funded by the European Union under Grant Agreement No 101166718

[1] NEW CRP: Geopolymers as an Immobilization Matrix for Radioactive Waste (T21029)

[2] Guzii S. γ- weakening properties of aluminosilicate binders of analcimo-geylandite-mordenite composition [Text] / S. Guzii // XXI International Conference on Physics of Radiation Phenomena and Radiation Materials Science. Abstracts, 23-25 September 2024, Kharkiv, Ukraine, pp. 67-68.

**ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДИФУЗІЇ ВОДИ ПРИ ЗАХИСТІ
ДЕРЕВИНИ ГІДРОФОБІЗУВАЛЬНОЮ СУМІШШЮ**

**DETERMINATION OF WATER DIFFUSION PARAMETERS WHEN
PROTECTING WOOD WITH A HYDROPHOBISING MIXTURE**

*д-р техн. наук Ю.В. Цапко¹, д-р техн. наук Т.М. Ткаченко¹, канд. техн. наук
О.Ю. Цапко¹, канд. техн. наук О.П. Бондаренко¹*

¹Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

*Yu.V. Tsapko¹, Dr.Sc. (Tech.), T.M. Tkachenko¹, Dr.Sc. (Tech.), O.Yu. Tsapko¹,
PhD (Tech.), O.P. Bondarenko¹, PhD (Tech.)*

¹Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)

Деревина є одним із найбільш поширеним будівельним матеріалом, оскільки є поновлюваним будівельним матеріалом та має безліч позитивних властивостей. Однак, при експлуатації під дією атмосфери змінюється стабільність геометричних розмірів та стійкість до жолоблення і набряку, що спонукає до необхідності в додатковій обробці. Сильна гігроскопічність деревини значно скорочує термін її служби. Захисне оброблення знижує чутливість деревини до впливу вологи та біологічного пошкодження та розширює сферу використання будівельні конструкції з деревини. Тому експлуатаційна надійність і ефективність деревини залежить від класу умов експлуатації об'єкта, а також, від якості та реакційної здатності захисного засобу.

Технології як сказано в роботі [1], що використовуються для захисту якості та довговічності деревини від біологічного пошкодження та впливу води, температури та радіації, які впливають на його фізичні та механічні властивості. У цій роботі розглядаються доступні методи лікування, оцінюються їх переваги та недоліки, а також визначаються критерії їх використання. Тема була розділена на два розділи: (I) реагенти, що руйнують деревину, і (II) класифікація технологій захисту, яка включала як традиційні методи, так і новітні підходи, такі як нанотехнології. Висновки, отримані за допомогою цього підходу, вказують на те, що кілька традиційних хімічних обробок суттєво зменшують біологічні пошкодження та поглинання вологи деревиною. Однак, слід враховувати потенційний вплив на здоров'я та навколишнє середовище. З іншого боку, стабільність розмірів деревини покращується завдяки використанню термічної обробки. Використання нанометричних композитів для захисту деревини є дуже перспективною технікою, яка знаходиться в стадії розвитку. Проте, ця технологія вимагає особливої обережності, оскільки наноматеріали мають бути токсичними для агентів, що викликають біологічне

погіршення, але нешкідливими або менш небезпечними для людини та навколишнього середовища.

В роботі [2] представлено дослідження водонепроникності водорозчинного біологічного покриття, нанесеного на ялину (*Picea abies*), дослідження міцності адгезії такого ж покриття, нанесеного на ялину (*Picea abies*), бук (*Fagus sylvatica* L.) і букової фанери, а також дослідження міцності зчеплення на ялині після випробування на водонепроникність. Випробування проводились відповідно до EN 927-5:2006 та EN ISO 4624:2016. Параметри шорсткості вимірювали до і після тесту на водонепроникність. Було встановлено, що покриття є гідрофобним, але також водонепроникним. Найбільший показник адгезійної міцності спостерігався для поверхні бука, найменший – для ялини. Зміни профілів поверхні після випробування на водонепроникність незначні. Відповідно до критеріїв водопоглинання, цю систему покриття можна наносити лише на зовнішню деревину, призначену для таких категорій кінцевого використання, як обшивка перекриттями, огорожі, садові сараї, відкрита обшивка та вентилярована дощова сітка. Однак, не визначена довговічність такого покриття.

Таким чином, встановлено, що існуючі гідрофобізатори для деревини не задовольняють потребам при експлуатації оскільки йде деградація складових деревини, що потребує ефективного захисту екологічно безпечними речовинами, на що і направлена дана робота.

Метою роботи є встановлення параметрів пригнічення процесу поглинання води деревиною при захисті водовідштовхувальною сумішшю. Це дає можливість обґрунтувати застосування гідрофобізованої деревини на об'єктах різного призначення.

Під час досліджень процесу зниження рівня поглинання води деревиною при нанесенні гідрофобізувального покриття, як витікає з отриманих результатів, закономірним є призупинення часу проникнення води через захисний покрив. Це обумовлено утворенням захисного шару гідрофобізатора на поверхні деревини під час полімеризації суміші з олії, парафіну, скипидару та хлорпарафіну. Вони проникають у структуру деревини та гальмують процеси проникнення води, а отже, і послідує руйнування.

Варто зазначити, що присутність шару гідрофобізатора призводить до утворення на дерев'яній поверхні плівки стійкої до проникнення води. Вочевидь, такий механізм впливу гідрофобізатора є тим фактором регулювання водопоглинання, завдяки якому зберігається стійкість до руйнування деревини. У цьому випадку має основою тлумачення результатів визначення міри поглинання води деревиною після її впливу, щодо приросту маси зразків деревини. Оскільки, кількість води, що була поглинута деревиною обробленою гідрофобізувальною сумішшю, не перевищила 5%, а натомість для зразка необробленої деревини перевищила 43%. Це свідчить саме про утворення перешкоди для потрапляння води, яку можна засвідчити методом впливу води на зразки, що досліджуються. Також встановлено, що застосування покриття з гідрофобізувальною сумішшю на поверхні виробу з деревини утворює стійкий еластичний захисний шар та зменшує процес дифузії води понад 12 разів.

[1] Núñez-Retana V.D., González-Tagle M.A., González-Rodríguez H., Yáñez-Díaz M.I., Himmelsbach, W. Prominent wood protection methods. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2024. – Vol. 15 (84). – pp. 155-175. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i84.1441>.

[2] Angelski D., Atanasova K. Water Permeability and Adhesion Strength of Bio-based Coating Applied on Wood/Vodopropusnost i adhezivna čvrstoća biopremaza nanesenoga na drvo. *Drvna Industrija*, 2024. – Vol. 75 (1). – pp. 43-48. DOI: 10.5552/drind.2024.0118.

УДК 691.3:666.972.2

**ВІБРОПРЕСОВАНІ ДРІБНОЗЕРНИСТІ НАДЖОРСТКІ БЕТОНІ ІЗ
ЗАСТОСУВАННЯМ МІНЕРАЛЬНИХ СУМІШЕЙ НОВОГО
ПОКОЛІННЯ НА ОСНОВІ ПЕРЕРОБЛЕНИХ ЗОЛОШЛАКОВИХ
ВІДВАЛІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ УКРАЇНИ**

**VIBROPRESSED FINE-GRAINED ULTRA-HARD CONCRETE USING
NEW GENERATION MINERAL MIXTURES BASED ON RECYCLED ASH
SLAG DUMPS OF THERMAL POWER PLANTS OF UKRAINE**

*аспірант І.С. Лічнов¹, д-р. техн. наук М.А. Саницький¹,
канд. техн. наук В.О. Казанов¹*

¹Національний університет «Львівська політехніка» (м. Львів)

*postgraduate student I.S. Lichnov¹, Dr. Sc. (Tech.) M.A. Sanytsky¹,
PhD (Tech.) V.O. Kahanov¹*

¹National University Lviv Polytechnic (Lviv)

Масове виготовлення дрібнозернистих наджорстких бетонів для сучасних бетоноформувань комплексів імпортного виробництва (Німеччина, США, Туреччина) [1] тісно пов'язано з необхідністю використання зазвичай портландцементів I та II-го типів і питаннями застосування ефективних золошлакових сумішей [2] в якості мінеральних домішок в процесі вібропресування будівельних виробів. У зв'язку із високими вимогами до фізико-механічних властивостей бетонної брущатки, виготовленої з використанням дрібнозернистих бетонів на основі жорстких та наджорстких сумішей, необхідно проводити ретельний підбір мінеральних добавок з подальшим випробуванням в лабораторних умовах та при серійному масовому промислового виробництві.

Ситуація, що склалася в 2024 році при суттєвому руйнуванні більшості діючих в Україні потужних ТЕЦ під час російських ракетних обстрілів, призвела до створення штучного дефіциту виробництва золи винесення сухого відбору та відсутністю даного матеріалу на підприємствах генерації електричної енергії. В той же час, питання економії портландцементів I та II-го типів при масовому виготовленні бетонних виробів і надалі стоїть на порядку

денному сучасних підприємств будівельної індустрії. У зв'язку з тим, є актуальним подальше дослідження вібропресованих дрібнозернистих бетонів на основі наджорстких сумішей, які активно впроваджуються в західному регіоні України, де вже зараз функціонує ціла низка технологічних ліній з новітніми бетоноформувальними комплексами імпортного виробництва.

Проблеми застосування перероблених золошлакових відвалів, що у значній кількості накопичені на українських ТЕС в минулі роки відкривають нові перспективи у виготовленні сучасних вібропресованих виробів на основі наджорстких сумішей з підвищеними експлуатаційними характеристиками при значній економії використаного портландцементу в якості зв'язного для будівельних елементів. Представлено певні результати вивчення впливу на властивості наджорстких вібропресованих бетонів з використанням мінеральних очищених класифікованих сумішей марки SM 0/40/70 (ДСТУ 2.7-128.2006 «Добавки активні мінеральні та добавки-наповнювачі до цементу») [3] на часткову заміну портландцементів I-го та II-го типів виробництва ПАТ «Івано-франківськцемент» [4].

Аналіз статистичних річних звітів Міністерства енергетики України свідчить, що на території ТЕС західного та центрального регіонів України за останні 50 років було накопичено значні запаси золошлакових відвалів (Бурштинська ТЕС – 25,0 млн. тон; Ладижинська ТЕС – 20,0 млн. тон; Добротвірська ТЕС -18.0 млн. тон), які слід вважати потужною сировиною базою для підготовки активних мінеральних сумішей нового покоління. В процесі додаткової переробки існуючих золошлакових сумішей необхідно здійснювати, оскільки гранулометричний склад відвалів ТЕС не дає можливості ефективно їх застосовувати без попередньої підготовки. Комплексні фізико-хімічні та фізико-механічні дослідження свідчать, що очищені та класифіковані активні мінеральні суміші на основі золошлакових відвалів ТЕС при їхньому застосуванні в розмірі 20% від загальної маси зв'язного дають можливість отримати сталі міцнісні показники та закладають основу для підвищеної довговічності дрібнозернистих вібропресованих бетонних виробів серійного виробництва, а саме фігурних елементів мостіння.

Практична цінність здійснених наукових досліджень особливо цікава для використання у виготовленні ФЕМІВ, які в останні роки в Україні активно застосовуються при влаштуванні перонів на вокзалах, в якості тротуарного (замощення площ вокзалів) та дорожнього покриття (проїжджа частина дороги, паркінги для легкових та вантажних автомобілів) на об'єктах залізничної інфраструктури.

[1] Lichnov I., Kahanov V. Vibro-pressed Concrete in Ukraine: Problems, Trends and Prospects for Development. In International Conference Current Issues of Civil and Environmental Engineering Lviv-Košice-Rzeszów. Springer Nature Switzerland. 2023, pp. 224-231.

[2] Кашковський В. І., Євдокименко В. О., Каменських Д. С., Ткаченко Т. В., Вахрін В. В. Зольні та золошлакові відходи як багатофункціональна сировина. Наука та інновації. Т. 13, №4. 2017. С. 53-63.

[3] ДСТУ Б В.2.7-128:2006 Державний стандарт України. Будівельні матеріали. Добавки активні мінеральні та добавки-наповнювачі до цементу. Технічні умови.

[4] Саницький М. А., Кропивницька І. М., Гев'як І. М. Швидкотверднучі клінкер-ефективні цементи та бетони. Монографія. Простір-М. В. №194,[1]. 2021. С. 184-193.

УДК 624.012:693.5

ПІДСИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ АРМОВАНИМ ТОРКРЕТБЕТОНОМ

REINFORCEMENT OF REINFORCED CONCRETE FLOOR WITH REINFORCED SHORCRETE CONCRETE

*А.В. Мазурак¹ к.т.н., Р.І. Кінаш² д.т.н.,
Т.Ю. Осадчук¹ к.т.н., Т.А. Мазурак¹ к.т.н., В.В Гораль¹*
*¹Львівський національний університет природокористування(м. Львів),
²Гірничо-металургійна академія (м.Краків, Польща)*

*A.V. Mazurak¹ Ph.D., R.I. Kinasz² PhD. D.Sc. Eng.,
T.Yu. Osadchuk¹ Ph.D., T.A. Mazurak¹, Ph.D., V.V. Horal¹*
*¹Lviv National University of Nature Management (Lviv),
²AGH University of Science and Technology (Krakow, Poland))*

Необхідність підсилення будівельних конструкцій в процесі експлуатації виникає не тільки в процесі реконструкції, але і внаслідок їх передчасного зносу в результаті непередбачених змін технології виробництва, різноманітних пошкоджень тощо. Процес підсилення залізобетонних конструкцій започаткований ще на початку 20 століття і виконувався в основному з використанням металевих елементів, армованих шарів бетону, тонких шарів розчину з використанням металеві стружки і торкретування [1, 2, 3].

Процесу підсилення будівельних конструкцій передують оцінка технічного стану з урахуванням дефектів та пошкоджень. Тривала експлуатація залізобетонного монолітного перекриття у знайомих температурно-вологих умовах, приміщення бані, призвела до деформацій у плиті, появи тріщин на поверхні бетону, відповідно корозії арматури, випучування бетону і появи раковин на поверхні плити рис.1.

Пониження несучої здатності перекриття, пошкодження розтягнутої зони плити обумовило процес заміни перекриття або його підсилення. Збільшення несучої здатності конструкції без зміни конструктивної схеми передбачає збільшення її поперечного перерізу. Пошкоджена залізобетонна плита перекриття будівлі Центру здоров'я «Бадьорість» КНП ЛТМО (клінічна лікарня планового лікування, реабілітації та паліативної допомоги за адресою: м. Львів,

вул.Героїв Упа, 35) підсилювалась армованим (сітка $\varnothing 10$ A500C крок 200x200) торкретбетоном технологією сухого нанесення. З метою забезпечення однорідного ремонтного шару була використана полімерцементна суміш «Кімтек» (згідно ТУ У В.2.7 – 23.6 – 33053934-002:2022) [3].

Для забезпечення якості виконання робіт із підсилення залізобетонного перекриття провели належну очистку випученого бетону та арматури від корозії. При розрахунку і виконанні робіт зосередились на забезпеченні сумісної роботи матриці і шару армованого торкретбетону, що допоможе досягти належної несучої здатності підсиленого перекриття [1, 2, 4].

Процес дослідження міцності ремонтної поверхні на стиск та розтяг проведений у 20 і 25 день після виконання робіт. Оцінку міцності на стиск провели неруйнівним методом (молоток ШМІДТА). Міцність ремонтного шару становила C25/30 ($f_{cm, cube}=38$ МПа результат 75 замірів). Міцність на розтяг, адгезійна міцність (оцінена адгезиметром Hilti 5006 (model 59604)). Відповідно міцність ремонтного шару на розтяг, адгезійна міцність становила $f_{ctk, 0,05}=0,65$ МПа (результат 12 замірів). Руйнування взірців на відривання проходило на межі контакту матриці і ремонтної суміші так і в масиві шару ремонтної поверхні [4].



Рис. 1. Загальний вигляд поверхні при нанесенні шару торкретбетону

Аналіз попередньо проведених досліджень доводить невідповідність декларованих технічних характеристик міцності матеріалу Кімтек: міцність на стиск не менше 45 МПа; міцність на розтяг (адгезія до поверхні) не менше 1,5 МПа, проектні не менше 1,5 МПа. Процес підсилення перекриття зупинили.

Проаналізувавши технологічний алгоритм провівши заміри процесу виконання робіт, виявили причини порушення технології виконання робіт: неналежна відстань від поверхні сопла при нанесенні; неоднорідність подачі суміші при сухому виконанні.

Враховавши виявлені зауваження процес нанесення торкрету продовжили. Оцінка міцності на розтяг (адгезія до поверхні) після забезпечення належного технологічного регламенту перевищила проектні величини більше за 1,5 МПа.

[1] Валовой О. І., Попруга Д. В. Міцність контактних швів підсиленних залізобетонних конструкцій. Дороги і мости: зб. наук. пр. Київ: ДерждорНДІ, 2009. Вип. 11. С. 57-65.

[2] Мазурак А. В., Ковалик І. В., Михайлечко В. О., Калітовський В. М. Міцність контактних швів під час ремонту чи підсилення бетонних елементів. Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: теорія та практика будівництва. Львів. НУ «ЛП», 2013. № 755. С. 249-254.

[3] Пшінько О. М., Краснюк А. В., Громова О. В. Вибір матеріалів для ремонту та відновлення бетонних та залізобетонних конструкцій транспортних споруд з урахуванням критерію сумісності: монографія. Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – 195 с.

[4] [Andrii Mazurak](#), [Ivan Kovalyk](#), [Vasyl Mykhailechko](#), [Justyna Sobczak-Piastka](#) Strength of joints of concrete abutment surfaces [Author & Article Information](#). *AIP Conf. Proc.* 2077, 020041-1–020041-7 (2019) <https://doi.org/10.1063/1.5091902>

УДК 666.972.2:691.32:662.61

ВИКОРИСТАННЯ БІОВУГІЛЛЯ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОЇ СКЛАДОВОЇ ЦЕМЕНТНИХ КОМПОЗИЦІЙ ТА БЕТОНІВ

USE OF BIOCHAR AS AN ALTERNATIVE INGREDIENT OF CEMENT COMPOSITIONS AND CONCRETES

к.т.н. О.Т. Мазурак¹, д.т.н. У.Д. Марушчак², к.т.н. Р.А. Мазурак¹

¹*Львівський національний університет природокористування(м. Львів),*

²*Національний університет «Львівська політехніка»*

O.T. Mazurak¹ Ph.D., U.D. Marushchak² Ph.D. D.Sc. Eng., R.A. Mazurak¹, Ph.D

¹*Lviv National University of Nature Management (Lviv),*

²*Lviv Polytechnic National University*

Результати статистичних та наукових досліджень свідчать, що виробництво портландцементу, який вважається основним матеріалом для будівництва, складає 0,08 світових викидів CO₂ [1-3]. Реалізація підходів до зменшення викидів парникових газів та сприяння досягненню цілі «вуглецевої нейтральності» полягає в тому, що для будівництва необхідно розглянути альтернативні матеріали з низькими показниками викидів карбонвмісних сполук, зокрема CO₂ [1, 4].

Різні матеріали відрізняються здатністю поглинати сполуки карбону. Будівлі, сконструйовані з матеріалів, що містять біовугілля, можуть роками бути поглиначами вуглецю, тоді як інші матеріали (сталь, або бетон) не сприяють його вловлюванню [4, 5].

Тип вихідної сировини для біомаси та умови піролізу можуть мати значний вплив на властивості біовугілля. Крім того, умови та параметри процесу

(температура, швидкість, тиск) піролізу, можуть впливати на структуру утвореного біовугілля [4, 6].

Всезростаючим на сьогодні є перелік видів біовугілля з піролізованої, гідролізованої, або ж газифікованої біомаси, як потужних екологічних адсорбентів різного походження та призначення, що володіють високопористою структурою та великою площею поверхні [1-5, 9].

Вплив додавання біовугілля на характеристики портландцементних композитів повністю ще не вивчено. Дослідження [7] доводять, що заміна більше 5% маси бетону біовугіллям недоцільна, оскільки це негативно впливає на розвиток міцності. Концепція вловлювання та затримування карбонових сполук [4 - 8] в є перспективною та корисною, проте постає питання впливу поглиненого/адсорбованого CO_2 на проблеми довговічності конструкції, викликані карбонізацією в залізобетоні.

Мета-аналізом [8] досліджено вплив додавання біовугілля на 7- та 28-денну міцність на стиск композитів з портландцементу на основі спостережень типу сировини, умов піролізу, попередньої обробки та модифікації, дозування біовугілля та типу твердіння. Біовугілля, отримане з сировини рослинного походження (крім рису та листяної деревини), покращило 28-добову міцність на стиск портландцементних композитів (на 3–13 %). Позитивним на 2–7% також був вплив додатку біовугілля (< 2,5% від маси в'язучого), за температури піролізу вище 450°C та швидкістю нагрівання близько 10 C хв^{-1}) та звичайних методів твердіння.

Вивчення росту карбонізованих мікрочастинок у цементних композитах знайшли відображення у роботах [6, 7]. Спостерігали покращення фізичних властивостей цементного розчину, армованого волокнами, коли поліпропіленові волокна покриваються мікрочастинками біовугілля. Природні неорганічні та органічні відходи використовувались як альтернативні матеріали в будівельній промисловості: розпилену золу спалювання, мелений гранульований доменний шлак, золу-винесення пальмової олії, кремнезем і золу рисового лушпиння, деревини, соломи, інші добавки [6-9, 12]. У дослідженнях [13] представлено розробку екологічно чистого, повністю безцементного в'язучого (потрійної суміші з золи рисового лушпиння, птиці та паперового шламу з покращеними механічними характеристиками після 28 діб тверднення ($37,92 \text{ МПа}$)) шляхом змішування пуцоланових та високолужних матеріалів з органічних відходів, комбінованим застосуванням механічної та хімічної активації.

Розроблення та виробництво безцементних в'язучих матеріалів як повністю з відходів, так і частково з побічних матеріалів (відходів) із властивостями, як у звичайного цементу, може допомогти у зниженні негативного впливу виробництва цементу на довкілля, а також зменшенні обсягів відходів, що відправляються на звалища.

[1] Zhang Y. Biochar as construction materials for achieving carbon neutrality. Biochar, 2022. Vol. 4 , P. 59.

[2] Habert G, Miller SA, John VM та інші (2020) Environmental Impact and Decarbonization Strategies in the Cement and Concrete Industry. Nat Rev Earth Environ 1. P. 559–573.

- [3] M. Afshar a, Saeed Mofatteh. Biochar for a sustainable future: Environmentally friendly production and diverse applications: review article. Results in Engineering. Vol. 23, September 2024. P. 102433.
- [4] L. Wang et al. Biochar as green additives in cement-based composites with carbon dioxide curing. Journal of Cleaner Production. Vol. 258, 10 June 2020. P. 120678.
- [5] G. Churkina et al. Buildings as a global carbon sink. Nat. Sustain., 3, 2020, pp. 269-276.
- [6] S. Gupta, H.W. Kua. Factors determining the potential of biochar as a carbon capturing and sequestering construction material: critical review. J. Mater. Civ. Eng., 29 (9) (2017), P. 04017086.
- [7] Sachini Supunsala Senadheera et al. Application of biochar in concrete – A review. Cement and Concrete Composites. Vol. 143, October 2023. P. 105204
- [8] Zhihao Zhao et al. Biochar affects compressive strength of Portland cement composites: a meta-analysis[J]. Biochar, 2024, 6(1). P. 2121.
- [9] P.D. Dissanayake et al. Sustainable gasification biochar as a high efficiency adsorbent for CO₂ capture: a facile method to designer biochar fabrication. Renew. Sustain. Energy Rev., 2020, 124. P. 109785.
- [10] H. Maljaee et al. Effect of cement partial substitution by waste-based biochar in mortars properties. Constr. Build. Mater., 2021. 301. P. 124074.
- [11] Salim Barbhuiya et al. Biochar-concrete: A comprehensive review of properties, production and sustainability. Case Studies in Construction Materials. Volume 20, July 2024, e02859.
- [12] Jhon Cárdenas-Pulido et al. Engineering behavior of ambient-cured geopolymer concrete activated by an alternative silicate from rice husk ash. European Journal of Environmental and Civil Engineering. Volume 27, 2023 - Issue 15.
- [13] Sarah Kadhim et al. . Development of ternary blend cement-free binder material for construction. European Journal of Environmental and Civil Engineering, 2024. Vol. 28. Issue 12.

УДК 666.972

НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВІ САМОУЩІЛЬНЮВАЛЬНІ ФІБРОАРМОВАНІ БЕТОНИ НА ОСНОВІ НАНОМОДИФІКОВАНИХ ЦЕМЕНТУЮЧИХ СИСТЕМ

LOW-CARBON SELF-COMPACTING FIBER-REINFORCED CONCRETE BASED ON NANOMODIFIED CEMENTITIOUS SYSTEMS

*к.т.н., доц. Б.Г. Русин¹, д.т.н., проф. М.А. Саницький¹,
к.т.н., доц. Н.І. Сидор¹, аспірант Т.С. Кропивницький¹*
¹Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

*PhD. B. Rusyn¹, prof. M. Sanytsky¹,
PhD. N. Sydor¹, PhD student T. Kropyvnytsky¹*
¹Lviv Polytechnic National University, Lviv

Згідно зі стратегією низькоемісійного розвитку ЄС до 2030 року необхідно скоротити обсяги викидів парникових газів на 50-55 % порівняно з показником 1990 року. Для України слід дотримуватися європейських концепцій, зокрема Green Deal (Європейський “зелений” курс). Одним із напрямків зменшення парникових газів є одержання низькоемісійних бетонів. У передових країнах ЄС викиди CO₂ знижені до 83,4 кг CO₂ на 1 т бетону, що на 19,1% нижче від середнього рівня 103,1 кг CO₂ на 1т бетону [1]. При виробництві монолітних густоармованих конструкцій значний інтерес представляє технологія самоущільнювальних бетонів (Self-Compacting Concretes) [2]. Такі бетони у

будівництві зазвичай є більш вартісними та менш екологічними порівняно із традиційними бетонами.

Відповідно до низьковуглецевої концепції запропоновано новий тип самоущільнювальних бетонів, зокрема Eco-SCC або Green SCC [3]. Даний екобетон характеризується пониженим вмістом портландцементу, відповідно і цементного тіста, а це у свою чергу призводить до зниження в'язкості та розшаровування бетонної суміші. Для збільшення в'язкості при виробництві Eco-SCC показано можливість використання вапняку [4].

М. Урбаном [6] запропоновано уточнення терміну Eco-SCC - самоущільнювальний бетон, об'ємний вміст цементуючих матеріалів якого становить не більше $100 \text{ дм}^3/\text{м}^3$ або масовий вміст не більше $315 \text{ кг}/\text{м}^3$. При цьому показник GWP (Global Warming Potential) знижується від 296 до 155 $\text{кг CO}_2/\text{м}^3$ при середній міцності бетону на стиск через 28 діб тверднення 77,1-32,1 МПа. Разом з тим, використання у самоущільнювальних бетонах чистоклінкерного цементу СЕМ І визначає зміну показника клінкер-інтенсивності від 6,20 до 7,93 $\text{кг клінкеру}/(\text{МПа м}^3)$. Тому виникає необхідність проведення подальших досліджень самоущільнювальних бетонів із пониженим клінкер-фактором.

Високі показники реологічних властивостей бетонних сумішей, а також ранньої та марочної міцності низьковуглецевих самоущільнювальних бетонів досягається шляхом використання наномодифікованих цементуючих систем «портландцемент - мікронаповнювач - суперпластифікатор – наномодифікатор – лужний прискорювач твердіння» [6]. Для приготування цементуючих систем використовували портландцемент СЕМ II/A-LL 42.5 R ПрАТ «Івано-Франківськцемент», для забезпечення реологічних властивостей – добавку суперпластифікатор нової генерації на основі етерів полікарбоксилатів з наноспроекткованими ланцюгами MasterGlenium Ace 430. Як наномодифікатор та прискорювач тверднення використовували добавку X-SEED 100 (BASF) з синтетично отриманими CSH-наночастинками, високодисперсний вапняк – як мікронаповнювач, а сіль сульфату натрію як лужний прискорювач твердіння.

Розроблені самоущільнювальні бетонні суміші характеризуються наступними показниками згідно ДСТУ EN 206-2019: клас по розпливу SF2 (720 мм), час розпливу $t_{500}=4,9 \text{ с}$, що відповідає класу в'язкості VS2. При визначенні долаючої здатності бетонної суміші за допомогою блокуючого кільця встановлено клас SF_j2 (700 мм), а час розпливу $t_{500j}=6,5 \text{ с}$. Проведеними дослідженнями міцності розроблених самоущільнювальних бетонів встановлено, що міцність на стиск через 2 доби тверднення становить 32,7 МПа, через 28 діб тверднення - 44,7 МПа (клас С25/30). За оцінкою питомої міцності $f_{\text{cm}2}/f_{\text{cm}28}=0,73$ дані бетони можна віднести до швидкотверднучих. При цьому вміст клінкеру в портландцементі складає $251 \text{ кг}/\text{м}^3$, клінкер інтенсивність – $5,61 \text{ кг}/\text{МПа м}^3$, а CO_2 -інтенсивність становить $4,8 \text{ кг}/\text{МПа м}^3$.

Результати досліджень показали позитивний вплив армування полімерними волокнами самоущільнювальних бетонів на основі наномодифікованих цементуючих систем. При дослідженні ударної в'язкості розроблених бетонів встановлено, що питома енергія удару до появи першої тріщини через 28 діб

тверднення становить 1,08 та 1,05 Дж/см³ у неармованому та армованому фібровою бетоном відповідно. Додавання 0,6 мас.% волокон збільшує питому енергію удару до повного руйнування зразків на 50,4% і становить 1,88 Дж/см³.

Таким чином, низьковуглецеві самоущільнювальні фіброармовані бетони на основі наномодифікованих цементуючих систем відповідають вимогам Eco-SCC, дають можливість зменшити матеріаломісткість конструкції та трудові затрати на вкладання бетонної суміші, а також знизити негативний вплив на навколишнє середовище.

[1] The European Green Deal. (2020). Available online: <https://eur-lex.europa.eu>.

[2] Szwabowski J, Golaszewski J. (2010). Technologia betonu samozageszczalnego. Krakow, Stowarzyszenie Producentow Cementu, 160 p.

[3] Wallevik O.H, Mueller F.V, Hjartarson B, Kubens S. The green alternative of self-compacting concrete – ECO-SCC. 17th Ibaasil, Weimar, 2009. B.1.P.1105-1116.

[4] Florian V. Mueller, Olafur H. Wallevik, Kamal H. Khayat, Linking solid particle packing of Eco-SCC to material performance, Cement and Concrete Composites, Volume 54, 2014, Pages 117-125, ISSN 0958-9465

[5] Urban M. Low cement content SCC (Eco-SCC) – the alternative for ready-mix traditional concrete. MATEC Web of Conferences, 2018. 163. P.01004

[6] Саницький М.А., Кропивницька Т.П., Гев'юк І.М. (2021). Швидкотверднучі клінкер-ефективні цементы та бетони: Монографія. – Львів: вид-во «Простір-М», 206 с.

УДК.625.7/8

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВКИ MASTER FIX НА МІЦНІСНІ ТА ДЕФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE MASTER FIX ADDITIVE INFLUENCE ON THE STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF THE SUBGRADE SOILS OF THE ROADS AND HIGHWAYS

*канд. техн. наук В.О. Процюк¹, канд. техн. наук О.П. Шимчук¹,
канд. техн. наук С.Я. Дробишинець¹*
¹Луцький національний технічний університет (м. Луцьк)

*V.O. Protsiuk,¹ PhD (Tech.), O.P. Shymchuk,¹ PhD (Tech.),
S.Y. Drobysynets¹ PhD (Tech.)*
¹Lutsk Nation Technical University (Lutsk)

В дорожній галузі України досить актуальним питанням є капітальний ремонт та реконструкція автомобільних доріг IV та V категорій, так за протяжністю доріг цих категорій найбільше. Крім того, експлуатаційний стан цих автомобільних доріг суттєво не відповідає вимогам по рівності, колійності та міцності через значне недофінансування дорожньої галузі за останні десятиріччя.

Все більше населення України в останні роки починає віддавати перевагу велосипедам чи самокатам ніж громадському транспорту, тому постає питання щодо розвитку велосипедної інфраструктури. Отже, будівництво велосипедних та пішохідних доріжок є досить актуальним питанням у будівельній галузі України.

Застосуванню укріплених ґрунтів органічними, неорганічними та комплексними в'язучими присвячено багато наукових праць, виконано безліч лабораторних досліджень та захищено наукових дисертацій як в Україні так і за кордоном. Необхідно згадати, що застосування ґрунтів укріплених цементом розпочалося ще на початку ХХ століття.

В продовження даного напрямку роботи на базі будівельної лабораторії Луцького НТУ було заплановано та проведено ряд дослідів, які надали відповідь про можливість застосування отриманої рецептури цементоґрунтових компонентів в реальних виробничих умовах.

На протязі тривалого терміну на базі будівельної лабораторії Луцького НТУ проводилися дослідження впливу хімічних додатків на ґрунт укріплений цементом, який міг би слугувати дорожнім покриттям або підстеляючим шаром дорожнього одягу для автомобільних доріг IV та V технічних категорій.

Метою проведених наукових досліджень було визначення деформаційних властивостей ґрунту укріпленого цементом для будівництва шарів дорожнього одягу, велодоріжок та пішохідних доріжок та перевірка отриманих результатів шляхом вимірювання модуля пружності на покритті.

На першому етапі проведення досліджень були проведені лабораторні дослідження зразків укріпленого ґрунту з добавкою Master Fix. Було запропоновано та досліджено суміші ґрунту укріпленого 14% цементу та різною концентрацією добавки Master Fix [1].

Для проведення другого етапу досліджень було влаштовано дослідну ділянку на базі житлового комплексу «CAMEL RESIDENCE», який зводиться ПрАТ «ЛДБК» у м. Луцьку. Загальний об'єм ущільненого цеменоґрунту та цеменоґрунту з добавкою Master Fix складає 15,75 м³, або 33,075 т.

Конструкція дорожнього одягу дослідної ділянки запроектована відповідно до нормативних вимог [2] виходячи із мінімальних товщин дорожнього одягу як для пішохідних ділянок так і для руху автомобільного транспорту. Довжина дослідної ділянки становила 50 м, а ширина 2 м. Загальна ділянка складається із чотирьох рівних ділянок по 12,5 м, що мають різну товщину верхнього шару цеменоґрунтового покриття, крім того покриття на одній із ділянок товщиною 18 см виконано із цементоґрунту без добавки, як еталонна ділянка для порівняння. Деформаційні шви не влаштовувалися.

Визначення модуля пружності проводили методом статичного навантаження покриття колесом автомобіля. Покриття із цементоґрунту може застосовується на автомобільних дорогах IV і V технічних категорій. Для розрахункового статичне навантаження приймають навантаження групи В, що дорівнює 60 кН на вісь автомобіля.

Результати проведених досліджень демонструють, ефективність впливу хімічної добавки Master Fix на ґрунт укріплений цементом, який призначений в якості матеріалу для шарів дорожніх основ і покриттів в районах із браком кондиційних кам'яних матеріалів. Внаслідок введення добавки Master Fix з показником в межах 1% від маси цементу у цементогрунтову суміш призводить до підвищення з марки М20 до марки М40, що позитивно позначиться на довговічності влаштованої конструкції [1].

[1] В.В. Маліков, Я.І. Панасюк, Б.А. Боярчук. Практичний досвід застосування цементогрунтів для будівництва дорожніх покриттів. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві / Збірник наукових праць. – Луцьк: Луцький НТУ, 2019. – вип. 11. – С. 62-72.

[2] ГБН В.2.3-37641918-559:2019. Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. – К. Мінінфраструктури України, 2019. 58с.

УДК 614.842

ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНОПЛЯНОГО УТЕПЛЮВАЧА

SETTING THERMAL PHYSICAL PARAMETERS OF THE HEMP INSULATOR

*д-р техн. наук Ю.В. Цапко¹, канд. техн. наук О.Ю. Цапко¹,
канд. техн. наук О.П. Бондаренко¹, канд. хім. наук Р.В. Ліхнівський²*
¹Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)
²Інститут державного управління та досліджень у сфері цивільного захисту (м. Київ)

*Yu.V. Tsapko¹, Dr.Sc. (Tech.), O.Yu. Tsapko¹, PhD (Tech.),
O.P. Bondarenko¹, PhD (Tech.), R.V. Likhniovskyi², PhD (Chem.)*
¹Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)
²Institute of Public Administration and Research in Civil Protection (Kyiv)

Вироби з органічних матеріалів, зокрема, конопляні волокна знаходять застосування у будівництві, оскільки мають ряд унікальних властивостей, таких як мала густина, низька теплопровідність, досить висока атмосферостійкість, висока міцність та пружність.

Наведені вироби з рослинної сировини широко застосовують в малоповерховому будівництві. Конопляний утеплювач використовують в основному в конструкціях стін, перегородок, перекриттів і покрівель, у якості теплоізоляційних і звукоізоляційних матеріалів. Утеплювачі з конопель мають добрі теплоізоляційні властивості, що дозволяє знизити втрати тепла через стіни та дахи будівель. Вони зберігають тепло в холодний період і захищають від перегріву влітку. Конопляні волокна можуть вбирати та видавати вологу,

регулюючи вологість в приміщенні. Це може допомогти підтримувати комфортну мікрокліматичну зону в будівлі. Конопляні волокна мають природні антибактеріальні властивості, що допомагають запобігати розвитку плісняви та грибка в будівлях.

Застосування рослинної сировини у будівництві при розробці як панельних плит, так і для виготовлення теплоізоляції будівель за останні роки набуває великого значення [1, 2]. Однак, не сказано про вплив зміни середовища на виріб, його руйнування в часі.

Як відмічено у роботі [3], зростає попит на екологічно чисті матеріали, тому перевага надається екологічній архітектурі та використанню екологічно чистих матеріалів. Все більш актуальним стає перехід від штучних матеріалів до продуктів, виготовлених із відновлюваної сировини. Метою цього дослідження було дослідити властивості матеріалу та можливі варіанти використання теплоізоляції з солом'яної ковдри. Результати показали, що матеріал має ряд переваг, які можуть зробити його конкурентоспроможним на ринку теплоізоляційних матеріалів. Однак, значення параметрів його властивостей охоплюють не широкий діапазон застосування.

Таким чином, застосування стінки з конопляного утеплювача насамперед у будівництві потребує встановлення теплофізичних властивостей, необхідних для проектування і виготовлення теплоізоляційних виробів, на що і направлена дана робота.

Для одержання теплоізолювальних властивостей стінки з конопляного утеплювача розроблено і виготовлено спеціальне обладнання, де було використано плоский електронагрівач, що моделює низькокалорійне джерело тепла.

Виходячи з результатів вимірної температури розраховано теплофізичні характеристики стінки з конопляного утеплювача та наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Теплофізичні характеристики конопляного утеплювача

Назва матеріалу	Товщина, мм	Маса, г	Розрахункові характеристики виробів				
			Густина ρ , кг/м ³	Теплова активність, Вт·с ^{1/2} /(м ² ·К)	Температуропровідність, м ² /с	Теплопровідність λ , Вт/(м·К)	Теплоємність, кДж/(кг·К)
Плоска поверхня 200x150 мм	32	8,4	8,75	110,1	$0,08 \cdot 10^{-7}$	0,0028	39,79

Дослідження показали, що за теплофізичними характеристиками зразок стінки з конопляного утеплювача відповідає вимогам до теплоізоляційного матеріалу. При цьому коефіцієнт теплопровідності сягає 0,0028 Вт/(м·К), температуропровідність складає $0,08 \cdot 10^{-7}$ м²/с, а теплоємність – 39,79 кДж/(кг·К).

Таким чином, для облаштування приміщень, де до теплоізоляційних

матеріалів пред'являються підвищені вимоги, є доцільним застосовувати конопляний утеплювач.

Отримані дані щодо впливу матеріалів та структури виробу на процес передавання тепла й зміни ізолювальних властивостей дозволяють стверджувати наступне:

– основним регулятором процесу є густина й пористість матеріалу, оскільки не висока густина і низька пористість призводить до швидкого урівноваження температур, а при підвищеній вологості і промоканні стін будівлі показник проходження їх буде вище;

– суттєвий вплив на процес теплопровідності при застосуванні конопляного утеплювача здійснюється у напрямку орієнтації природного матеріалу.

[1] Tsapko Yu., Zavialov D., Bondarenko O., Pinchevs'ka O., Marchenko N., Guzii S. Design of fire-resistant heat- and soundproofing wood wool panels. EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies. – Vol. 3. – 3/10 (99) 2019. – pp. 24-31.

[2] Tsapko Yu., Zavialov D., Bondarenko O., Marchenko N., Mazurchuk S., Horbachova O. Determination of thermal and physical characteristics of dead pine wood thermal insulation products. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Vol. 4. – 4/10 (100) 2019. – pp. 37-43.

[3] Bozsaky D., Ábrahám-Horváth R. Laboratory tests on properties of innovative natural thermal insulation material. Pollack Periodica, 2023. – 18(2). – pp. 125-130.

УДК 004.94:624.05

СТАБІЛІЗАЦІЙНІ ПРОТИАВАРІЙНІ ЗАХОДИ В ЖИТЛОВОМУ БУДИНКУ, ПОШКОДЖЕНОМУ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ

STABILIZATION AND EMERGENCY RESPONSE MEASURES IN A RESIDENTIAL BUILDING DAMAGED AS A RESULT OF MILITARY ACTIONS

Т.П. Донець¹

¹Національний авіаційний університет (м. Київ)

T.P. Donets¹

¹National aviation university (Kyiv)

Першочергове завдання щодо стабілізації пошкоджених конструкцій будівлі передбачає проведення технічного обстеження. Деякі проблеми та особливості проведення таких робіт досліджувались в наукових працях [1, 2]. В червні 2023 року ракета влучила в 27 поверховий житловий будинок по вул. Митрополита В. Липківського, 37-В, внаслідок чого будівля зазнала значних пошкоджень в межах 16-19 поверхів (рис. 1). Під час проведення технічного обстеження було встановлено масштаби, об'єм та ступінь пошкоджень та навіть руйнувань конструкцій. В пошкодженій частині будівлі було зруйновано частину перекриття, деякі пілони були зруйновані або перебиті та мали значні

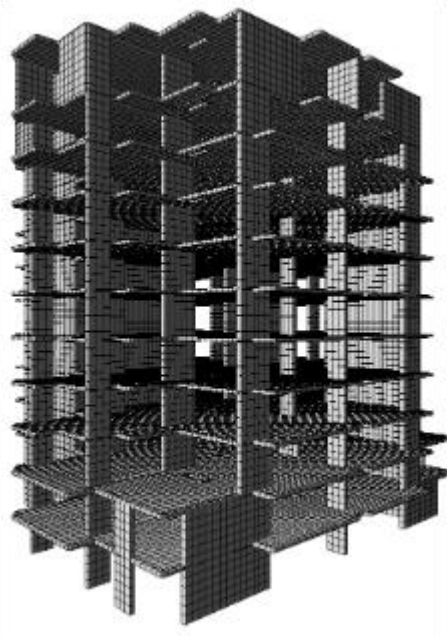
відхилення від вертикалі. Особливості проведення геодезичного моніторингу цієї будівлі висвітлено в публікації [3].



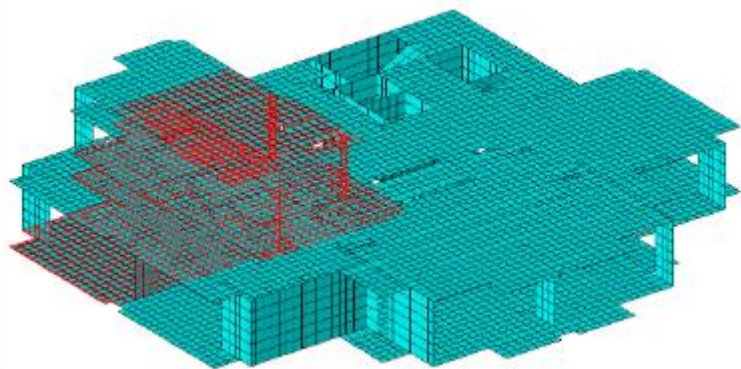
Рис. 1. Загальний вигляд пошкоджень та руйнувань конструкцій будівлі

За результатами проведеного технічного обстеження будівлі було прийняте рішення про влаштування додаткових підтримуючих стійок з розподільчими балками для забезпечення стійкості конструкцій обваленню та збільшенню пошкоджень і деформацій будівлі. Разом з цим відбувалось безперервне розбирання завалів для зменшення навантаження на пошкоджені конструкції та можливості виконувати підсилення.

Після проведення стабілізаційних заходів було виконано перевірний розрахунок на стійкість до прогресуючого обвалення від пошкоджень, які виникли внаслідок воєнних дій. Розрахункова модель була розроблена для фрагменту будівлі з врахуванням фактичних пошкоджень (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Загальний вигляд SE моделі фрагменту будинку (а) та фрагмент SE моделі з відміченими виключеними елементами

За результатами виконаних розрахунків встановлено, що стійкість житлового будинку до прогресуючого обвалення всієї конструктивної системи для розглянутого сценарію забезпечена.

[1] Лісений, О., Глуховський, В., Мар'єнков, М., Дубовик, С., Любченко, І., Яковенко, М. (2022). ОБСТЕЖЕННЯ, ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА УМОВИ ВІДНОВЛЕННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ НА ПРОСПЕКТІ В. ЛОБАНОВСЬКОГО, 6-А В М. КИЄВІ, ПОШКОДЖЕНОГО ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ. Наука та будівництво, 33-34(3-4)

[2] Табаркевич, Н., Сергійчук, В., Белоконь, А., Табаркевич, О. (2023). ОСОБЛИВОСТІ ОБСТЕЖЕННЯ ТА ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ, ПОШКОДЖЕНОГО ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ, ЩОДО ЙОГО ПРИДАТНОСТІ ДО ПОДАЛЬШОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ. Наука та будівництво, 35(1)

[3] Сергійчук, В., Яковенко, М., Нестеренко, О., Зорін, Є., & Бень, І. (2024). ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМПЛЕКСУ РОБІТ З ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ, ЩО ПОСТРАЖДАЛИ ВНАСЛІДОК ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ПРИКЛАДІ ЖК «ДИНАСТІЯ» В М. КИЄВІ. Наука та будівництво, 40(2)

УДК 624.9:624.07:628.5

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ МЕТАЛЕВИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ КІЛЬЦЕВОГО ПЕРЕРІЗУ В УМОВАХ АГРЕСИВНИХ ВПЛИВІВ

DEVELOPMENT OF METHODS FOR PREDICTING THE REMAINING RESOURCE OF METAL AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF ANNULAR SECTION UNDER AGGRESSIVE INFLUENCES

*д-р. техн. наук А.А. Плуґін¹, кандидат техн. наук В.Д. Жван²,
кандидат техн. наук О.В. Лобяк, кандидат техн. наук О.А. Калінін,
кандидат техн. наук О.О. Овчинніков¹*

¹Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

²Національний університет «Запорізька політехніка»

*Dr. Sc. (Tech.) A.A. Plugin¹, candidats of eng. scien. V.D. Zhvan²,
candidats of eng. scien. O.V. Lobyak¹, candidats of eng. scien. O.A. Kalinin¹,
candidats of eng. scien. O.O. Ovchinnikov¹*

Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)

²National University «Zaporizhzhya Politechnic»

В металургії, паливно-енергетичному комплексі, виробництві будівельних матеріалів більшість технологічних процесів забезпечуються горінням палив, що є окисленням сполук вуглецю киснем повітря. Транспортування повітря та продуктів горіння забезпечується природною тягою, створюваною за допомогою металевих та залізобетонних димових труб кільцевого перерізу. На потужних підприємствах такі споруди будуються капітальними та довговічними. Проте газодимові суміші є агресивними і спричиняють корозію металевих і залізобетонних конструкцій, що призводить до зниження їх

експлуатаційних властивостей та поступового наближення їх стану до непридатного до експлуатації. У разі змін в технологічних процесах та відповідних змін режимів експлуатації та характеристик агресивного середовища питання прогнозування їх залишкового ресурсу стає актуальним нерозв'язаним завданням.

Довговічність будівельних конструкцій і споруд визначається здатністю матеріалів, з яких вони зведені, зберігати свої властивості у часі а, отже, кінетикою їх деградації. Деградацію матеріалів моделюють за допомогою кінетичних та статистичних теорій. Так, у відповідності до флуктуаційної теорії Журкова деградація матеріалів відбувається внаслідок розриву хімічних зв'язків у них від теплових флуктуацій та напружень, а час τ від прикладання навантаження до руйнування і визначає довговічність конструкції з цього матеріалу τ визначається рівнянням:

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{V-\gamma\sigma}{RT}}, \quad (1)$$

де τ_0 – постійна, що для всіх матеріалів знаходиться в межах 10^{12} – 10^{13} с, V – енергія активації розриву зв'язку; γ – параметр, що враховує неоднорідності структури матеріалу та розподілу напруження; R – універсальна газова стала; T – абсолютна температура. Застосування цього рівняння більш-менш прийнятне для металевих конструкцій, хоча й не враховує корозійних процесів та зменшення перерізу конструкції через них. Для набагато складнішого за складом та структурою залізобетону або для футерованих конструкцій воно взагалі не є застосовним.

Мета досліджень – створення методики визначення залишкового ресурсу металевих і залізобетонних конструкцій кільцевого перерізу з агресивним середовищем зсередини.

За результатами теоретичних досліджень, аналізу конструкцій та умов їх експлуатації, результатів натурних обстежень та лабораторних досліджень відібраних зразків розроблена методика прогнозу остаточного ресурсу металевих і залізобетонних конструкцій кільцевого перерізу з агресивним середовищем всередині. Запропонована така послідовність прогнозування залишкового ресурсу:

- аналіз хімічного складу і температурно-вологісного режиму середовища (газодимової суміші) з визначенням ступеня агресивної дії і оцінкою швидкості корозії у мм/рік;

- натурне обстеження конструкції з виявленням наявних пошкоджень, тепловізійним обстеженням з визначенням зон втрати футерування, відбором проб для лабораторних досліджень, вимірюванням залишкової товщини стінки з визначенням глибини та швидкості корозії у мм/рік;

- лабораторні дослідження корозійного стану та залишкових фізико-механічних властивостей матеріалу конструкції (бетону) з оцінкою втрати міцності у % на рік;

- аналіз напружено-деформованого стану конструкції з урахуванням пошкоджень, визначення критичних зон з максимальними напруженнями і

граничних величин товщини стінки, міцності бетону, за яких наступає відмова за несучою здатністю;

- розрахунок як остаточного ресурсу часу, за який товщина стінки конструкції або міцність бетону в критичній зоні досягне граничного значення.

Розроблені методики були застосовані для прогнозування остаточного ресурсу металевих та залізобетонних димових труб, які знаходяться в незадовільному стані, на деяких підприємствах України. За результатами прогнозування остаточного ресурсу в залежності від матеріалу конструкції розроблені рекомендації з відновлення експлуатаційних властивостей конструкцій та подовження терміну їх експлуатації

УДК 624

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ БЕТОНУВАННЯ ШВИДКОТВЕРДНУЧИХ БЕТОНІВ

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF CONCRETING QUICK HARDENING CONCRETE

*канд. техн. наук Є.Є. Бабіч¹, канд. техн. наук В.В.Лащівський¹,
канд. техн. наук В.В. Марчук¹, канд. техн. наук О.Є. Поляновська¹*

*¹Національний університет водного господарства та природокористування
(м. Рівне)*

*PhD (Tech.)Ye.Ye. Babich, PhD (Tech.) V.V. Lashchivskiy¹,
PhD (Tech), V.V., Marchuk¹, PhD (Tech.) O.Ye. Polianovska¹
¹National University of Water and Environmental Engineering (Rivne)*

На кафедрах промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, кафедрі технології будівельних виробів і матеріалознавства та міського будівництва та господарства Національного університету водного господарства та природокористування в рамках держбюджетної дослідної теми на замовлення Міністерства освіти і науки України за узгодженням з Радою Національної Безпеки і Оборони України за темою "Високоміцні швидкотверднучі бетони і фібробетони та конструкції на їх основі для фортифікаційних споруд" (державний реєстраційний номер №0116U003759) під керівництвом професорів Бабича Є.М та Дворкіна Л.Й. було проведено дослідження використання швидкотверднучих бетонів для залізобетонних конструкцій [1].

Метою запропонованої статті є розгляд деяких технологічних аспектів застосування швидкотверднучих бетонів у будівництві, а саме:

- Економічний ефект від застосування модифікаторів при приготуванні швидкотверднучих бетонів.

- Аналіз роботи опалубочних систем та термінів розпалубки.
- Ущільнення бетонних сумішей.
- Догляд за бетоном.

Розглядалися та порівнювалися склади бетонів наступних марок М150 (С8/10), М200 (С12/15), М250 (С16/20), М350 (С20/25) та М400 (С25/30) з використанням та без використання модифікаторів. Пораховані витрати та вартість матеріалів та бетонної суміші. Використання модифікаторів дає можливість здешевити вартість бетонної суміші за рахунок зменшення витрати цементу. При цьому економія цементу може складати 20...70 кг/м³ в залежності від марки бетону. А вартість бетону зменшується на 125...295 грн/м³.

Процес витримування бетонної суміші в опалубочній системі регламентується вимогами по набору міцності [2]. Мінімальна міцність бетону незавантажених монолітних конструкцій при розпалубці горизонтальних та похилих поверхонь при прольоті до 6,0 м складає 70% а більше 6,0 м складає відповідно 80% проектної.

Швидкотверднучі бетони набирають необхідну їм розпалубну міцність практично вдвічі швидше, ніж звичайні. Це дозволяє прискорити терміни перестановки опалубки і таким чином зекономити її в обсягах.

Процес вкладання бетонної суміші в опалубку супроводжується ущільненням з використанням різноманітних заходів. Основним методом ущільнення бетонної суміші є вібрація. В умовах будівельного майданчика застосовують наступні види вібрування: внутрішнє, зовнішнє та поверхневе. Найбільш широко використовується внутрішнє вібрування з застосуванням глибинних вібраторів із зануренням у бетонну суміш вібронаконечника із гнучким валом що приводиться в дію електроенергією (електромеханічні).

При роботі із звичайними важкими бетонами крок перестановки глибинних вібраторів не повинен перевищувати півтора радіуса їх дії.

При роботі ж із швидкотверднучими бетонними сумішами з модифікаторами крок перестановки глибинних вібраторів можна збільшити вдвічі (тобто до трьох радіусів дії вібратора). Це дозволить значно зекономити використання електроенергії та часу (за рахунок зменшення кількості перестановок вібраторів) при ущільненні бетонної суміші.

У процесі догляду за бетоном основні витрати лягають на полив бетону – це вода та електроенергія (при відповідних природно-кліматичних умовах). Важкі бетони набирають міцність упродовж 28 діб. Норми витрати води на полив бетону регламентуються відповідно до [3].

Швидкотверднучі бетони набирають 100% міцність упродовж 10...14 днів. А це значно зменшує витрати води та електроенергії в процесі догляду за бетоном.

1. Використання модифікаторів при приготуванні швидкотверднучих бетонів дає можливість здешевити вартість бетонної суміші за рахунок зменшення витрати цементу.

2. Оскільки швидкотверднучі бетони набирають необхідну розпалубну міцність набагато швидше, ніж звичайні, це дозволяє прискорити терміни

перестановки опалубки і тим самим скоротити процес бетонування, зменшивши кількість необхідної опалубки.

3. При ущільненні швидкотверднучої бетонної суміші є можливість значно зекономити використання електроенергії та часу виконання робіт за рахунок зменшення кількості перестановок вібраторів.

4. За рахунок того, що швидкотверднучі бетони набагато швидше набирають міцність, скорочується час догляду за бетоном. А це призводить до зменшення витрати води та електроенергії.

[1] Дворкін Л.Й., Бабич Є.М., Житковський В.В., Бордюженко О.М., Філіпчук С.В., Кочкарьов Д.В. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони. Рівне: НУВГП, 2017. 331 с.

[2] ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Будівельні матеріали. Бетони правила контролю міцності./ Київ. Мінрегіонбуд України. 2010.

[3] ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва

УДК 666.971; 699.82

**ЦЕМЕНТИ, МОДИФІКОВАНІ ДИСПЕРСІЯМИ ВУГЛЕЦЕВИХ
НАНОТРУБОК, ЯК ОСНОВА ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ РОЗЧИНІВ З
ПОКРАЩЕНИМИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ТА
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

**CEMENTS MODIFIED WITH CARBON NANOTUBE DISPERSIONS AS A
BASIS FOR BUILDING SOLUTIONS WITH IMPROVED
PHYSICAL MECHANICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES**

*д-р техн. наук К.К. Пушкарьова¹, канд. техн. наук О.П. Бондаренко¹,
канд. техн. наук А.С. Марціх¹*

¹Київський національний університет будівництва та архітектури (м. Київ)

*DSc (Tech.) K.K. Pushkarova¹, PhD (Tech.) O.P. Bondarenko¹,
PhD (Tech.) A.S. Martsikh¹*

¹Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture (Kyiv)

Нанотехнології в сучасному світі є одним з найбільш перспективних напрямків технологічного та наукового розвитку. Все частіше зустрічаються нові добавки та технології, які дозволяють керувати структурою матеріалу на нанорівні, що дозволяє отримати якісно нові будівельні матеріали за своїм складом та властивостями [1]. Однією із таких добавок є вуглецеві нанотрубки, однак при введенні їх безпосередньо до складу в'язучої композиції не спостерігається значного ефекту за рахунок коагуляції частинок, тому нанотрубки вводяться до складу цементних сумішей разом із пластифікаторами. Таким чином можна впливати на протікання процесів гідратації цементу та формування кристалів гідроксилатів кальцію на нанорівні, змінюючи їх форму та властивості [2].

З метою підбору оптимального типу пластифікуючої добавки, а також визначення оптимальної кількості нанотрубок, були приготовані дисперсії вуглецевих нанотрубок в пластифікаторах різних типів та торгових марок з різною кількістю наномодифікатора та досліджені фізико-механічні показники штучного каменю на основі таких в'язучих композицій. Дисперсії вводились у кількості 1% від маси цементу. Для модифікації цементної матриці було обрано звичайний портландцемент та шлакомісткий.

При дослідженні фізико-механічних показників модифікованих цементів було з'ясовано, що введення в суміш дисперсії нанотрубок значно впливає на міцність штучного каменю, при чому більший приріст спостерігається при модифікації шлакомісткої в'язучої речовини за рахунок формуванням більшої кількості низькоосновних гідросилікатів кальцію. Було з'ясовано, що при модифікації в'язучих композицій пластифікаторами лігносульфонатного та нафталінформальдегідного типів приріст міцності не є значним, однак при використанні полікарбосилатного та меламінформальдегідного пластифікаторів міцність на стиск та на згин вдалось підвищити на 26% та 38% відповідно.

Було досліджено капілярне водопоглинання цементно-піщаного покриття на основі наномодифікованого шлакомісткого цементу з добавками шаруватих алюмосилікатів. Введення добавки нанотрубок дозволяє знизити водопоглинання покриття від 10 до 40% в залежності від типу пластифікатора та кількості нанотрубок, порівняно із покриттями аналогічного композиційного складу, але з добавкою пластифікатора, що не містив нанотрубок. Найнижчим значенням водопоглинання характеризуються покриття на основі шлакомісткого цементу з добавкою бентоніту та дисперсією нанотрубок на основі пластифікатора меламінформальдегідного складу, що містить від 0,5 до 1% нанотрубок.

Таким чином, введення добавки нанотрубок у кількості від 0,005 до 0,01% від маси цементу та рівномірне їх розподілення за рахунок використання ефективних пластифікаторів дозволяє не тільки підвищити міцність, але і знизити водопоглинання цементно-піщаних розчинів композиційного складу.

[1] Campillo I. High performance nanostructured materials for construction / I. Campillo, J. S. Dolado, A. Porro // Nanotechnology in construction RSC publications. – 2004. – P. 215 – 225.

[2] Pushkarova K. Using of untreated carbon nanotubes in cement compositions / Pushkarova K., Sukhanevych M., Martsikh A. // Proceed of ICBM «International Conference Silicate Binders». – Brno, Czech Republic, 2015.- P.47

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ВОДОПОГЛИНАННЯ ЦЕМЕНТНО-ПІЩАНИХ ЗРАЗКІВ З МІКРОНАПОВНЮВАЧАМИ

STUDY OF WATER ABSORPTION KINETICS OF CEMENT-SAND SAMPLES WITH MICROFILLERS

*докт. техн. наук Л.В. Трикоз¹, аспірант О.С. Зінченко¹,
кандидат техн. наук О.А. Калінін¹,
кандидат техн. наук А.В. Никитинський¹*

¹*Український Державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*Dr. Sc. (Tech.) L.V. Trykoz¹, PhD student¹ O.S. Zinchenko¹,
PhD (Tech.) O.A. Kalinin¹, PhD (Tech.) A.V. Nykytynskiy¹*
¹*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Властивості будівельних матеріалів визначаються їх складом та будовою, а також величиною та характером пористості. Пористість є важливою характеристикою, оскільки з нею пов'язані такі технічні властивості матеріалу як міцність, щільність, водопоглинання, морозостійкість, електропровідність, теплопровідність тощо. Пористий матеріал характеризується загальною, відкритою та закритою пористістю, розподілом пір за їх радіусом, показниками середнього розміру та однорідністю розмірів відкритих капілярних пір. Загальна пористість P визначається як відношення обсягу пір до обсягу матеріалу. Під відкритою пористістю P_0 розуміють обсяг всіх пор матеріалу, сполучених між собою та з навколишнім середовищем. Відкриті пори заповнюються водою у звичайних умовах насичення, збільшують водопроникність та водопоглинання матеріалу, погіршують його морозостійкість. Решта обсягу пір характеризує закриту пористість (капілярну, гелеву). Збільшення закритої пористості за рахунок відкритої підвищує довговічність матеріалів та виробів. Вплинути на співвідношення закритої і відкритої пористості можна при ущільненні бетонної суміші, і введенням різноманітних добавок. У цій роботі досліджується вплив мікронаповнювачів на водопроникність цементно-піщаних зразків.

Для дослідження змін пористості при введенні добавки були виготовлені зразки-балочки розміром 40×40×160 мм зі звичайного портландцементу, піску і води. Як мікронаповнювач використовували дрібну фракцію мелених відходів бетонних виробів, яким заміняли частину цементу. Відсоток заміщення становив для контрольної серії 1 – 0 %, для серії 2 – 10 %, серії 3 – 20 %, серії 4 – 30 %, серії 5 – 40 %, серії 6 – 50 %. Після твердіння в нормальних умовах протягом 28 діб зразки кожної серії висушувалися при температурі 105±5 °С до постійної маси. Потім зразки поміщали в ємність з водою так, щоб рівень води в ній був вище за верхній рівень зразків на 50 мм. Температура води у ємності була 20±2 °С. Вологість серії зразків визначали як середнє арифметичне

значення результатів визначення вологості окремих зразків. Для визначення параметрів порової структури цементно-піщаного розчину з добавкою мікронаповнювачем використовували метод дослідження кінетики поглинання води, що дозволяє визначити показник середнього розміру та однорідності розмірів капілярних пор [1]. Кінетика водопоглинання зразків характеризується збільшенням їхньої маси в часі. Зважування зразків проводили через 0,5 та 1 годину після занурення висушеного зразка у воду, а потім кожні 24 години до постійної маси. За результатами випробувань розраховували відносне водопоглинання за масою в певні моменти часу. За цими величинами згідно [1] визначали показник середнього розміру відкритих капілярних пір, який дорівнює межі відношення прискорення процесу водопоглинання до його швидкості, та показник однорідності розмірів відкритих капілярних пор.

Як показали результати досліджень, водопоглинання за масою контрольної серії зразків № 1 після першої доби водонасичення становить 10,9 % і в подальшому не змінюється. Найбільше водопоглинання мають зразки серії 6 – 11,4 %. Найменше водопоглинання демонструють зразки серій 3 і 4 – 8,7 % та 8,4 %, відповідно. Зразки серії 5 поглинають за першу добу 9,2 %, і через 2 доби – 9,6 %. Майже стільки ж поглинають зразки серії 2 – 9,7 %. Подальша витримка всіх зразків у воді не призводить до подальшої зміни маси. Отже, зразки серії 3 та 4 мають найбільшу щільність, що пов'язано з більш щільним розташуванням дрібних частинок мікронаповнювача в прошарках між більш крупними частинками цементу і піску. Аналізуючи величини загальної пористості, отримані за методикою [1], було встановлено, що вона змінюється в ряду від серії 1 до серії 6 таким чином: 28,2%, 30,1 %, 28,1 %, 29,3 %, 32,3 %, 33,7 %. Ці дані свідчать про те, що зразки перших чотирьох серій мають найнижчу пористість. Але розрахунки об'єму відкритих капілярних пор показали їх найменшу величину для серій 3 і 4 (16,8 % та 16,0 %, відповідно). Це пояснює найменшу величину водопоглинання для зразків цих двох серій. Отже, добавка призвела до зниження макропор у зразках з добавками, що позитивно вплине на такі характеристики як водопроникність, морозостійкість, солестійкість.

Кінетика водопоглинання цементно-піщаних зразків є методом дослідження, що моделює роботу бетонних споруд у реальних умовах експлуатації. Вологе середовище призводить до розвитку деструктивних процесів у бетоні. Експериментально встановлено, що заміна 20-30 % цементу мікронаповнювачем із мелених відходів бетону зменшує як обсяг загальних пор, так і відкритих пор. У цих умовах вільне переміщення води зовні бетонних конструкцій усередину бетону утруднене, що підвищує його довговічність.

[1] ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. [Чинний від 2009-07-01.]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2009. 38 с.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ГРУНТОПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ПІДСИЛЕННЯ ОСНОВ
ШТУЧНИХ СПОРУД**

**RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF
SOIL-POLYMER COMPOSITES FOR REINFORCEMENT OF ARTIFICIAL
STRUCTURES FOUNDATIONS**

*канд. техн. наук О.А. Дудін¹, канд. техн. наук А.С. Зверєва¹,
Dr. M. Faccin², I.S. Kovalenko¹, O.A. Фоменко¹, O.O. Філімонов¹*

*¹Український Державний університет залізничного транспорту (м. Харків)
²ТОВ "МАРЕІ" (м. Мілан, Італія)*

*O.A. Dudin¹, PhD (Tech.), A.S. Zvierieva¹, PhD (Tech.),
M. Faccin², PhD, I.S. Kovalenko¹, O.A. Fomenko¹, O.O. Filimonov¹*

*¹Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)
²LLC "MAPEI" (Milan, Italy)*

Несуча здатність глинистих ґрунтів у разі їх обводнення суттєво знижується [1]. Суттєве підвищення несучої здатності ґрунтів досягається їх закріпленням ін'єктуванням розчинів, що тверднуть [2, 3]. Одними з найбільш ефективних для ін'єктування в ґрунти є поліуретанові матеріали. Проте у разі їх ін'єктування в глинисті ґрунти відбувається розрив шарів ґрунту з його ущільненням і віджиманням води та утворення армуючих тіл [2, 4].

Попередніми дослідженнями встановлено, що ґрунтополімерний композит має набагато більший, ніж у ґрунту, модуль деформації. Проте авторами не виявлено літературних даних про його величину, тому дослідження залежності модуля деформації ґрунтів від параметрів ін'єктування поліуретанових матеріалів є актуальним завданням.

Розроблено оригінальний метод дослідження деформативних властивостей ґрунтополімерного композиту, утвореного шляхом ін'єктування у глинистий ґрунт поліуретанового матеріалу. Згідно з цим методом ґрунт поміщують у силову циліндричну ємкість, ущільнюють, закривають силовою кришкою та крізь ін'єкційну трубку нагнітають у нього зазначений матеріал. Після полімеризації матеріалу ґрунтополімерний композит піддають статичним та динамічним випробуванням безпосередньо у ємкості. В результаті випробувань отримують залежності відносної деформації композиту від напруження (від статичного навантаження) та від кількості циклів певного динамічного навантаження та визначають модуль деформації (статичний) у МПа та запропонований авторами модуль вібродеформації у розмірності «кількість циклів». Статичним випробуванням піддавали зразки-моделі незакріпленого і закріпленого ґрунту. Для кожного зразка-моделі та навантаження за різними

величинами вологості W визначено модулі деформації E . Для кількісної оцінки впливу закріплення за деформативність ґрунту прийнято коефіцієнт збільшення модуля деформації від закріплення K_E . Порівняння отриманих величин K_E з показниками консистенції I_L дослідженого супіску дозволило зробити висновок, що K_E залежить від вологості W та показниками консистенції I_L та, отже, від вихідного (природного) стану ґрунту.

Крім деформативних властивостей композиту для оцінки його довговічності запропоновано визначати втрату маси зразків композиту від кількості циклів поперемінного висушування та зволоження та порівнювати її з втратою маси аналогічних матеріалів з відомою довговічністю. Дослідження проводяться для різних показників вологості ґрунту до та після закріплення, та для різних величин відносної кількості полімеру у ґрунті (витрати полімеру на одиницю об'єму ґрунту).

В результаті досліджень розроблено та відпрацьовано оригінальну методику дослідження деформативних властивостей ґрунтополімерного композиту, утвореного ін'єктуванням у глинистий ґрунт поліуретанового матеріалу, під впливом статичних і динамічних навантажень, що полягає у виготовленні та випробуванні моделей композиту. Крім деформативних властивостей композиту для оцінки його довговічності запропоновано визначати втрату маси зразків композиту від кількості циклів поперемінного висушування та зволоження та порівнювати її з втратою маси аналогічних матеріалів з відомою довговічністю.

[1] Plugin, A. Independent diagnostic computer systems with the ability to restore operational characteristics of construction facilities / Andrii Plugin, Liudmyla Trykoz, Oleh Herasymenko, Anton Pluhin, Vitaliy Konev // Diagnostyka, 2018, Vol. 19, No. 2, p. 13–23. DOI: 10.29354/diag/83009

[2] Пługін, А.А. Відновлення експлуатаційних властивостей основ, фундаментів, заглиблених і підземних споруд: Навч. посібник / А.А.Пługін, Л.В.Трикоз. - Харків: УкрДАЗТ, 2005. - 141 с. - Гриф МОН №14/18.2-1675 від 14.07.2004.

[3] Пługін А.М. Підсилення конструкцій та будівель: Навч. Посібник / А.М. Пługін, С.В. Мірошніченко, І.Г. Корнієнко, О.В. Афанасьєв. - Харків: УкрДАЗТ, 2012. - 124 с.

[4] Пługін, А.М. Розрахунки несучої здатності і технологія закріплення основ будівель і споруд залізничного транспорту: Навч. посібник / А.М.Пługін, А.А.Пługін, Л.В.Трикоз, О.С.Саяпін, О.С.Герасименко, О.А.Пługін; за ред. А.М.Пługіна. Харків: УкрДАЗТ, 2011. Ч.1. 150 с. (Гриф МОН №1/11-272 від 17.01.2011); 2012. Ч.2. – 274 с. (Гриф МОНМС №11/1-5170 від 17.04.2012).

ПИТАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ГАЛЕРЕЙ СИЛОСІВ

RECONSTRUCTION OF SILO TRANSPORTATION GALLERIES

канд.техн.наук В.М. Луцьковський¹, канд.техн.наук Л.А. Циганенко¹,
Г.М. Циганенко¹, Д.Г. Волков²

¹Сумський національний аграрний університет

²НВП Будівельна наука АБУ

V.Lutskovskyi¹ PhD (Tech), L. Tsyhanenko¹ PhD (Tech),
G. Tsyhanenko¹, D.Volkov²

¹Sumy National Agrarian University

²Research and Production Enterprise "Construction Science" of the ACU

Транспортні галереї силосів призначені для забезпечення безперервного транспортування зерна до і від силосів. Їх конструктивне рішення повинне забезпечувати надійне розміщення та роботу скребкових конвеєрів для заправки відповідним матеріалом. Зміна технологічного обладнання транспортної галереї, неякісне виконання монтажних робіт та невраховані додаткових навантажень можуть призвести до аварійного стану несучих конструкцій.

Під час технічного обстеження будівельних конструкцій транспортних галерей елеваторного вузла в м. Кролевець, Сумської області, що проводилось відповідно до вимог [1], були виявлені пошкодження опорних вузлів крайніх секцій двох транспортних галерей в місцях їх спирання безпосередньо на покриття силосних башт. Кожна з транспортних галерей з металоконструкцій, що обстежувались розташована поверх блоків з п'яти силосів (рис. 1 (а)) і передбачена для розміщення скребкових конвеєрів для заправки силосів. Прольотні частини галерей влаштовані за нерозрізною схемою з спарених ферм з паралельними поясами з в'язями. Для забезпечення стійкості верхніх поясів ферм з площини в прольотах ферм, в місцях розташування вузлів верхніх поясів передбачені траверси та підкоси до траверс (рис. 1(б)).



Рис. 1. а) Розташування транспортних галерей; б) траверси галерей;
в) опорне кільце силосної башти

Опори галерей виконані у вигляді наскрізних чотиригілкових стояків, спирання крайніх прольотних секцій кожної з галерей передбачено безпосередньо на покриття останніх в ряду силосних башт. Передача навантаження на опорне кільце покриття кожної з силосних башт здійснюється через траверси, що шарнірно з'єднані з прольотною секцією і дві опорні розподільчі балки (рис.1 (в)). Спирання стояків транспортних галерей передбачено на фундаменти силосних башт, що виконані з монолітного залізобетону.

В ході ознайомлення з наявною технічною документацією було встановлено, що проводилось відновлення проектного положення окремих силосних башт по причині виникнення значного їх крену та заміна транспортних галереях (замінені існуючі скребкові транспортери транспортерами більшою продуктивністю), що збільшило корисне навантаження на споруди. Вже під час технічного обстеженні споруд, окрім руйнувань опорних розподільчих балок в місцях спирання прольотних частин галерей на покриття силосних башт, виявлено:

наднормативні відхилення опорних стояків галерей від вертикалі в двох площинах; нерівномірні осідання опорних стояків галерей; викривлення ліній ферм прольотних частин галерей з площини. Відмічені відхилення ймовірно пов'язані як з недоліками монтажу споруд, так і з нерівномірними деформаціями (осідання, крени) фундаментів споруд.

Аналізуючи характер руйнування опорних розподільчих балок в вузлах спирання прольотних частин галерей, слід відмітити, що порушення їх цілісності було викликано, по-перше, нерівномірним навантаженням балок в кожному з вузлів, а по-друге, наявністю горизонтальної складової силового впливу на балки. Було визначено ряд причин, що могли до цього призвести та на підставі проведеного обстеження технічний стан транспортних галерей в цілому було класифіковано як непридатний до нормальної експлуатації.

В якості заходів щодо відновлення працездатності будівельних конструкцій транспортних галерей було рекомендовано провести підсилення прольотних частин галерей шляхом влаштування розвантажувальних підкосів до опорних стояків галерей; провести заміну зруйнованих опорних розподільчих балок в вузлах спирання прольотних частин галерей на покриття силосних башт; розв'язати розпірками парні опорні розподільчі балки з метою забезпечення їх сумісної роботи при дії горизонтальної складової силового впливу; виконати підсилення вузлів кріплення опорних розподільчих балок до опорних кілець покриттів силосних башт шляхом встановлення ребер жорсткості, котрі б забезпечували стійкість балок з площини; влаштувати горизонтальні діафрагми з кроком не більше 4,0м по опорним стоякам галерей з метою забезпечення незмінності контуру їх поперечних перерізів. При виконанні робіт по відновленню конструкцій галерей слід керуватись [2]. Для подальшої нормальної експлуатації споруд рекомендовано організувати протягом року геодезичний моніторинг [3] за деформаціями фундаментів (з контролем як осадок, так і кренів) силосних башт з періодичністю спостережень два рази на місяць.

- [1] ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 44с.
- [2] ДСТУ Б В.3.1-2:2016 Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 68с.
- [3] ДБН В.1.2-5-2007 Науково-технічний супровід будівельних об'єктів – Київ: Мінрегіонбуд України, 2007. – 16с.

УДК 624.012.45

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФІБРОБЕТОНУ З ФІБРОЮ РІЗНОГО ТИПУ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ ПРИЗМ НА РОЗТЯГ ПРИ ЗГІНІ

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF FIBER CONCRETE WITH FIBER OF DIFFERENT TYPES DURING BENDING TENSILE PRISM TESTS

*д-р техн. наук М.Г. Сур'янінов¹,
канд. техн. наук С.П. Неутов¹, канд. техн. наук І.Б. Корнеєва¹
¹Одеська державна академія будівництва та архітектури (м. Одеса)*

*Dr.Sc. (Tech.) M. Suriyaninov¹,
PhD (Tech.) S. Neutov¹, PhD (Tech.) I. Korneieva¹
¹Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odesa)*

На сьогоднішній день сфера будівництва не обходиться без застосування бетону. На жаль, за всіх його позитивних якостей, він піддається крихкому руйнуванню. Застосування фібри дозволяє змінити характер процесу руйнування. На відміну від звичайного бетону, в якому процес тріщиноутворення і руйнування відбуваються практично одночасно, фібробетон після появи перших тріщин продовжує чинити опір навантаженню, в зв'язку з чим тип руйнування змінюється з крихкого на в'язкий.

На базі лабораторії кафедри будівельної механіки ОДАБА проведено лабораторні випробування бетонних та сталеві фібробетонних призм на розтяг при згині згідно з [1]. Призми розмірами 100x100x400 були виготовлені з бетону С20/25. Бетонна матриця для всіх призм виконана з бетонної суміші однакового складу з розміром великого заповнювача до 10 мм та водоцементним співвідношенням, що дозволяє коректне перемішування готової суміші з фіброю, щоб остання була рівномірно розподілена за обсягом зразка. Випробування проведено для 4 серій зразків: нульова (контрольна) серія складається з бетонних зразків, в першу другу та третю додані волокна різної сталеві фібри: 1 – анкерна; 2 – плющена; 3 – хвильова. Фіброве армування становить 1% від обсягу бетону всіх трьох видів фібри, використовується фібра

з однакової сталі з тимчасовим опором 1335 МПа, довжина волокна 50 мм, діаметр 1 мм.

Навантаження подавалося з допомогою домкрату, його величина визначалася зразковим динамометром. У процесі випробувань фіксувалося навантаження, деформація зразка, а також момент початку тріщиноутворення. Для вимірювання деформацій на зразки були прикріплені індикатори годинного типу з ціною поділки 0,01 мм з базою 20 см. На зразках з фіброю були виміряні тріщини, їх висота та ширина розкриття. Всі призми при випробуваннях на розтяг при згині зазнали руйнування в середній третині прольоту, що відповідає вимогам п. 7.3 ДСТУ Б В.2.7-214:2009.



Рис. 1. Розташування індикаторів на призмі при випробуваннях на розтяг при згині

Проведені випробування показують, що значення моменту тріщиноутворення залежить від виду фібри. Найбільш вигідним з цієї точки зору виявляється додавання до бетону анкерної фібри, найменш – хвильової. Але присутність у складі суміші будь-який із розглянутих сталевих фібр значно підвищує момент тріщиноутворення зразка. Крім того, тип руйнування такого зразка змінюється з крихкого на в'язкий, тобто якщо для контрольної бетонної призми навантаження початку тріщиноутворення і руйнівне навантаження це одне і те ж значення, то для фібробетонного руйнівне навантаження від початку тріщиноутворення відрізняється на 15-20% незалежно від форми фібри. Якщо порівнювати різні види фібр між собою, то стає очевидною перевага першого варіанта. Звідси можна дійти висновку, що у конструкціях доцільно використовувати саме анкерну сталеву фібру.

Будь-яке фіброве армування позитивно впливає на характеристики міцності бетону при випробуваннях на розтяг при згині. Застосування сталеві фібри у складі бетону в середньому підвищує тріщиностійкість на 40%, а міцність на 64%. Щодо зразків без фібрового армування зразки з анкерною фіброю

показують підвищення міцності до 85%, а тріщиностійкості до 60%. При використанні плющеної фібри ці значення 56% та 32%, а для хвильової – 47% та 25%. Використання сталевих фібри для виготовлення бетонної суміші дозволяє уникнути крихкого характеру руйнування.

[1] Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. ДСТУ Б.В.2.7-214:2009. – [чинний від 2009-12-22]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 43 с. (Національний стандарт України).

УДК 691.32/34

БАГАТООСЕРЕДКОВЕ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

MULTI-CENTRE STRUCTURE FORMATION AND ITS INFLUENCE ON THE PROPERTIES OF BUILDING CONSTRUCTIONS

*д-р техн. наук В. М. Вировой¹, д-р техн. наук О.О. Коробко¹,
д-р техн. наук В.Г. Суханов¹, канд. техн. наук С.В. Семенова¹*

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури (м. Одеса)

*DSc (Tech.), V.M. Vyrovoy¹, DSc (Tech.), O.O. Korobko¹,
DSc. (Tech.), V.G. Sukhanov¹, PhD (Tech.) S.V. Semenova¹*

¹Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture (Odesa)

Фізичні властивості характеризують особливості фізичного стану будівельних композитів, який визначає їх здатність реагувати на ті чи інші зовнішні та внутрішні подразники. До фізичних властивостей відносять пористість, водопоглинення та водопроникність, щільність і пов'язані з ними такі властивості як вологісні та термічні деформації набухання та усадки, морозостійкість, стійкість в умовах багаторазового зволоження та висихання, нагріву та охолодження, сприйняття та розподілу стаціонарних і динамічних силових навантажень, внутрішнього тепло- та масопереносу та інших властивостей, які визначають безпечну складову функціонування будівельних об'єктів. Таким чином можна зробити висновок, що визначальними характеристиками основних фізичних властивостей будівельних композитів виступають різні за якісними та кількісними ознаками несучільності. Несучільності, до яких відносять сукупну капілярно-пористу структуру, входять невід'ємною складовою будівельних матеріалів та виробів. В свою чергу, несучільності не входять до переліку вихідних складових – вони з'являються в період технологічної переробки матеріалу в вироби та конструкції, що, в подальшому, впливає на їх фізичні властивості. Тому важливою задачею слід вважати задачу, пов'язану з дослідженням механізмів зародження та розвитку несучільностей, їх вплив на процеси структуроутворення і властивості матеріалів та виробів, що дасть змогу

визначити фактори цільового управління фізичними властивостями будівельних композитів.

До однієї з основних причин утворення несучільностей в початковому неперервному середовищі відносять реалізацію механізмів багатоосередкового структуроутворення. Під багатоосередковим структуроутворенням розуміють спонтанне утворення дискретних структурних об'єднань з індивідуальним для кожного об'єднання кількісним та якісним складами. Утворення дискретних об'ємних структурних груп веде до самовільного зародження нових для вихідної системи елементів – поверхонь розділу між дискретними структурами. Єдиного механізму багатоосередкового структуроутворення не існує. В поліструктурних матеріалах на кожному рівні структурних неоднорідностей реалізується характерний саме для цього рівня механізм утворення локалізованих структур. Багатоосередкове структуроутворення є первинним процесом організації структури різних за природою та призначенням матеріалів. Воно виступає своєрідною передумовою подальшого прояву процесів та явищ, пов'язаних з гідратацією, полімеризацією, твердінням розплавів, сушкою та ін.

Поява принципово нових елементів у вигляді поверхонь розділу повністю змінює подальші процеси структурних трансформацій. Логічний ланцюжок «початковий склад – властивості» розривається. Починається черговий період розвитку по типу «від досягнутого», що дає можливість стверджувати про революційно-еволюційний характер розвитку в період становлення систем.

Взаємодія елементів з урахуванням поверхонь розділу вимушено веде до змін останніх. Проведений аналіз показав, що поверхні розділу можуть перетворюватися в пори, капіляри та тріщини, сукупність яких визначає фізичні властивості будівельних композитів. Індивідуальність якісного та кількісного складів кожного дискретного утворення, динамічні трансформації несучільностей ведуть до збільшення рівня різноманіття структури будівельних композитів, які слід розглядати у вигляді відкритих складних систем, що самоорганізуються. Для таких систем доцільно виділити вертикальну та горизонтальну складові багатоосередкового структуроутворення.

Вертикальна складова враховує особливості кожного рівня структурних неоднорідностей, визначає домінуючі механізми на кожному рівні та враховує взаємозв'язок і взаємовплив між рівнями. Таким чином вертикальна складова закладає підвалини для реалізації багатоваріантних механізмів спонтанних процесів структуроутворення, що збільшує різноманіття структур виробів.

Горизонтальна складова включає в себе базові механізми структуроутворення, характерні для певного рівня неоднорідностей з урахуванням нетотожності елементів структури на цьому рівні. Це дає можливість дійти висновку, що на кожному горизонтальному рівні ситуації, пов'язані з багатоосередковим структуроутворенням, повторюючись не повторюються, підсилюючи, тим самим, різноманіття структури на кожному рівні неоднорідностей.

Загальним для вертикальної та горизонтальної складових слід вважати самовільне виникнення елементів структури, принципово нових для кожного

рівня і для системи в цілому. Це провокує прояв нових (інших) властивостей системи – вона стає частково склерономною, що порушує симетрію її розвитку. Крім того, поява активних елементів, здатних до саморозвитку та трансформацій один в одного з урахуванням впливу геометричних особливостей виробу на «підгонку» структури матеріалу під себе, веде до прояву ефектів адаптації, що підвищує рівень безпечного функціонування конструкції-системи.

УДК 691.5, 620.1

**ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКОВАНОГО ПОЛІМЕРНОГО СКЛАДУ
ПОКРИТТЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЗЧЕПЛЕННЯ МІЖ
СТЕКЛОПЛАСТИКОВИМИ ТА БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОВИМИ
СТЕРЖНЯМИ І БЕТОНОМ**

**USE OF MODIFIED POLYMERIC COMPOSITION COATING TO
IMPROVE BONDING BETWEEN GFRP, BFRP BARS AND CONCRETE**

*д-р техн. наук В.Ю. Мірошніков¹, канд. техн. наук Б. Юніс¹,
канд. техн. наук В.М. Соболев¹, канд. техн. наук Н.В. Саєнко²*

¹ *Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут» (м. Харків),*

² *Національний університет цивільного захисту України (м. Харків)*

*V.Yu. Miroshnikov¹, D.Sc. (Tech.), B. Younis¹, PhD (Tech.),
V.N. Sobol¹, PhD (Tech.), N.V. Saienko², PhD (Tech.)*

¹ *National aerospace university named after N. Ye. Zhukovskiy
“Kharkov Aviation Institute” (Kharkiv),*

National university of civil defence of Ukraine (Kharkiv)

Glass fiber-reinforced polymer (GFRP) bars and basalt fiber reinforced polymer (BFRP) are currently used in reinforced concrete. The integration of fiber-reinforced polymer (FRP) bars as reinforcement in concrete structures is becoming increasingly critical in addressing challenges posed by corrosion. FRP bars present numerous advantages over conventional steel reinforcement, including superior strength-to-weight ratios, enhanced durability, ease of handling due to their lightweight characteristics, and immunity to electromagnetic interference [1-3]. However, the effectiveness of these materials heavily relies on the bond behavior at the interface between FRP and concrete, which is a pivotal factor influencing the failure mechanisms in reinforced concrete structures. Research has demonstrated that various surface treatment techniques can significantly improve the bond strength between polymer bars and concrete. Experimental results highlight that bars coated with polymeric composites exhibit enhanced bond strength, reinforcing the importance of surface treatments [4]. Interestingly, pull-out tests reveal that while

chemical adhesion is beneficial, mechanical bonding forces often play a more substantial role in achieving high bond strength.

Methods for Enhancing Bonding. To bolster the bond between reinforcement bars and the surrounding concrete, several additional techniques are necessary. These methods encompass surface deformations, sand coating, over-molding, and novel surface treatments. Numerous studies have introduced various mathematical models to estimate bond strength and have conducted both experimental and numerical evaluations of composite-reinforced bars in concrete applications. Among the innovative methods, the incorporation of jute fibers in conjunction with polymer composites has emerged as a promising avenue; however, research indicates that the results may not always meet expectations due to the unique properties of jute.

Experimental Data. The experimental phase was conducted at the Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, where composite reinforcement bars were treated with a polymeric composite adhesive and allowed to cure for 48 hours. Concrete cubes measuring 15x15x10 cm were prepared with a specific aggregate composition and water-cement ratio, and the reinforcement bars were embedded vertically into these cubes during the concrete mixing process. Subsequently, pull-out tests were performed to quantify the bonding strength of the composite reinforcement.

Results. Results from the experiments indicate that treating GFRP and BFRP bars with granite sand enhances bond strength to 13.1 and 14.4 MPa, respectively. This improvement is primarily attributed to the increased mechanical interlock facilitated by the surface treatment [2]. Notably, the application of specialized epoxy polymer compositions significantly boosts bond strength to values of 17.5 and 20.5 MPa, which is due to heightened intermolecular interactions at the interface and improved penetration of the epoxy into the concrete matrix [5]. Conversely, while the inclusion of organic jute fibers showed some promise, it ultimately fell short of expectations, with bond strengths measured at 13.8 and 16.5 MPa, respectively. This reduction in bond strength can be traced back to the jute fibers' tendency to absorb a significant portion of the epoxy resin, thereby diminishing the chemical adhesion while failing to compensate with adequate mechanical bonding.

Conclusions. The findings of this research underscore the efficacy of using polymeric compositions for the surface treatment of FRP bars to enhance bond strength with concrete. The study highlights the potential for innovative applications of FRP materials in construction, especially in environments vulnerable to corrosion and mechanical stress. By optimizing surface treatments and exploring new composite materials, the construction industry can leverage the benefits of FRP reinforcement to improve the longevity and performance of concrete structures [6].

[1] Den Einde L, Zhao L, and Seible F. Use of FRP composites in civil structural applications. *Constr Build Mater* 2003; 17: 389-403.

[2] Mortazavi A, Pilakoutas K, and Son K. RC column strengthening by lateral pre-tensioning of FRP. *Constr Build Mater* 2003; 17: 491-497.

[3] Promis G, Ferrier E, and Hamelin P. Effect of external FRP retrofitting on reinforced concrete short columns for seismic strengthening. *Compos Struct* 2009; 88: 367-379.

[4] Vasconcelos E, Fernandes S, Barroso de Aguiar JL, and Pacheco-Torgal F. Concrete retrofitting using metakaolin geopolymer mortars and CFRP. *Constr Build Mater* 2011; 25: 3213-3221.

[5] Cosenza E, Manfredi G, and Realfonzo R. Behavior and modeling of bond of FRP rebars to concrete. J Compos Constr 1997; 5: 40-51.

[6] Younis Basheer N., Al-hawari Yousef Riyad. Analysis of the destruction of corrosion of reinforced concrete structures in Jordanian conditions. Scientific Journal of Construction in Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, 2015.- Vol. No. 4 (82). - P.136-140.

УДК 620.1, 624.042

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЦИКЛІЧНИХ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА МІЦНІСТЬ КЛЕЄВОГО З'ЄДНАННЯ БЕТОННИХ БЛОКІВ

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CYCLICAL CLIMATIC FACTORS ON THE STRENGTH OF ADHESIVE BONDS IN CONCRETE BLOCKS

*д-р техн. наук В.Ю. Мірошніков¹, канд. техн. наук Б. Юніс¹,
канд. техн. наук В.М. Соболев¹, канд. техн. наук Н.В. Саєнко²*

*¹ Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут» (м. Харків),*

² Національний університет цивільного захисту України (м. Харків)

*V.Yu. Miroshnikov¹, D.Sc. (Tech.), B. Younis¹, PhD (Tech.),
V.N. Sobol¹, PhD (Tech.), N.V. Saienko², PhD (Tech.)*

*¹ National aerospace university named after N. Ye. Zhukovskiy
“Kharkov Aviation Institute” (Kharkiv),*

² National university of civil defence of Ukraine (Kharkiv)

Аналіз особливостей природно-кліматичних умов Лівії показав, що агресивний тепловий вплив на залізобетонні конструкції, склеєні полімерними клеями, призводить до зниження механічних властивостей бетону та арматури, руйнування бетону внаслідок його тріщин або відколів, утворення температурно-усадкових і силових тріщин та втрати попереднього напруження арматури, а також погіршення умов спільної роботи бетону та арматури [1]. Досвід застосування епоксидних та акрилових складів у будівництві підтверджує переваги клеєвих з'єднань у порівнянні з замоноличуванням цементними розчинами [3-5], але це стосується тільки конструкцій, які експлуатуються в помірних кліматичних зонах. У науковій літературі не зустрічаються описи експериментально доведеної ефективності різних клеєвих складів при експлуатації в умовах впливу специфічних кліматичних факторів. Виникає необхідність вивчення впливу циклічних кліматичних факторів на міцність клеєвого з'єднання випробуваних бетонних блоків для аналізу міцності склеєних зразків і їх стійкості до впливу різних агресивних експлуатаційних факторів. У тезах розглядаються агресивні теплові впливи на залізобетонні

конструкції, склеєні полімерними клеями, в умовах Лівії. Аналіз показує, що такі умови призводять до зниження механічних властивостей бетону та арматури, що викликано процесами тріщиноутворення, сульфатної корозії та карбонізації. Це узгоджується з висновками, представленими у дослідженнях [1] та [4].

Мета дослідження. Основною метою статті є експериментальне визначення впливу циклічних кліматичних факторів на міцність клеєвого з'єднання будівельних конструкцій залежно від часу витримки в кліматичній камері для тропічно-прибережної зони. Це дозволяє оцінити довговічність клеєвих з'єднань у специфічних умовах експлуатації.

Експериментальна частина. У рамках експерименту була розроблена полімерна композиція з мінеральним дисперсним наповнювачем, здатна відверджуватися при підвищених температурах [4]. Ця композиція виявилася ефективною для відновлення тріщин у цегляній кладці, що підтверджується дослідженнями інших авторів [2]. В експерименті були створені умови, що моделюють тропічну кліматичну зону, та оцінено вплив циклічних перепадів температури в умовах соляного туману на механічну міцність бетонних конструкцій. Було виготовлено 60 стандартних бетонних балок, які піддавалися різним тестуванням.

Методологія випробувань. Встановлено 100 циклів нагрівання-охолодження з різними температурними режимами. Після кожного контрольного пункту проводилися випробування на міцність при згині, що відповідало стандартам.

Результати досліджень. Встановлено, що в умовах підвищеної вологості спостерігається зниження міцності бетонних зразків на 10-15% через агресивні умови експлуатації. Проте використання розробленої епоксидної композиції дозволяє знизити зниження міцності до 5-6%. Аналіз показав, що в весняно-літній період спостерігається сповільнення падіння міцності зразків, що пов'язано з кристалізацією гідроксиду кальцію. Це співпадає з результатами інших досліджень, де вивчалася деформативність розчинів на основі акрилових полімеррастворів [2].

Висновки та практичні рекомендації. Дослідження підтверджує, що розроблена полімерна композиція може на 15-20% підвищити міцність відновлених бетонних балок. Результати свідчать про можливість її широкого впровадження в практику Лівії, зокрема в умовах, що характеризуються агресивним кліматом. Результати дослідження можуть бути корисними для практиків у будівництві, особливо в умовах тропічно-прибережної кліматичної зони, що підкреслює важливість адаптації матеріалів до специфічних умов експлуатації. Експериментальні дані свідчать про доцільність використання розробленої епоксидної композиції для підвищення довговічності та надійності бетонних конструкцій.

[1] Mouna Abdalhkem., The use of polymer adhesives for the reconstruction of concrete elements of destroyed buildings in libya International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT) Volume 4, Issue 4, 2015.

- [2] Пустовойтова О.М. Деформативність розчинів на основі акрилових полімеррастворів // Комунальне господарство міст: Науков.-техн. зб. Вип. 23. – К.:Техніка, 2000. – С. 80-83.
- [3] Шутенко Л.Н., Золотов С.М., Гарбуз А.О. Використання акрилових клеїв для реконструкції і ремонту будівель і споруд // Будівельні конструкції: Зб. наук. праць. Вип. 54. – К.: НДІБК, 2001. – С. 810-814.
- [4] Кривцов, Ю.В. Огнезахист залізобетонних несучих конструкцій тонкослойними покриттями / Кривцов Ю.В., Ламкин О.Б., Рубцов В.В., Габдулин Р.Ш. // Мир і безпека – 2006. – № 1, – С. 23-24.
- [5] Розробка модифікованої епоксидної композиції, придатної для відновлення будівельних конструкцій в умовах кліматичної зони Лівії // Юніс Башір, Токарев М.Н., Савін А.Б., Муна Абдалхкем // Будівельні матеріали і виробы. - 2017. - № 1-2. - С. 78-81.

УДК 624.8:624.5

ПОГЛЯД НА МІСТ ПОНТОННО-КАНАТНОЇ КОНСТРУКЦІЇ З ТОЧКИ ЗОРУ КОНЦЕПЦІЇ ТЕНСЕГРІТІ

A VIEW OF THE PANTON-CABLE BRIDGE FROM THE TENSEGRIT CONCEPT POINT OF VIEW

д-р. техн. наук, П.А. Овчинников¹, д-р. техн. наук Тютюкін О.Л.¹
¹Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро),

Dr.Sc. (Tech.) P.A. Ovchynnikov¹, O. L. Tiutkin¹
¹Ukrainian State University of Science and Technologies (Dnipro)

Пошук нових форм і конструкцій мостів завжди є актуальною задачею інженерів і науковців. Винайдення та комбінація статичних схем; пошук методів їх розрахунку і проектування; оптимізація форм та параметрів перерізів, розташування елементів і їх з'єднань були і залишаються нагальними темами наукових досліджень від початку інженерної діяльності людства до сьогодні.

Одним з видів мостів, що відомі ще з часів античності і повернення популярності яких можливе за необхідності швидкого відновлення великої кількості споруд, є наплавні (понтонні) мости, що застосовуються як у якості тимчасових переправ, так і в якості капітальних мостів. Головними їх перевагами є мобільність, швидкість монтажу, економія матеріалів для будівництва опор. Недоліками ж є можливість створення проблем судноплавству; велика залежність від дії вітру і хвиль, рівня води; просадки під дією постійного і тимчасового навантажень, що сильно зменшує експлуатаційний комфорт.

Для протидії деяким з цих недоліків було запропоновано конструкцію понтонно-канатного мосту (Рис. 1), що пропонує використання повністю занурених у воду понтонів, що створюють виштовхуючу силу, більшу за сумарне зусилля від постійного та тимчасового навантаження на міст. Для утримання понтонів під водою використовується розтягнутий кабель, що для оптимізації зусиль має форму кривої другого порядку. Таким чином, міст

працює, як «перевернутий підвісний», забезпечуючи жорсткість конструкції і стабільне положення проїзної частини в вертикальній площині[1].

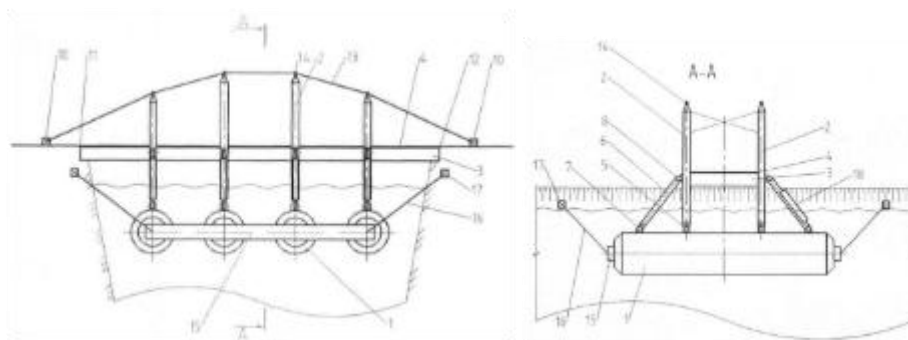


Рис. 1. Загальна схема понтонно-канатного мосту (викопіювання з патенту)

Наразі постає проблема як аналітичного розрахунку мостів такого типу, так і пошуку його оптимальних форм, або альтернативних конструкцій, що відповідають наведеним принципам. Як один з підходів до поставленої проблеми є звернення до концепції «тенсегріті», що виникла менше ста років тому і наразі є одним з трендових напрямків в архітектурі та будівництві. Вона полягає у створенні системи окремих стиснених елементів всередині мережі розтягнутих, які і задають структуру таким чином, щоб стиснені елементи не контактували. Для таких конструкцій існує і розвивається декілька методів розрахунку, а також визначення чисельних показників, що дозволяють довести або спростувати належність визначеної конструкції до концепції тенсегріті [2].

Конструкція понтонно-канатного мосту не відповідає концепції за формальними ознаками і, відповідно, можна очікувати, що вищезгадані розрахунки підтвердять це кількісно. В такому випадку, для можливості погляду на понтонно-канатний міст з точки зору концепції «тенсегріті» запропоновано виконувати пошук «первісних конструкцій», які формально відповідатимуть її ознакам, і з яких, методом визначених перетворень, можна буде отримати шукану. Для описаного раніше мосту такою «первісною» може бути наступна конструкція[3] (Рис. 2).

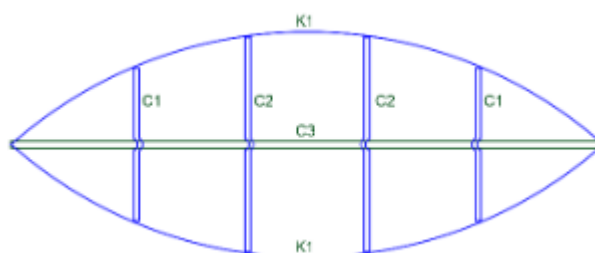


Рис. 2. «Первісна» конструкція для понтонно-канатного мосту

Така схема нагадує канатні ферми, що вже були запропоновані і використані раніше в якості будівельних конструкцій. Використання її може дозволити як застосування вже існуючих підходів до розв'язання задач проєктування та оптимізації конструкцій, так і дати поштовх до подальшого пошуку

альтернативних систем, порівнюючи і зіставляючи в подальшому тенсегріті- та інші кабельні конструкції з конструкцією понтонно-канатного мосту. Наприклад, для подальшого розвитку можна спертись на конструкції вантових ферм різної конструкції, «перевернувши їх» для утримання архімедової сили.

В цілому, задача обґрунтування конструкції понтонно-канатного мосту, а також пошуку методів його розрахунку і проектування, на думку авторів, є актуальною та може, за умови достатньої оптимізації форм конструкції, привести до більш широкого застосування наплавних мостів в цивільному транспортному будівництві за рахунок підвищення їх жорсткості і комфорту їзди у порівнянні з традиційною школою їх застосування.

[1] Овчинников, П. А., Кузьмінський, В. П. (2020). Понтонно-канатний міст (патент 121809 МПК E01D 15/14 (2006.01), UA 121809 C2). Київ: ДП «Український інститут інтелектуальної власності».

[2] Micheletti, A. Design of Single-Layer Floating-Compression Tensegrities / Micheletti, A., Cadoni, D. // Conference: CSMA-2011.

[3] Овчинников, П. А. Обґрунтування конструкції понтонно-канатного мосту з точки зору концепції тенсегріті / Овчинников, П. А., Тютькін О. Л. // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – Дніпро: УДУНТ, 2024. – вип. 25. – С. 81-89.

УДК 691.5

ВПЛИВ МІНЕРАЛОГІЧНОГО СКЛАДУ НА ПРОЦЕСИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ НАНОМОДИФІКОВАНОГО БІЛОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ

INFLUENCE OF MINERALOGICAL COMPOSITION ON STRUCTURE FORMATION PROCESSES FOR NANOMODIFIED WHITE PORTLAND CEMENT

докт. техн. наук, проф. К.К. Пушкарьова¹,

канд. техн. наук М.О. Кочевих¹,

канд. техн. наук Л.О. Кушнієрова¹, аспірант Л.В. Терещенко¹

¹Київський національний університет будівництва і архітектури

Dr. Sc., Professor K.K. Pushkaryova¹, PhD (Tech), M.O. Kochevykh,

PhD (Tech), L.O. Kushnierova¹, postgraduate L.V. Tereshchenko¹

¹Kyiv National University of Construction and Architecture

Основний принцип повоєнної відбудови України, розроблений на основі міжнародного досвіду та найкращих практик ЄС, ґрунтується не просто на поверненні країни у довоєнний стан, а на створенні кращих умов безпечного та комфортного проживання людей в екологічному довкіллі. Створення об'єктів інфраструктури має відбуватися за допомогою сучасних довговічних екологічно надійних та естетичних матеріалів і виробів. Вдалим прикладом таких матеріалів є використання модифікованих білого та кольорового цементів

при створенні архітектурних фасадних елементів будівель громадського призначення (вокзалів, елементів ландшафтного дизайну), що сприяє скороченню терміну будівництва при одночасному естетичному їх вигляді, а також виключає витрати на такі роботи, як фарбування чи штукатурення.

В дослідженнях використовували білі портландцементи СЕМ І 52.5 виробництва Adana та Cimsa (Туреччина), що характеризуються різним вмістом мінералу C_3A – 3% та 11,5% та C_3S – 73,0% та 55,8%, відповідно.

Для модифікації цементних систем на основі білого портландцементу використовували полікарбоксилатний суперпластифікатор німецького виробництва BASF Constraction Polymers (Trostberg, Німеччина) Melflux 1641 F та нанокарбонатну добавку, представлену дисперсією «Enrich C50» виробництва Nordcalk (Норвегія).

Для розкриття механізму взаємодії білих цементів з нанокарбонатними та пластифікуючими добавками було синтезовано мінерали C_3S та C_3A .

Дослідження проводили на цементних системах з вмістом води, що відповідає консистенції тіста нормальної густоти.

Фізико-механічні характеристики цементних систем визначали на зразках розміром 2x2x2 см, які тверділи за нормальних умов.

При введенні пластифікуючої добавки до цементної системи, має місце деяке гальмування процесу гідратації мінералу C_3S , оскільки полікарбоксилатна добавка адсорбується на частинках клінкерного мінералу, стримує процес виникнення зародків кристалізації, знижує швидкість гідратації та твердіння цементу. Завдяки особливостям хімічної структури пластифікуючої добавки та її взаємодії з C_3A та продуктами його гідратації, одразу ж розпочинаються процеси поверхневої хемосорбції пластифікатора на мінералі C_3A [1]. Тому, при введенні невеликої кількості пластифікуючої добавки до цементу з високим вмістом C_3A та низьким вмістом C_3S , її залишку в рідкій фазі недостатньо для диспергування силікатних фаз і зниження в'язкості в системі, що призводить до подальшого спаду міцності. Для досягнення ефекту диспергування цементної системи необхідно збільшення кількості пластифікуючої добавки. При введенні пластифікуючої добавки до цементної системи з низьким вмістом мінералу C_3A та, відповідно, високим вмістом C_3S , ефект пластифікації досягається при менших дозуваннях пластифікатора, при цьому, набір міцності в часі відбувається більш стабільно.

При додаванні нанокарбонатної добавки до пластифікованого білого цементу відбувається її взаємодія з мінералом C_3A , внаслідок чого виникає можливість утворення карбонатного еtringіту, який сприяє направленому синтезу низькоосновних волокнистих гідросилікатних фаз, в тому числі тобермориту та перешкоджає переходу гексагональних гідроалюмінатів в кубічні, що нівелює спад міцності в білих цементах з підвищеним вмістом C_3A та зниженим вмістом C_3S . Разом з тим, при гідратації C_3S внаслідок адсорбції іонів кальцію поверхнею нанокарбонатної добавки, прискорюється процес гідратації мінералу, відбувається пришвидшення кристалізації портландиту, крім того нанодобавка виступає як «підложка» для направленої кристалізації

гідросилікатних фаз, що дозволяє констатувати проявлення нуклеаційного ефекту [2].

Регулювання міцнісних характеристик білих цементів з підвищеним вмістом C_3A та зниженим вмістом C_3S буде особливо важливим для кольорових цементів, оскільки введення барвника завжди супроводжується певним зменшенням міцності, що досягає 5...7% [3]. Вирішення цієї проблеми за рахунок наномодифікації розкриває нові можливості стабілізації міцнісних характеристик не тільки білих, але й кольорових цементів.

[1] V.S. Ramachandran, V. Mohan Malhotra (1996). 7 – Superplasticizers. Concrete Admixtures Handbook (Second Edition), William Andrew Publishing, 410-517, ISBN 9780815513735. <https://doi.org/10.1016/B978-081551373-5.50011-8>

[2] Pushkarova, K., Sheinich, L., Gadaichuk, D., Kushnierova, L., & Mazur, V. (2021). Кристалохімічні аспекти процесів структуроутворення білого портландцементу в присутності нанокарбонатних добавок. Наука та будівництво, 30(4), 36-45. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-15-2021-4>

[3] Пушкарьова К.К., Терещенко Л.В. (2024). Дослідження сумісного впливу неорганічних пігментів та нанокарбонатних добавок на синтез міцності декоративних цементів. Збірник наукових праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди», 45, 68-75. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i45.08>

УДК 691.33

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ РАДІАЦІЙНОЗАХИСНИХ МЕТАЛОНАСИЧЕНИХ КОМПОЗИТІВ

PRODUCTION TECHNOLOGY OF RADIATION-PROTECTIVE METAL- SATURATED COMPOSITES

*канд техн. наук Д.В. Анопко¹, канд техн. наук О.А. Гончар¹,
канд техн. наук М.О. Кочевих¹, канд техн. наук Л.О. Кушнієрова¹*
*¹Київський національний університет будівництва і архітектури,
м. Київ, Україна*

*PhD (Tech.) D.V. Anopko¹, PhD (Tech.) O.A. Honchar¹,
PhD (Tech.), M.O. Kochevykh¹, PhD (Tech.) L.O. Kushnierova¹*
¹Kiev National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

На сучасному етапі розвитку енергетичного сектору України актуальним стає питання енергетичної безпеки та енергетичної незалежності. Традиційні джерела енергії України, вугілля і газ, відходять на другий план, а частка атомної енергетики значно зростає. Цілком закономірно, що маючи сьогодні 50% енергії, яка виробляється атомними електростанціями, необхідність поводження з відпрацьованим ядерним паливом, добудова блоків Хмельницької АЕС, деактивація зони відчуження Чорнобильської АЕС, як ніколи, робить актуальним питання наявності власних радіаційно-захисних бетонів і технологій їх виготовлення в промислових масштабах.

Існує необхідність розробки технології отримання суміші, формування конструкцій з дрібнозернистих безусадочних бетонів на металевих та залізорудних заповнювачах, що обумовлено відмінністю їх складу і властивостей від традиційних бетонів, а також необхідністю отримання суміші з найбільш щільною структурою і мінімальним розшаруванням (анізотропією властивостей) з метою підвищення радіаційнозахисних властивостей, їх радіаційної та корозійної стійкості.

Технологія таких бетонів розроблялася з урахуванням звичайних способів отримання сумішей з урахуванням її особливостей, так як окремі методи, як показано в [1...7], мають недоліки отримання бетону. Дослідження режимів підготовки і формування бетону проводилося за складами, які наведені нижче. При їх призначенні враховувалася можливість отримання бетону, як на дисперсному залізі, так і використанні чавунного дробу, так як в останньому випадку утворюються бетони з більш високою середньою густиною.

Аналізуючи отримані дані, можна відзначити, що використовуючи запропоновані методи регулювання складу і технології дрібнозернистого бетону (зміна фазового складу в бік утворення високоосновних гідросульфферитів і сульфалюміноферитів кальцію за рахунок введення мікрокремнезему, залізоокисних добавок, металевого заліза, використовуючи заповнювачі різної дисперсності), можна контролювати формування структури бетону і отримувати якісний камінь. Доцільно створювати композити з мінімальною кількістю анізотропії їх властивостей, яка в розроблюваних матеріалах регулюється дисперсністю заповнювача і ступенем розширення цементу.

Особливість застосування радіаційно-захисних бетонів обумовлена тим, що суміш укладається в конструкцію великими масивами. У зв'язку з цим виникає необхідність визначити оптимальну товщину шару суміші, при якій не буде розшарування досліджуваних бетонів. У зв'язку з цим, наступним кроком досліджень стало визначення оптимальної товщини шару суміші, при якій не буде розшарування досліджуваних складів. Для цього була створена модель в масштабі 1:15, що імітувала захисний шар контейнеру. Розшарування оцінювали за значенням анізотропії властивостей бетону за наступною методикою. У вертикальному положенні формувалися зразки призми розміром 7x7x32 см, кінець ущільнення суміші фіксувався появою «цементного молочка» на поверхні зразка. На 14-й день твердіння бетону його піддали ультразвуковому зондуванню. Ультразвукове зондування проводилося в горизонтальній площині в двох взаємно перпендикулярних напрямках. У кожному напрямку цієї площини було взято по три показники.

Запропоновано технологію отримання радіаційнозахисних дрібнозернистих бетонів на чавунних заповнювачах. Встановлено, що перемішування таких сумішей необхідно збільшити в часі на 33%, щоб досягти однорідності суміші, рівної звичайним складам на портландцементі, тому тривалість перемішування сумішей на надважких заповнювачах складе 4-5 хвилин, для чого необхідно використовувати бетонозмішувачі примусової дії з посиленням валом і підвищеною потужністю електродвигуна. Товщина шару, що укладається, в

залежності від В/Ц для бетонів на чавунному пилю не повинна перевищувати 30 см, а для матеріалів на чавунному дробу становить 20-25 см. Встановлено, що оптимальна частота їх вібраційного ущільнення знаходиться в діапазоні $f = 130-140$ Гц, в той час як для жорстких сумішей час ущільнення скорочується на 75-85% в порівнянні зі стандартною частотою в 50 Гц. Оптимальна амплітуда вібраційного ущільнення для цих дрібнозернистих сумішей - $A = 0,15-0,4$ мм.

- [1] Anopko D. V., Honchar O. A., Kochevykh M.O. and Kushnierova L. O. Radiation protective properties of fine-grained concretes and their radiation resistance IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering - Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020). – Vol. 907 (2020) 012031 – 10p. doi:10.1088/1757-899X/907/1/012031. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/907/1/012031/pdf>
- [2] Wagner, J. C.; Peplow, D. E.; Mosher, S. W.; Evans, T. M. (2011). Review of Hybrid Deterministic/Monte Carlo Radiation Transport Methods, Codes, and Applications at Oak Ridge National Laboratory.
- [3] Романенко І. М., Голюк М. І., Носовський А. В., Гулік В. І. Дослідження нового композитного матеріалу на основі надважких бетонів і базальтової фібри для радіаційного захисту від гамма-випромінювання. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2018. Вип. 1(77). С. 52-58.
- [4] Непийвода А.А. Дрібнозернисті безусадні бетони на чавунних заповнювачах для захисту від іонізуючого випромінювання: автореф. дис. канд техн. наук. Вінниця, 2010. - 20 с
- [5] Gulik, V., Tkaczyk, A. H. (2014), "Cost optimization of ADS design: Comparative study of externally driven heterogeneous and homogeneous two-zone subcritical reactor systems", Nuclear Engineering and Design, Iss. 270, pp. 133-142.
- [6] Sharifi, Sh.; Bagheri, R.; Shirmardi, S. P. (2013), "Comparison of shielding properties for ordinary, barite, serpentine and steel-magnetite concretes using MCNP-4C code and available experimental results", Annals of Nuclear Energy, Iss. 53, pp. 529-534.
- [7] Назаренко І. І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем: навчальний посібник. Вид. 2-е. Київ: Видавничий дім «Слово», 2010. 440 с.

УДК 624.954

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА
ВПРОВАДЖЕННЯМ ПАРАМЕТРИЧНОГО ОБҐРУНТУВАННЯ
ДОВГОВІЧНОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**ENSURE THE RELIABILITY OF CONSTRUCTION OBJECTS BY
IMPLEMENTING THE PARAMETRIC RATIONALE OF THE STRENGTH
OF THE BUILDING COMPOSITE MATERIALS**

*канд. техн. наук О.С. Герасименко¹, канд. техн. наук О.В. Романенко¹,
канд. техн. наук І.В. Подтележнікова², Н.О. Муригіна¹, Ю.О. Баран¹*
¹ Український державний університет залізничного транспорту
² 2G Architekten, Weiden/OPf., (Deutschland)

*Ph.D.(Tech.) O.S. Herasymenko¹, PhD (Tech.) O.V. Romanenko¹,
Ph.D. (Tech.) I.V. Podtelezhnikova², N.O. Murygina¹, Y.O. Baran¹*
¹ Ukrainian State University of Railway Transport
² 2G Architekten, Weiden/OPf., (Deutschland)

Загальнодержавна політика та нормативно-правові документи у сфері будівництва в нашій країні спрямовані на задоволення суспільних потреб щодо

безпеки, надійності та комфортності споруд для життєдіяльності людини та встановлення зрозумілих й таких, що ні як не обмежують вільну конкуренцію та діяльність учасників будівельного бізнесу (виробників будівельної продукції, проєктувальників, підрядників та інших), вимог.

Як свідчить досвід соціально-економічно розвинених країн, такий результат досягається за рахунок чіткого викладення цілей та завдань нормативно-правових документів у сукупності з будівельними нормами й широкого використання вимог, заснованих на параметричних засадах.

Застосування параметричних підходів для системи регулювання будівництва є важливою складовою для забезпечення довговічності, вільного пересування товарів і послуг, заохочення інновації та просування нових технологій.

У 2019 році в Україні були зроблені перші кроки, необхідні для переходу від розпорядчої системи регулювання будівництва до параметричної. Зокрема, прийняті зміни до Закону України «Про будівельні норми» та зареєстровано проєкт Закону України «Про надання будівельної продукції на ринку», який має імплементувати в національне законодавство положення Регламенту (ЄС) № 305/2011 Європейського Парламенту і Ради, яким визначено гармонізовані умови для розміщення на ринку будівельної продукції та скасовано Директиву Рад 89/106/ЄЕС [1]. Разом з тим, рекомендовано зробити наступне:

- прийняти Закон України «Про надання будівельної продукції на ринку»;
- розробити та прийняти розпорядженням Кабінету Міністрів України Концепцію реалізації державної політики з нормативного забезпечення будівництва в Україні на 2020-2023 роки;
- прийняти Програму оновлення будівельних норм із застосуванням параметричного й цільового методів нормування;
- розробити та прийняти базовий нормативний документ щодо складу та змісту будівельних норм, розроблених із застосуванням параметричного методу нормування та інш.

Крім законодавства в системі технічного регулювання ключове місце займають технічні регламенти.

За даними Реєстру технічних регламентів в Україні прийнято 84 регламенти, з них 1 відноситься до регулювання будівельної продукції, а саме «Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд».

Технічні регламенти розробляються, приймаються та застосовуються на основі принципів, установлених Угодою Світової організації торгівлі про технічні бар'єри у торгівлі, що є додатком до Марракеської угоди про заснування Світової організації торгівлі 1994 року.

Світова організація торгівлі (СОТ) відмічає доцільність застосування параметричного підходу при встановленні обов'язкових вимог до продукції.

До параметричних вимог, що визначають експлуатаційні характеристики будівельної продукції, відносяться шість вимог безпеки, встановлені Технічним регламентом будівельних виробів, будівель і споруд: механічний опір та стійкість; пожежна безпека; гігієна, здоров'я та

захист навколишнього середовища; безпека і доступність при експлуатації; захист від шуму та вібрації; енергозбереження та енергоефективність.

Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд розроблений з урахуванням вимог Директиви Ради Європи 89/106/ЄЕС4 від 21.12.1988 про зближення законів, підзаконних актів та адміністративних положень держав-членів стосовно будівельних матеріалів і виробів та затверджено Постановою КМУ від 20 грудня 2006 р. №1764. Цей Регламент визначає основні вимоги до будівельних матеріалів і виробів, будівель і споруд, а також процедури оцінки відповідності виробів установленим вимогам та порядок їх застосування.

[1] Зелена книга. Системний перегляд ефективності державного регулювання. Параметричне нормування у будівництві [Електронний ресурс] / Авторський колектив: Д. Барзилович, І. Лагунова, І. Бардасова, С. Буравченко, А. Нечепорук, О. Медведчук, О. Марушева, В. Колесник. К., 2020. 92 с. Режим доступу: https://cdn.regulation.gov.ua/c6/ba/18/d2/regulation.gov.ua_Parametrychne-normuvannia-Construction.pdf.

УДК 666.972.16

ВПЛИВ МІКРОНАПОВНЮВАЧІВ ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ НА УСАДКОВІ ДЕФОРМАЦІЇ РОЗЧИНІВ ДЛЯ НАЛИВНОЇ ПІДЛОГИ

THE INFLUENCE OF TECHNOGENIC MICROFILLERS ON SHRINKAGE DEFORMATIONS OF SELF-LEVELING FLOOR SOLUTIONS

*канд. техн. наук С.Ю. Шептун¹, аспірант М.А. Кусков¹
¹Державний біотехнологічний університет (м. Харків)*

*Ph.D. (Tech.) S.Yu. Sheptun, Ph.D. (Tech.) M.A. Kuskov
¹State Biotechnological University (Kharkiv)*

До підлог висувають високі вимоги по стійкості до механічного зносу, дії негативних температур, дії агресивних середовищ, усадочних напружень, не допускається відхилення від геометричних розмірів.

Тріщини – це, як правило, наслідок усадки при твердінні бетону. Поява тріщин у верхньому шарі покриття сприяє зниженню довговічності підлоги і погіршенню зовнішнього вигляду [1].

Метою нашого дослідження є зменшення усадкових деформацій розчину сухої будівельної суміші за рахунок використання відходів промисловості. Одночасно ставиться завдання знизити собівартість виробництва сухої будівельної суміші і утилізувати великі поклади промислових відходів.

Випробування на усадку проводилися відповідно до вимог [2, 3].

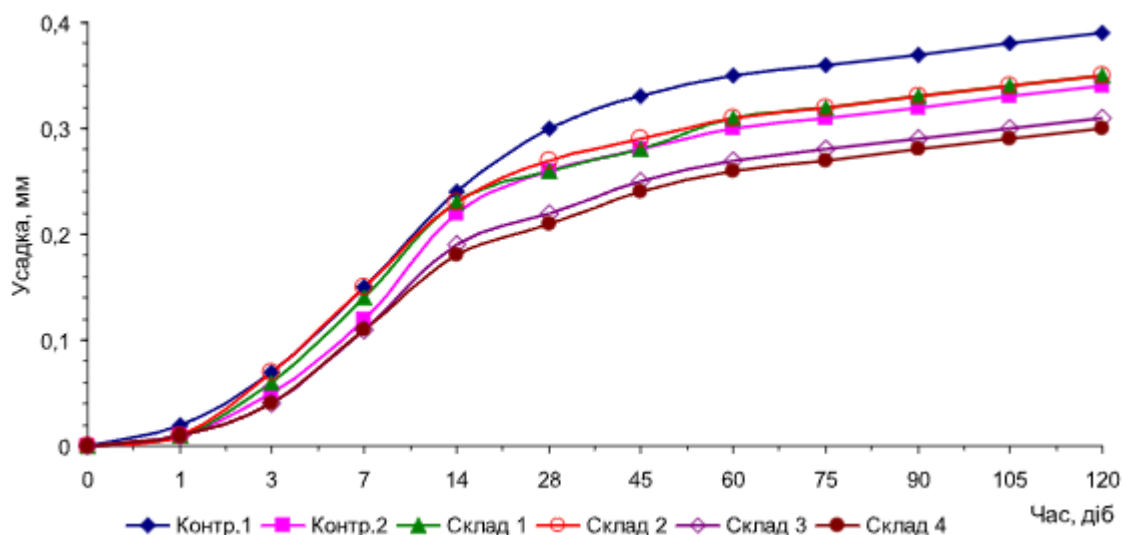
Усадку зразків-призм розмірами 40x40x160 мм вимірювали за допомогою штативних приладів, оснащених індикаторами годинникового типу з ціною

поділки 0,01 мм і 0,002 мм. Випробування проводилися на складах представлених в таблиці 1.

Після зняття опалубки зразки встановлювались в штативи через 24 години після замішування. Випробування були проведені при температурі близько 20⁰С і відносній вологості 75%. Результати випробувань представлені на рисунку 1.

Аналіз результатів дослідження показує, що для всіх досліджуваних складів усадочні деформації стабілізуються до двох місячного віку. Найбільшу усадку має контрольний склад без додавання мікронаповнювачів. При додаванні в якості мікронаповнювача шламу феросплавної промисловості спостерігається 12-13% зниження величини усадки.

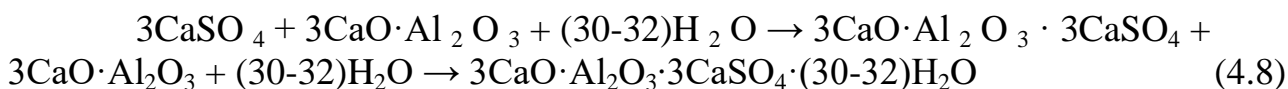
При додаванні до шламу феросплавної промисловості шламу водопом'якшення Харківської ТЕЦ - 5 спостерігається деяке збільшення усадки на 2-3% в порівнянні з зразком зі шламом феросплавної промисловості. При цьому величина усадки зменшується в порівнянні з контрольним зразком №2 на 11-12%. Причини цього явища вимагають подальших досліджень.



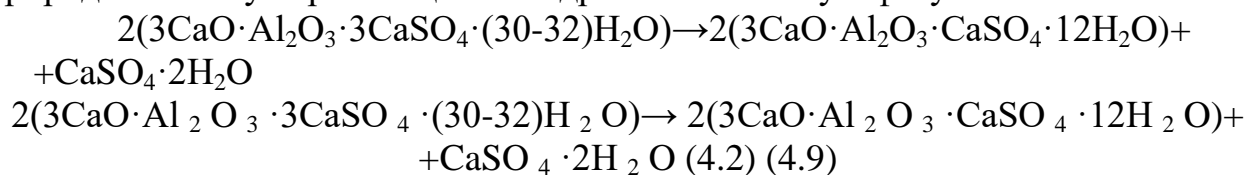
Контр.1: Цемент ПЦ-500, пісок, пластифікатор, целюлоза Vermocoll, редиспергований порошок ELOTEX; Контр.2: як Контр.1 плюс шлам феросплавної промисловості; Склад 1: як Контр.2 плюс 5% шламу ТЕЦ-5; Склад 2: як Контр.2 плюс 10% шламу ТЕЦ-5; Склад 3: як Контр. 2 плюс 5% керамзитового пилу ХКЗ; як Контр. 2 плюс 10% керамзитового пилу ХКЗ.

Рис. 1. Усадкові деформації зразків-балочок

При додаванні до складу керамзитового пилу спостерігається подальше зниження усадки на 25-30% в порівнянні з контрольним зразком. Настільки позитивний ефект можна пояснити підвищенням ущільнення цементної композиції в результаті більш щільної "упаковки частинок" за рахунок різниці електроповерхневих зарядів. У зв'язку з чим зменшується кількість пустот, які займає вода. Також, наявність в складі керамзитового пилу оксиду сірки призводить до утворення гіпсу, який в свою чергу реагує з трикальцієвим алюмінатом:



Внаслідок нестійкості даного комплексу він розкладається з утворенням природного гіпсу і трикальцієвогогідроалюмомоносульфату:



Утворений гідромоносульфоалюмінат кальцію має властивість збільшуватися в об'ємі, чим зменшує усадку.

[1] Усов Б. А. Хімія і технологія цементу. Київ, Інфра-М, 2019. 158с.

[2] Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови [Текст]: ДСТУ Б В.2.7-126-2011 / Розробники: І. Руденко, П. Айзман [та ін.]. – На заміну ДСТУ П Б В.2.7-126:2006; чин. від 2011 р. - К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України 2011. – 51 с.

[3] Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення деформацій усадки та повзучості [Текст]: ДСТУ Б В.2.7-216:2009 / Розробники: А. Бамбурда, М. Безбожна. – На заміну ГОСТ 24544-81; чин. від 22.12.2009 р. - К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 41 с.

УДК 691.32

PERSPECTIVE FOR CREATING GRADIENT CONCRETE FOR ELECTROCORROSION-RESISTANT PRODUCTS AND STRUCTURES

PhD student, Y. Zhenhua¹, Dr. Sc., D. Plugin¹, Dr. hab. I. Rusu²

¹*Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

²*Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova)*

A large number of reinforced concrete products and structures are operated on the railways of the world, in particular in Ukraine and China. As a result of mechanical, electrical, temperature, and other aggressive influences associated with the operation of railway transport, reinforced concrete structures undergo intensive wear and tear, and their bearing capacity decreases. On electrified sections of railways, corrosion damage to reinforced concrete structures, cracking, and deformation occur more intensively than on non-electrified sections. Electrical leakage currents can lead not only to accelerated leaching of concrete, but also to the formation of cracks caused by electrocorrosion of steel reinforcement.

Passive protection of reinforced concrete constructions, buildings and structures of electrified direct current rail transport is ensured by certain methods, namely: using a concrete grade with a water resistance of at least W6; excluding the use of concrete with additives that reduce the electrical resistance of concrete, and for prestressed structures reinforced with steel - chloride salts, nitrates and nitrites; by specifying the thickness of the protective layer of concrete over any reinforcement at least 20 mm, and for catenary network supports and foundations of supports at least 16 mm; by limiting the crack opening width to no more than 0.1 mm for prestressed structures and no more than 0.2 mm for conventional structures. These methods, given the

purpose and operating conditions of reinforced concrete structures, are not always rational both from the point of view of their strength and rigidity, and the technological efficiency of their production. Active (electrochemical) protection also requires significant costs for its installation and maintenance.

At the same time, in recent years, the approach to creating products and structures from gradient materials, the properties of which change according to the volume of the product or structure by various technological techniques, has been increasingly used. The implementation of this approach to the specified products and constructions of transport structures that are exposed to leakage currents and stray currents, in particular, increasing the electrical conductivity of concrete in local areas, will significantly increase the electrocorrosion resistance of products and structures as a whole and, consequently, their resource and durability.

Thus, research aimed at creating gradient concrete for electrocorrosion-resistant products and structures is relevant.

- [1] Bertolini L., Carsana M., Pedferri P. Corrosion behaviour of steel in concrete in the presence of stray current. *Corrosion Science*, **49** (2007) pp 1056–1068.
- [2] Liu Y-C, Chang E, Shyu J and Chen X 2015 Dynamic analysis of the leakage current corrosion for the non-grounded DC railway systems *International Journal of Electrical Energy* **3(4)** pp 257–261.
- [3] Chen Z and Koleva D 2021 Corrosion behavior of reinforcing steel undergoing stray current and anodic polarization. *Materials* **14(2)** 261
- [4] Плугін О.А., Борзяк О.С., Мартинова В.Б., Халюшев О.К. Електричні впливи на бетон (електрообробка та захист від електрокорозії бетонів, виробів і конструкцій із них). Харків: Форт, 2013. 300 с
- [5] Плугін Д.А. Розвиток теорії електрокорозії обводнених конструкцій і розробка електрокорозійностійких матеріалів і способів захисту : автореф. дис. ...д-ра техн. наук : 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби / Дмитро Артурович Плугін ; Укр. держ. акад. залізн. трансп. - Харків, 2014. - 47 с.
- [6] Pluhin, O.A., Plugin, A.M., Nesterenko, S.G., Plugin, D.A., Savchenko, O.M. Polymer-cement mortar for protection of buildings against electrical influences *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, **708(1)**, 012101.
- [7] Plugin A.A., Borziak O.S., Pluhin O.A., Krykun O.P. and Zinchenko V.V. 2023 Development of ideas about electrical corrosion of railway track structures and improvement of their protection methods using electrically conductive compositions *Collected scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport* **204** pp 35–52.
- [8] Wen X.-D., Ma B.-G., Gan W.-Z., Xian Z.-W. Design and research on gradient structure concrete based on volumetric stabilization *ACI Materials Journal* **107(6)**: 611-616.
- [9] Wen X.D., Zhao L., Dong B. Design, Preparation and Property Evaluation of Gradient Structure Concrete Members *Journal of Highway and Transportation Research and Development*. 2017, 34(7): 53-59.

ОСОБЛИВОСТІ ВЛАШТУВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ НА ПІДТОПЛЕНИХ І ПОТЕНЦІЙНО ПІДТОПЛЮВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

FEATURES OF FOUNDATION ARRANGEMENT IN FLOODED AND POTENTIALLY FLOODED TERRITORIES

*к.т.н., О.І. Бондаренко¹, к.г.-м.н. Г.Г. Стріжельчик¹, к.т.н. І.В. Храпатова¹,
асп. Є.П. Василенко¹, асп. О.Є. Ляпін¹*

*¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М.
Бекетова, Україна*

*PhD (Tech.) O.I. Bondarenko¹, PhD (Geol.) G.G. Strizhelchik¹,
PhD (Tech.) Iryna Khrapatova¹, postgraduate student E.P.
Vasylenko¹, postgraduate student O.E. Liapin¹*

¹O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

В останні роки у зв'язку зі збільшенням глибини закладення фундаментів при будівництві підземних паркінгів та захисних укриттів частішали випадки розкриття котлованами несподівано перезволожених ґрунтів м'якопластичної та пластичної консистенції [1]. Це призводить до необхідності коригування проекту в частині інженерної підготовки ґрунтової основи фундаментів.

Аналіз причин виникнення таких умов, проведення геотехнічних досліджень та подальший моніторинг стану ґрунтів, дозволяють дати рекомендації щодо підвищення несучої здатності ґрунтової основи [2].

Рівень ґрунтових вод у добре проникних ґрунтах встановлюється у свердловинах глибиною до 12 м протягом декількох годин після проходки свердловини. У слабопроникних ґрунтах для цього потрібно не менше доби.

Оцінити потенційну підтоплюваність території можна за різницею вологості в підшві та покрівлі ґрунтового шару. Значна різниця означає, що навіть за незначної зміни природних умов (тривала перерва у будівельних роботах після відривки котловану) може з'явитися водоносний горизонт типу «верховодки».

При появі води під впливом порового тиску і дії води, що зважає, а так само відсутності тиску видаленого ґрунту на дно котловану, відбувається розущільнення і спучування ґрунтів, причому водозниження не знімає цю проблему. Такий процес відбувається і в глинистих і піщаних ґрунтах, але в різній мірі. Причому параметри цих змін дуже великі від 15-25 до 15-10 см.

У різних випадках інженерна підготовка основ фундаментів повинна проводитись різними методами [3]. Найефективніший спосіб - це влаштування щелевих подушок, поєднаних із пластовим дренажем. Але через значні глибини котлованів і відсутність можливості самопливного відведення дренажної води далеко не завжди це можливо.

На ділянках, де основи складені дрібними і пилюватими пісками, супісками та суглинками м'якопластичної та пластичної консистенції ефективна двошарова щебенева подушка, ущільнена без вібраційної дії при укочуванні. Штампові випробування подушки товщиною 30 см (нижній шар із фракції щебеню 20-40 мм, верхній шар 10-20 мм) в інтервалі навантажень 0,1-0,3 МПа показали модуль деформації 8-10 МПа, що є достатнім для малоповерхових споруд (рис. 1).



Рис. 1. Штампові випробування подушки товщиною 30 см

Для багатоповерхових споруд також можна застосовували двошарову щебенева подушку товщиною 50 см: нижній шар – фракція 40-70 мм, верхній шар – 20-40 мм. Модуль деформації такої подушки після ущільнення становив 20-25 МПа.

Можна відзначити, що результати розрахунків осадки багатоповерхових будівель і подальші спостереження за осіданнями показали близькі значення, 22 см і 23 см, але тривалість осідання склала більше року через наявність у нижній частині ґрунтової основи шару слабопроникних глин.

На даному етапі досліджень можна дійти висновку, що малоповерхові заглиблені споруди можна будувати на щебених подушок до 30 см товщиною, оскільки маса вийнятого ґрунту можна порівняти з тиском по підшві фундаментів. Осадка споруд, навіть на слабких ґрунтах, практично не відбувається – після ущільнення ґрунт під подушкам досягає практично природної щільності і при цьому з'являється ще вторинне зчеплення.

Треба відзначити важливу роль, яку виконують щебениві подушки в зоні сезонних коливань рівня ґрунтової води і на територіях, що потенційно підтоплюються - подушка сприяє рівномірному розподілу напруг, пов'язаних з підйомом рівня ґрунтової води.

[1] Егупов В.Ю. Особенности инженерно-геологических и гидрогеологических условий подтопленных территорий города Харькова / Егупов В.Ю., Бондаренко А.И., И.В. Храпатова // Науковий вісник будівництва, Х.: ХНУБА, 2013. №73. С. 237 – 241.

[2] ДБН В.1.1-45:2017 Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення. К: Мінрегіон України. 2017. 35 с.

[3] ДБН В.1.1-25-2009 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення. К: Мінрегіонбуд України. 2010.