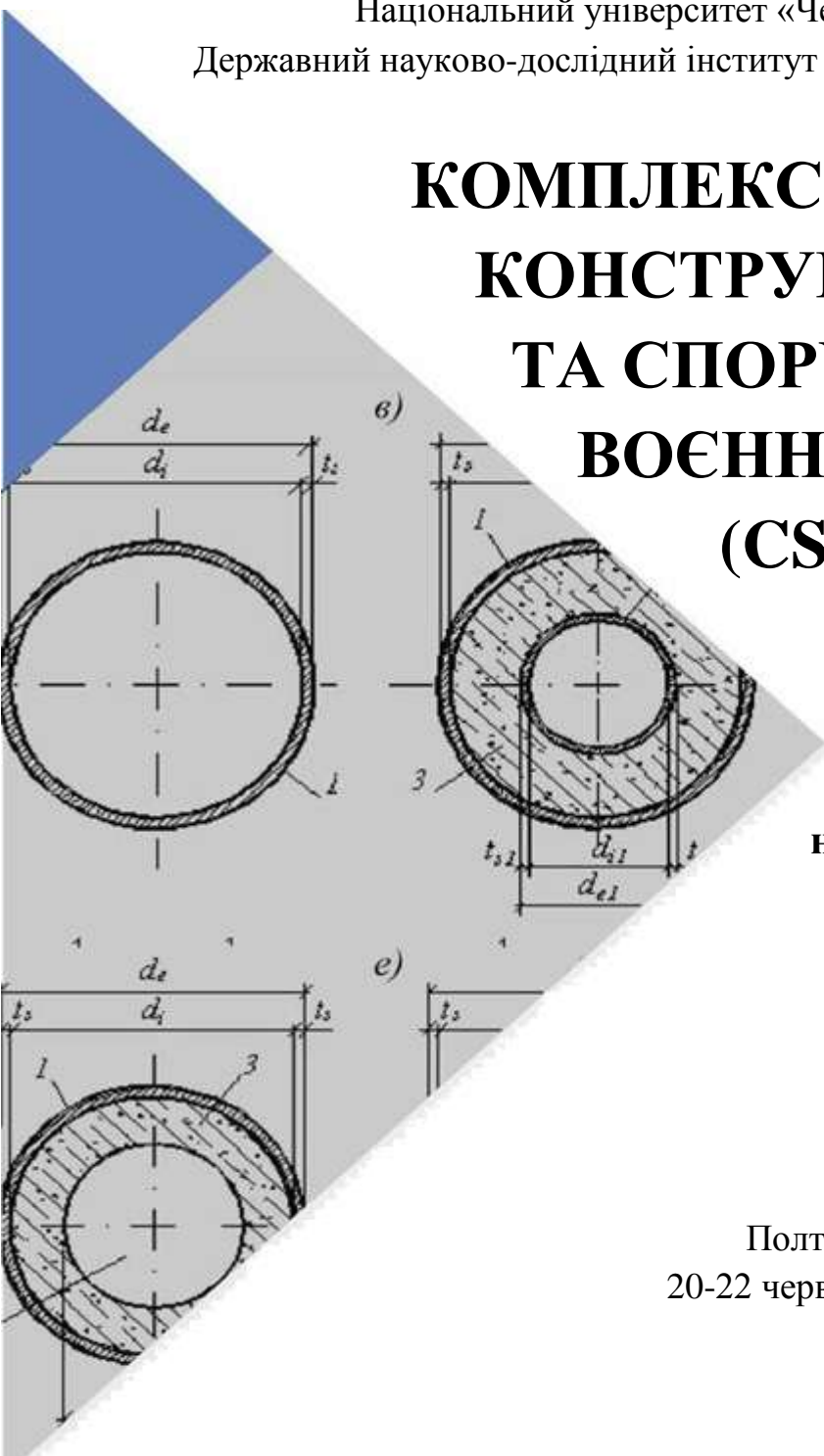


Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Білостоцький технологічний університет, Польща  
Університет прикладних наук, м. Любек, Німеччина  
Університет North, Хорватія  
Азербайджанський університет архітектури та будівництва, Азербайджан  
Національний університет «Львівська Політехніка»  
Криворізький технічний університет  
Національний авіаційний університет  
Національний університет водного господарства та природокористування  
Український державний університет залізничного транспорту  
Національний університет «Чернігівська політехніка»  
Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій (НДІБК)

# КОМПЛЕКСНІ КОМПОЗИТНІ КОНСТРУКЦІЇ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ (CSCS-2022)

Збірник наукових праць  
за матеріалами  
XIV Міжнародної  
науково-технічної конференції

Полтава,  
20-22 червня 2022 року



**Комплексні композитні конструкції будівель та споруд в умовах воєнного стану (CSCS-2022) // Зб. наук. пр. за матеріалами XIV Міжнародної науково-технічної конференції – Полтава: НУПП імені Юрія Кондратюка, 2022. – 154 с.**

*У збірнику опубліковані роботи з дослідження сталезалізобетонних і залізобетонних конструкцій та матеріалів для них, які були включені в програму чотирнадцятої науково-технічної конференції «Комплексні композитні конструкції будівель та споруд в умовах воєнного стану (CSCS-2022)» (червень 2022 року, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»). Тези подано в авторському оригіналі українською чи англійською мовами.*

*Призначений для наукових та інженерно-технічних працівників, які працюють в галузі будівництва.*

#### Редакційна колегія

***С.Ф.Пічугін, докт. техн. наук, проф.***  
***О.В.Семко, докт. техн. наук, проф.***  
***Є.М.Бабич, докт. техн. наук, проф.***  
***А.М.Бамбура, докт. техн. наук, проф.***  
***О.І. Лапенко, докт. техн. наук, проф.***  
***Д.А.Єрмоленко, докт. техн. наук, проф.***  
***Є.В. Клименко, докт. техн. наук, проф.***  
***Ю.Л. Винников, докт. техн. наук, проф.***  
***Г.І. Шарий, докт. економ. наук, проф.***

Адреси редакційної колегії:

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,  
Першотравневий просп., 24, м. Полтава.

У збірнику представлені матеріали чотирнадцятої наукової конференції, що присвячена 90-річчю від дня народження лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки, доктора технічних наук, професора Стороженка Леоніда Івановича (1932-2021). Метою конференції є обговорення проблем та перспектив розвитку сталезалізобетонних конструкцій, їх дослідження та впровадження в практику як нового будівництва, так і відновлення елементів конструкцій будівель та споруд, постраждалих внаслідок збройної агресії російської федерації проти України; підготовки фахівців та наукових кадрів.

Будівельна наука інтенсивно розвивається, особливо в напрямку пошуку нових матеріалів, будівельних конструкцій та технологій. Це призводить до появи принципово нових конструктивних рішень, які відповідали б високим вимогам сучасного будівництва.

Серед інших нових напрямків у сучасному будівництві слід відмітити активний розвиток створення, дослідження, проектування та будівництва сталезалізобетонних конструкцій. Сутністю цих прогресивних конструкцій є те, що в них для раціональної сумісної роботи поєднані різноманітні сталеві прокатні й гнуті профілі та армований бетон. При цьому повністю розкриваються та використовуються при їх експлуатації позитивні якості як сталевих, так і залізобетонних конструкцій.

Особливо яскраво розкриваються переваги комплексних конструкцій в трубобетоні. Приведені приклади комплексних сталезалізобетонних балок, в яких чітко розмежована залізобетонна й сталева складові за принципом раціональної їхньої роботи. Цікавими є матеріали, що присвячені просторовим конструкціям зі сталезалізобетону. Приділена необхідна увага як сучасним новим будівельним матеріалам, так і раціональним областям їх використання. Особливо актуальними є представлені в збірнику матеріали з урахуванням введення в дію нового ДБН щодо проектування сталезалізобетонних конструкцій. Цікавими є доповіді, що присвячені результатам дослідження будівельних конструкцій при реконструкції та підсиленні.

Збірник розрахований на наукових та інженерно-технічних працівників будівельної галузі, а також; на всіх, хто цікавиться сучасним станом дослідження, проектування та будівництва сучасних сталезалізобетонних конструкцій.

ЗМІСТ

**СЕКЦІЯ №1. ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ, БУДІВНИЦТВО ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**

<b>Берестянська Світлана, Галагура Євгеній, Кравців Лариса, Ковальов Максим</b> ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ, ПЛАНУВАННЯ ТА ПІДГОТОВКА ДО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОПЕРЕДНЬО НАГРІТИХ ФІБРОБЕТОННИХ КУБИКІВ .....	8
<b>Галінська Тетяна, Овсій Дмитро</b> УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ НА ЗГИН СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ .....	11
<b>Гасенко Антон</b> НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕННЯ САМОНАПРУЖЕНИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ .....	15
<b>Гасенко Антон, Дарієнко Віктор, Бутенко Анатолій</b> ВПЛИВ ПОШКОДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОЇ ШИРИНИ БЕТОННИХ ПОЛИЦЬ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ САМОНАПРУЖЕНОГО СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ .....	18
<b>Gasii Grygorii, Nasii Olena, Hudz Serhiy</b> TECHNICAL AND ECONOMIC PREREQUISITES FOR THE COMBINED STEEL AND CONCRETE STRUCTURES DEVELOPMENT .....	21
<b>Горб Олександр, Митрофанов Павло</b> ЗАСТОСУВАННЯ АКРИЛОВИХ ПОЛІМЕРІВ В СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТІЙКАХ З ПРОФІЛЬОВАНИМ АРМУВАННЯМ .....	24
<b>Гукасян Ольга, Демченко Оксана</b> ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДЕФЕКТІВ БЕТОННОГО ОСЕРДЯ НА МІЦНІСТЬ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ .....	28
<b>Дмитренко Андрій, Дмитренко Тетяна</b> ВУЗЛОВЕ З'ЄДНАННЯ МОНОЛІТНОГО ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ З ТРУБОБЕТОННИМИ КОЛОНАМИ .....	32
<b>Лапенко Олександр, Табаркевич Наталія, Табаркевич Олег</b> СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ ПЕРЕКРИТТЯ З ПРИХОВАНИМИ БАЛКАМИ У БУДІВЛЯХ АЕРОПОРТІВ .....	34
<b>Павліков Андрій, Гарькава Ольга</b> КОЕФІЦІЄНТ ЗМІЦНЕННЯ БЕТОНУ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ..	37
<b>Пенц Володимир, Кириченко Володимир</b> СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ .....	40

<b>Семко Олександр, Дроботя Олександр</b> КЛАСИФІКАЦІЯ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ З ХОЛОДНОФОРМОВАНИХ СТАЛЕВИХ ПРОФІЛІВ ЗА УМОВАМИ ЗЧЕПЛЕННЯ ЇХ СКЛАДОВИХ .....	44
<b>Семко Олександр, Магас Наталія, Гасенко Антон, Філоненко Олена, Авраменко Юрій</b> СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ ПІДСИЛЕННІ ПОШКОДЖЕНИХ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ .....	46
<b>Семко Олександр, Юрін Олег, Авраменко Юрій, Галінська Тетяна, Зигун Аліна Магас Наталія</b> СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ РЕМОНТІ ВІДКРИТИХ СПОРТИВНИХ СПОРУД .....	50
<b>Сіробаба Віталій, Третяк Андрій</b> ЛЕГКІ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ ПАНЕЛІ ПЕРЕКРИТТЯ .....	53
<b>Шевченко Анна, Угненко Євгенія, Шевченко Олександр, Шарий Григорій</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ МАТЕРІАЛІВ СТАЛЕБЕТОННИХ КРУГЛИХ ПЛИТ .....	55

***СЕКЦІЯ №2. НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН  
І НАДІЙНІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ***

<b>Гусєв Віталій, Нікіфорова Тетяна</b> ТЕХНОЛОГІЯ 3D – ДРУКУ У БУДІВНИЦТВІ. КОНЦЕПТУАЛЬНА СХЕМА ПЕРЕТВОРЕННЯ 3D – МОДЕЛІ ВИРОБУ В КЕРУЮЧИЙ КОД ДЛЯ 3D – ПРИНТЕРУ .....	59
<b>Карпюк Ірина, Кліменко Євгеній, Карпюк Василь, Глібоцький Роман, Постернак Олександр</b> ЗАСТОСУВАННЯ ФІБРО АРМОВАНИХ ПЛАСТИКІВ ДЛЯ ПІДСИЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ ПРОГІННИХ КОНСТРУКЦІЙ .....	62
<b>Карюк Алла, Ільченко Володимир, Міщенко Роман</b> АНАЛІЗ РОЗМЕЖУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ НА ТЕМПЕРАТУРНІ ЗОНИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬ .....	67
<b>Клименко Євгеній, Максюта Олена</b> РОБОТА ДВОТАВРОВИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН, ПОШКОДЖЕНИХ В ХОДІ БОЙОВИХ ДІЙ .....	69
<b>Кузнєцова Ірина, Довженко Оксана, Погрібний Володимир</b> АНАЛІЗ ХАРАКТЕРУ РУЙНУВАННЯ ФІБРОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ МІСЦЕВОМУ СТИСНЕННІ .....	72

<b>Махінько Антон, Махінько Наталія, Воронцов Олег</b> НАДІЙНІСТЬ ТА БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЄМНОСТЕЙ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА .....	75
<b>Микитенко Сергій</b> ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН БЕЗКАПІТЕЛЬНО- БЕЗБАЛКОВОГО КАРКАСУ .....	78
<b>Митрофанов Павло</b> АНАЛІЗ ТА АЛГОРИТМІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	81
<b>Назаренко Іван, Нестеренко Микола, Нестеренко Тетяна, Ведмідь Василь</b> ЛАБОРАТОРНИЙ ВІБРОМАЙДАНЧИК ЗІ ЗМІННО НАПРАВЛЕНИМИ КОЛИВАННЯМИ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ .....	84
<b>Нестеренко Світлана, Міщенко Роман</b> НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ АНТЕН GNSS- СТАНЦІЙ .....	87
<b>Пашинський Микола, Пашинський Віктор</b> ДО ВИБОРУ СПОСОБУ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РАЙОНУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ .....	90
<b>Pavlikov Andrii, Harkava Olha, Atebemoh Kelvis</b> USE OF THE DESIGN REINFORCED CONCRETE STRENGTH IN SOLVING PRACTICAL STRENGTH PROBLEMS .....	93
<b>Pichugin Sergiy, Klochko Lina</b> ALGORITHM FOR MODELING POSSIBLE FAILURES AT THE CONSTRUCTION SITE .....	96
<b>Пічугін Сергій, Оксененко Катерина</b> РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ СТАЛЕВИХ СИЛОСІВ .....	99
<b>Погрібний Володимир, Довженко Оксана, Усенко Дмитро</b> МІЦНІСТЬ КАМ'ЯНОЇ КЛАДКИ ПРИ ОСЬОВОМУ СТИСНЕННІ .....	102
<b>Погрібний Володимир, Довженко Оксана, Швайковський Володимир</b> ОПІР БЕТОННОГО КЛИНУ ПРИ ЗРІЗІ НАД НЕБЕЗПЕЧНОЮ ПОХИЛОЮ ТРИЩИНОЮ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ .....	105
<b>Руденко Віктор, Земцов Роман, Ільченко Тетяна</b> УНІФІКАЦІЯ І ТИПІЗАЦІЯ В АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ. ПЕРЕВАГИ. НЕДОЛІКИ. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ	109
<b>Слюсар Володимир</b> ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ БАШТОВИХ КРАНІВ .....	111
<b>Sukhanova Svetlana, Vyrovoy Valeriy, Sukhanov Volodymyr</b> THE ABILITY OF EXISTING TO EXIST .....	113

<b>Фенко Олексій</b> ВИЗНАЧЕННЯ ПОЧАТКОВОГО МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ СКЛОПЛАСТИКУ ЕКСТРАПОЛЯЦІЙНИМ МЕТОДОМ .....	115
<b>Firsov Pavlo, Kaafarani Bachar Ali</b> EXPERIMENTAL EVALUATION OF MODIFIED COMPOSITE REINFORCEMENT ADHESION WITH CONCRETE IN BENT ELEMENTS .....	117
<b>Firsov Pavlo, Kosenko Kostyantín</b> RESEARCH OF BEARING CAPACITY OF BRICK COLUMNS, REINFORCED WITH COMPOSITE FIBERGLASS MESH .....	120
<b>Чайка Ольга, Павліков Андрій</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЗРАЗКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КЛАДКИ КАМ'ЯНИХ СТОВПІВ НА КОСИЙ СТИСК .....	123
<b>Шарій Григорій, Ільченко Тетяна</b> БУДІВНИЧІ АСПЕКТИ ГЕОПОЛІТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ УКРАЇНИ .....	126
<b>Шимановський Олександр, Гоголь Мирон, Сидорак Дмитро</b> ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ КОМБІНОВАНИХ СТАЛЕВИХ ФЕРМ НОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ .....	129

***СЕКЦІЯ №3. СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ  
В ГЕОТЕХНІЦІ ТА ЦИВІЛЬНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ***

<b>Корзаченко Микола</b> ЗБЕРЕЖЕННЯ ІСТОРИЧНИХ ПІДЗЕМНИХ КОМПЛЕКСІВ .....	132
<b>Винников Юрій, Раздуй Роман, Аніскін Олексій</b> АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ОСІДАНЬ ҐРУНТОЦЕМЕНТНИХ ОСНОВ НА ПРИКЛАДІ ЛОТКОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ .....	135
<b>Винников Юрій, Харченко Максим, Акопян Мкртіч</b> ПРАКТИКА УЛАШТУВАННЯ КОТЛОВАНУ ПОРУЧ З ІСНУЮЧОЮ ЗАБУДОВОЮ .....	139

***СЕКЦІЯ №4. АРХІТЕКТУРНА ТА ЛІТЕРАТУРНА  
СПАДЩИНА ЛЕОНІДА СТОРОЖЕНКА***

<b>Семко Олександр</b> СТОРОЖЕНКО Л.І. – ФУНДАТОР ВІТЧИЗНЯНОЇ ШКОЛИ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОНУ .....	143
<b>Пічугін Сергій</b> ЛЕОНІД ІВАНОВИЧ СТОРОЖЕНКО – ВИДАТНА БАГАТОГРАННА ЛЮДИНА .....	146
<b>Шарій Григорій</b> «КОЛЮЧІ ЗЕРНА» ЛЕОНІДА СТОРОЖЕНКА .....	150

## СЕКЦІЯ №1. ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ, БУДІВНИЦТВО ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

УДК 691.322

*Берестянська Світлана, к.т.н., доцент, каф. будівельної механіки та гідравліки, ORCID: 0000-0002-4111-3138, e-mail: s.berestyanskaya@gmail.com.*

*Галагура Євгеній, к.т.н., доцент, каф. будівельної механіки та гідравліки, ORCID: 0000-0002-3075-8651, e-mail: evgeniygalagurya@gmail.com*

*Кравців Лариса, к.т.н., доцент, каф. будівельної механіки та гідравліки, ORCID: 0000-0003-4632-6148, e-mail: Laura\_Kravtsiv@ukr.net*

*Ковальов Максим, к.т.н., доцент, каф. будівельної механіки та гідравліки, ORCID: 0000-0003-2104-3061, e-mail: maks\_kov@ukr.net*

*Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, Харків, Україна, 61050.*

### ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ, ПЛАНУВАННЯ ТА ПІДГОТОВКА ДО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОПЕРЕДНЬО НАГРІТИХ ФІБРОБЕТОННИХ КУБИКІВ

*Анотація.* У статті проведено аналіз останніх публікацій по впливу фібрового армування на міцнісні і деформативні характеристики фібробетонів і зроблено висновок про недостатню вивченість впливу температури на механічні властивості матеріалу. Проведено планування експерименту в якому визначено необхідну кількість зразків. Нвведено склад бетонної суміші, технологія виготовлення зразків, а також освітлено і обгрунтовано підготовку зразків до випробувань.

*Ключові слова:* фібробетон, бетонна матриця, температурний вплив, експериментальні дослідження.

*Berestianskaya Svetlana, PhD (Tech). Assoc. Prof., department of structural mechanics and hydraulics, ORCID: 0000-0002-4111-3138, e-mail: s.berestyanskaya@gmail.com*

*Galagurya Evgeniy, PhD (Tech). Assoc. Prof., department of structural mechanics and hydraulics, ORCID: 0000-0002-3075-8651, e-mail: evgeniygalagurya@gmail.com*

*Kravtsiv Larysa, PhD (Tech). Assoc. Prof., department of structural mechanics and hydraulics, ORCID: 0000-0003-4632-6148, e-mail: Laura\_Kravtsiv@ukr.net*

*Kovalov Maksym, PhD (Tech). Assoc. Prof., department of structural mechanics and hydraulics, ORCID: 0000-0003-2104-3061 e-mail: maks\_kov@ukr.net*

*Ukrainian State University of Railway Transport, Feuerbach Square, 7, Kharkiv, Ukraine, 61050.*

### JUSTIFICATION OF SUITABILITY, PLANNING AND PREPARATION FOR EXPERIMENTAL RESEARCH OF PRE-HEATED FIBER CONCRETE CUBES

*Abstract.* The article analyzes the latest publications on the effect of fiber reinforcement on the strength and deformability characteristics of fiber concrete and concludes that the study of the effect of temperature on the mechanical properties of the material is insufficient. The planning of the experiment was carried out in which the required number of samples was determined. The composition of the concrete mixture, the technology of sample production, as well as the preparation of samples for testing are clarified and substantiated.

*Key words:* fiber-reinforced concrete, concrete matrix, high temperature influence, experimental studies.



Останнім часом до будівельних матеріалів застосовуються більш вибагливі умови. 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. Рівномірне розповсюдження фібри по об'єму бетонної матриці забезпечує її тримірне зміцнення. При цьому властивості фібробетону залежать від виду самої фібри, її вмісту у бетонній матриці та розмірів [1, с.24; 2, с 37].

За останній час багатьма авторами проведені експериментальні дослідження, які показують вплив різних характеристик фібри на міцнісні та деформативні характеристики фібробетону при різних видах деформацій. [3, с.157; 4; 5, с.83; 6; 7, с.69]. Наряду з цим, існує недостатність методів розрахунку таких матеріалів на різні впливи, а саме 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.

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 було виконано планування експерименту. 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 [3, с.157; 4; 5, с.83; 6; 7, с.69]. 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 (сталеві фібра, базальтова фібра і контрольний бетонний зразок без фібри). Властивості зразків будемо визначати для наступних температур: 20°C, 60°C, 90°C, 120°C, 200°C, 400°C, 600°C, 800°C. Планування експерименту показало, що необхідно виготовити 72 кубика: 24 – зі сталевією фіброю, 24 – з базальтовою і 24 – без фібри [8].

Марка бетону і відповідно склад бетонної суміші розраховано для класу С 20/25, а саме; портландцемент М 400 – 437,5 кг/м<sup>3</sup>, щебінь фракції 5-10 мм - 1158.12 кг/м<sup>3</sup>, пісок річний - 552.6 кг/м<sup>3</sup>, вода - 210 л/м<sup>3</sup> (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 [7, с.69; 8, ; 9, с.104], де зроблено висновки о раціональних параметрах фібрового армування для базальтової і сталевією фібри. Для виготовлення зразків використано: базальтову фібру довжиною 12 мм, яка додавалась у кількості 0,2% від маси цементу; сталеву фібру «Чілябінка» додавали у кількості 32,536 кг/м<sup>3</sup> бетону [10, с.102]. 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 фіброю (серія КББ), зі сталевією фіброю (серія КСБ) та контрольна серія без додавання фібри (КОБ). Кожна серія складалась з 24 кубиків. До відповідних температур нагрівалось по три кубика. Нагрів здійснювався в муфельній 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 застосована у відповідності до [12]. Всі зразки було промаркіровано.

### 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 проведене планування експерименту, яке дозволило визначити необхідну кількість зразків для випробування. Розраховано склад бетонної суміші, ретельно описана технологія виготовлення зразків, описано і обгрунтовано методику підготовки зразків до випробувань.

### *Література*

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. Попов С.В., Брагинский В.Г. О результатах использования волокна армирующего полипропиленового в качестве фибры для изготовления бетонов Вісник Донбаської ДАБА. 2005. Вип.1(49). С.35-38.
3. Васильовская, Н. Г. Енджиевской И.Г. Калугин И.Г. Цементные композиции дисперсно-армированные базальтовой фиброй. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. Вип. 3. С. 153-158.
4. Талантова, К. В. Строительные конструкции с заданными свойствами на основе сталефибробетона: дис.... д-ра техн. наук : 05.23.01/ Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. Барнаул, 2009. 189 с.
5. Бугаевский, С. А. Методы возведения каркасных систем нового типа Вестник Харьковского национального автомобильного университета. 2012. Вып. 58. С. 78–84.
6. Пухаренко, Ю. В. Научные и практические основы формирования структуры и свойства фибробетонов : дис....д-ра техн. наук : 05.23.05 / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Санкт-Петербург, 2004. 316 с.
7. Веревицева М.А., Берестянская А.А., Дериземля С.В. Выбор рациональных параметров фибрового армирования. Строительство, материаловедение, машиностроение. 2015. Вып. 82. С. 60-69.
8. Vatulia 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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).
12. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций при пожаре. Москва : Стройиздат, 1986. 225 с.

УДК 624.016

*Галінська Тетяна, к.т.н., доцент,  
ORCID: 0000-0002-6138-2757, e-mail: Galinska@i.ua,  
Овсій Дмитро, аспірант,  
ORCID: 0000-0001-7007-1857, e-mail: mr.ovseey@gmail.com,  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ НА ЗГИН СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

*Анотація.* У науковій роботі представлена узагальнююча аналітична модель розрахунку міцності на згин сталезалізобетонних балкових елементів (СЗББЕ), яка дозволяє проектувати їх раціонально (з мінімальними витратами) з урахуванням їх конструктивних обмежень, таких як: проектування конструкцій, виходячи з виду навантажень, що діють на них, і формування (типуння) випадку їх граничного напружено-деформованого стану (НДС) залежно від визначених граничних критеріїв руйнування їх компонентів.

*Ключові слова:* сталезалізобетонний балковий елемент, міцність на згин.

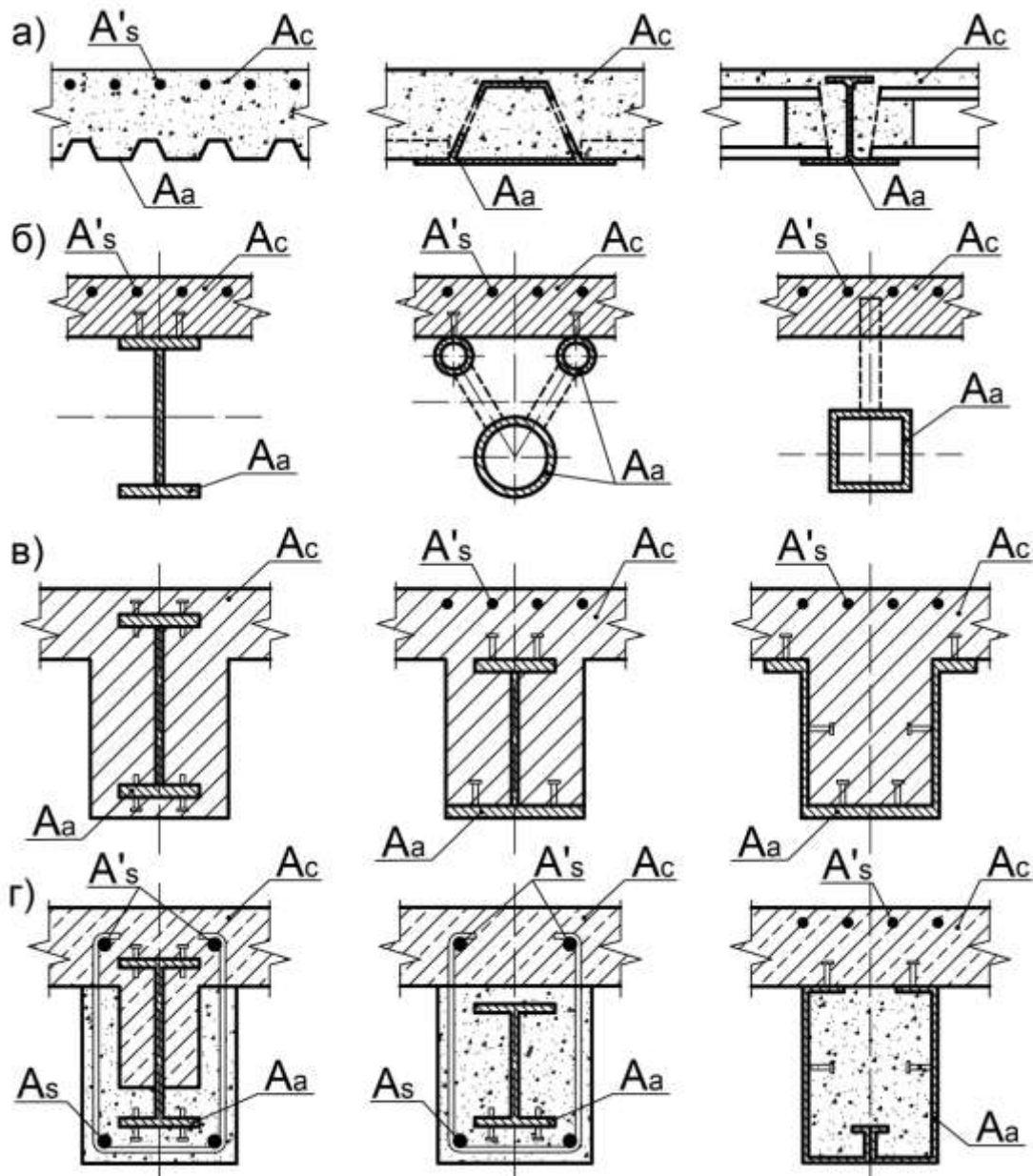
*Galinska Tetiana, Phd, Senior Researcher,  
ORCID: 0000-0002-6138-2757, e-mail: Galinska@i.ua,  
Ovsii Dmytro, postgraduate student,  
ORCID: 0000-0001-7007-1857, e-mail: mr.ovseey@gmail.com,  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

## **IMPROVEMENT OF THE METHOD OF CALCULATION BENDING STRENGTH STEEL-REINFORCED-CONCRETE BEAM ELEMENTS**

*Abstract.* The scientific work presents a generalized analytical model for calculating the bending strength of steel-reinforced concrete beam elements, which allows them to be rationally (at minimal cost) designed taking into account their design limitations, such as: designing structures according to the type of loads acting on them and formation (typing) of a variant of their limiting stress-strain state, depending on the limiting criteria for the destruction of their components.

*Keywords:* steel-reinforced concrete beam element, bending strength.

Композитні елементи із залізобетону та сталевих армувань можна поділити на чотири типи: комбіновані плити армовані сталевим профілем чи зовнішньою листовою або профільованою опалубкою (рис. 1,а); комбінація залізобетонних плит та сталевих профілів, що об'єднанні в один тавровий, прямокутний чи інший переріз (рис. 1,б); композитні елементи із сталевих профілів у бетонній оболонці, також відомі як залізобетонні елементи з жорстким армуванням (рис. 1,в); збірно-монолітні композитні елементи із зовнішньої збірної сталевий чи сталезалізобетонної опалубки, що заповнена бетоном (рис. 1,г). Композитний сталезалізобетонний елемент, який об'єднаний в один переріз для сумісної роботи за допомогою спеціальних упорів чи інших з'єднувальних елементів зчеплення, дозволяє ефективно використовувати характеристики конструкційної сталі та залізобетону і забезпечує конструктивне рішення для елементів, що вимагають високої міцності та пластичності.



**Рис. 1 - Перерізи сталезалізобетонних балкових елементів (СЗББЕ):**  
 а – комбіновані плити; б – комбіновані балки; в – залізобетонні балки з жорстким армуванням; г – збірно-монолітні балки

Діючі на сьогодні положення розрахунків міцності на згин СЗББЕ [1, 2] не є узагальненими та базуються на спрощених аналітичних моделях (методиках), які не повністю ототожнюють залежність їх несучої здатності з НДС у момент руйнування, що призводить до переармування окремих їх перерізів, тобто до використання властивостей міцності конструктивної металевої складової не в повному обсязі.

Авторами статті в роботах [3, 4, 5, 6, 7] запропонована узагальнююча аналітична модель розрахунку міцності на згин СЗББЕ з різними типами конструктивних рішень їх перерізу, в основу якої покладена нова концепція, що впроваджує в практику метод граничних деформацій, який дозволив наблизити розрахунок їх максимальної несучої здатності з урахуванням їх реального напружено-деформованого стану в момент руйнування.

Загальна методика розрахунку міцності на згин СЗББЕ базується на наступних передумовах, які є спільними для всіх їх конструктивних рішень при забезпеченні зчеплення між їх компонентами: бетоном і конструкційним сталевим профілем:

- в СЗББЕ за рахунок сил зчеплення між бетоном і поверхнею сталюого профілю проявляються максимальні композитні властивості, тобто відносні деформації бетону в стисненій зоні по висоті нормального перерізу і в розтягненій його зоні на ділянках між тріщинами рівні ( $\varepsilon_c = \varepsilon_a$ ;  $\varepsilon_c' = \varepsilon_a'$ );
- на граничній стадії деформування розподіл відносних деформацій компонентів в СЗББЕ по висоті його розрахункового перерізу здійснюється за лінійними залежностями, тобто підтверджується гіпотеза плоских перерізів;
- нормальне зосереджене зусилля в стисненій зоні бетону перерізу СЗББЕ визначаємо за методикою Єврокод 4 [8], яка була розроблена Джеймсом Дж. Мак Грегором і Джеймсом К. Уайтом;
- урахування армування бетонного перерізу в стисненій і розтягненій зонах розрахункового перерізу СЗББЕ здійснюємо за методикою, що запропонована авторами в роботі [9];
- розрахунок міцності на згин СЗББЕ здійснюється на основі трьох випадків НДС розрахункової деформаційної моделі з використанням критеріїв появи граничного стану, які викладені нижче, і діаграм стану матеріалів. Основним критерієм появи граничного стану в розрахунковому перерізі СЗББЕ є екстремальний критерій досягнення деформаціями стисненого бетону граничних значень ( $\varepsilon_{cu}$ ), при якому несуча здатність елемента буде максимальною ( $M_{max}$ ).

В результаті узагальнення було виділено три окремі випадки напружено-деформованого стану (НДС) розрахункового перерізу СЗББЕ на стадії його руйнування чи при граничному стані залежно від положення в ньому нейтральної вісі по відношенню до бетонного перерізу і сталюого профілю:

- випадок “а”: коли в крайньому верхньому волокні стиснутої бетонної ділянки перерізу відносні деформації бетону ( $\varepsilon_b$ ) досягають величини граничних деформацій стиску ( $\varepsilon_b = \varepsilon_{cu}$ ), а в крайньому нижньому волокні, що розтягується, відносні деформації сталюого профілю ( $\varepsilon_a$ ) змінюються у межах  $\varepsilon_a > \varepsilon_{au}$ , тобто існує зона пластичних деформацій;
- випадок “б”: коли відносні деформації бетону досягають величини  $\varepsilon_b = \varepsilon_{cu}$ , а відносні деформації сталюого профілю величини  $\varepsilon_a = \varepsilon_{au}$ ;
- випадок “в”: коли відносні деформації бетону досягають величини  $\varepsilon_b = \varepsilon_{cu}$ , а відносні деформації сталюого профілю змінюються у межах  $\varepsilon_a < \varepsilon_{au}$ .

На першому етапі розрахунку міцності на згин СЗББЕ при заданих величинах  $\varepsilon_{au}$ ;  $\varepsilon_{cu}$ ;  $E_c$ ;  $E_a$ ;  $f_{cd}$ ;  $f_y$ ;  $A_c$ ;  $A_a$  за залежністю  $\alpha_a \mu > \alpha_a \mu_{onm}$  визначаємо випадок напружено-деформованого стану (НДС) розрахункового перерізу СЗББЕ. Якщо умова задовольняється, то тоді НДС в розрахунковому перерізі СЗББЕ відповідає НДС за випадком “в”, а якщо ні – то НДС за випадком “а”. При умові  $\alpha_a \mu = \alpha_a \mu_{onm}$  – НДС перерізу СЗББЕ відповідає безпосередньо НДС за випадком “б”.

На другому етапі розрахунку міцності на згин СЗББЕ визначається положення нейтральної горизонтальної вісі в його розрахунковому перерізі та по відношенню до перерізу сталюого профілю.

На третьому етапі розрахунку складаємо рівняння рівноваги згинальних моментів відносно нейтральної горизонтальної лінії розрахункового перерізу СЗББЕ з урахуванням визначеного випадку НДС. Визначаємо граничне значення параметру згинального моменту ( $M_u$ ) в ньому і порівнюємо його з діючим у ньому моментом ( $M$ ) від зовнішніх навантажень за умовою міцності на згин:  $M_u \geq M$ .

**Висновок.** У науковій роботі представлена узагальнююча аналітична модель розрахунку міцності на згин сталезалізобетонних балкових елементів, яка дозволяє проектувати їх раціонально (з мінімальними витратами) з урахуванням їх конструктивних обмежень, таких як: проектування конструкцій, виходячи з виду навантажень, що діють на них, і формування (типування) випадку їх граничного напружено-деформованого стану залежно від визначених граничних критеріїв руйнування їх компонентів.

#### **Література**

1. Галінська Т.А. Про недоліки сучасної методики розрахунку міцності сталобетонних згинальних елементів на основі деформаційної моделі / Т.А. Галінська, Д.М. Овсій // Тези 69-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету. Том 1. – Полтава: ПолтНТУ, 2017. – С. 121-122.
2. Галінська Т.А. Аналітичні моделі розрахунку міцності на згин сталезалізобетонних елементів в бетонній оболонці згідно норм проектування провідних держав / Т.А. Галінська, Д.М. Овсій, О.М. Овсій // Тези 74-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Том 1. (Полтава, 25 квітня – 21 травня 2022 р.) – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2022. – С. 173-174.
3. Galinska T. The combining technique of calculating the sections of reinforced concrete bending elements normal to its longitudinal axis, based on the deformation model / T. Galinska, D. Ovsii, M. Ovsii // International Journal of Engineering and Technology (UAE), 2018. 7 (3). pp. 123-127. Режим доступу до статті: <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/download/14387/5818>
4. Galinska T., Ovsii D., Ovsii A. (2022) Flexural Strength of Steel-Reinforced Concrete Composite Structural Span Elements. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 181. pp 131-145. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_13)
5. Galinska T., Ovsii D., Ovsii A. (2020) Flexural strength of span steel-reinforced concrete truss composite structures / Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering.– 2(55)' 2020.- pp. 26-34. <https://doi.org/10.26906/znp.2020.55.2338>
6. Галінська Т.А. Підбір оптимального армування нормального прямокутного перерізу сталезалізобетонних балок на основі деформаційної моделі / Т.А. Галінська, Д.М. Овсій // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 149. – С.106-112.
7. Галінська Т.А. Підбір оптимального армування нормального перерізу сталезалізобетонних балок з бетонною верхньою полицею на основі деформаційної моделі / Т.А. Галінська, Д.М. Овсій // Вісник СНАУ. Серія: Будівництво. – Суми: СНАУ, 2014. – Вип.10(18). – С.80-84.
8. EN 1994-1-1:2004. Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN, European Committee for Standardisation, Brussels, 2004. – 118 p.
9. Kochkarev D., Galinska T. (2017) Calculation methodology of reinforced concrete elements based on calculated resistance of reinforced concrete / MATEC Web of Conferences 116, 02020/ (2017). pp. 1-9.

УДК 624.012.46:624.046.5

*Гасенко Антон, к.т.н., доцент, докторант кафедри будівництва та цивільної інженерії  
ORCID: 0000-0003-1045-8077, e-mail: gasentk@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕННЯ САМОНАПРУЖЕНИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Анотація.** Робота стосується галузі будівництва, зокрема проектування елементів несучого каркасу громадських чи виробничих будівель. Раціонально підібране поєднання сталевих прокатних профілів із залізобетоном зі стрижневим армуванням, утворюючи таким чином сталезалізобетонні конструкції, дозволяє підвищити їх несучу здатність. Однією із переваг застосування сталезалізобетону є можливість створення за допомогою нього нерозрізних статично невизначених розрахункових схем, що мають значно вищий рівень живучості за статично визначені схеми. Створення початкових напружень у будівельних конструкціях від їх власної ваги значно спрощує процес попереднього напруження за рахунок непотрібності витрат на додаткові заходи та пристосування. Попередні напруження в елементах будівельних конструкцій створені таким чином в даній роботі прийнято називати «самонапруження».

**Ключові слова:** попередні напруження, сталезалізобетонні конструкції.

*Hasenko Anton, PhD, Associate professor,  
doctoral student of the Department of Construction and Civil Engineering  
ORCID: 0000-0003-1045-8077, e-mail: gasentk@gmail.com  
National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

## RESEARCH AREAS OF SELF-STRESSED STEEL REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

**Abstract.** The work concerns the field of construction, in particular the design of load-bearing elements of public or industrial buildings. Rationally selected combination of rolled steel profiles with reinforced concrete with rod reinforcement, thus forming steel reinforced concrete structures, allows to increase their load-bearing capacity. One of the advantages of using steel reinforced concrete is the ability to create continuous statically indeterminate calculation schemes that have a much higher level of survivability than statically defined schemes. Creating initial stresses in building structures from their own weight greatly simplifies the process of prestressing due to the unnecessary cost of additional measures and adaptations. Prestressing in the elements of building structures created in this way in this work is called "self-stress".

**Keywords:** pre-stresses, steel reinforced concrete structures.

**Вступ.** Сучасне будівництво наразі охоплює як нові, так і невідкладно необхідні відновлювальні, викликані воєнними діями, роботи на об'єктах громадської чи виробничої інфраструктури України. Відповідно, будівництво потребує економічних несучих конструкцій із високим рівнем надійності, живучості та ремонтпридатності. Перерахованим вимогам відповідають сталезалізобетонні конструкції.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сталезалізобетон є одним із ефективних типів комплексних конструктивних елементів [1]. Як відомо, він поєднує сталеві прокатні профілі із залізобетоном зі стрижневим армуванням. Такі конструкції створюються як під час нового проектування, так і під час підсилення пошкоджених залізобетонних конструкцій сталевим прокатом, а сталевих обетонуванням [2]. Під час підсилення актуальним питання є забезпечення сумісної роботи існуючої конструкції з елементами підсилення та створення попередніх напружень в елементах підсилення.

Однією із переваг застосування сталезалізобетону є можливість створення за допомогою нього нерозрізних статично невизначених розрахункових схем, що мають значно

вищий рівень живучості за статично визначені схеми [3]. Ця перевага дозволяє регулювати напружено-деформований стан, покращити несучу здатність й жорсткість будівельної системи та, як результат, зекономити матеріали на експлуатаційні навантаження і підвищити їх надійність під час аварійних навантажень викликаних впливами техногенного характеру. Перерозподіл зусиль в статично невизначених системах при надексплуатаційних навантаженнях техногенного характеру призводить до суттєвих непружних деформацій, викликаних утворенням і розвитком тріщин у розтягнутій зоні бетону, порушенням зчеплення сталевих прокату з бетоном, повзучістю бетону тощо. Тому, при розрахунку на такі навантаження, доцільно враховувати пластичні характеристики як сталі, так і бетону, та штучно перерозподіляти і регулювати зусилля в них.

Попереднє напруження є одним із основних шляхів підвищення ефективності несучих конструкцій. Наприклад, збільшуючи тріщиностійкість залізобетонних конструкцій, воно забезпечує можливість перекриття великих прольотів тощо. Проте попередньо напружені конструкції, що випускаються підприємствами будівельної індустрії, дуже енергоємні, що в умовах сучасного ринку з дефіцитом енергоресурсів обумовлює їхню високу вартість [4; 5].

**Виділення невирішеної раніше частини проблеми.** Створення початкових напружень у будівельних конструкціях від їх власної ваги значно спрощує процес попереднього напруження за рахунок непотрібності витрат на додаткові заходи та пристосування. Так, попередні напруження в цьому випадку можливо створити за рахунок вдало підібраних розмірів вузлів чи спеціально розробленої технології виготовлення чи попередньої укрупнювальної збірки будівельних конструкцій. Створені попередні напруження в елементах будівельних конструкцій за такою методикою в даній роботі далі називатимуться «самонапруження» [6–8].

Таким чином, проблема створення попередніх самонапружень у сталезалізобетонних конструкціях та розроблення теоретичного апарату їх врахування в початкових умовах розрахунку, є **актуальною задачею, що й є темою роботи**. Вона має теоретичне значення і практичне застосування при проектуванні несучих конструкцій будівель і споруд, таких як колон, балок, плит перекриття тощо.

Для досягнення мети роботи сформульовані **основні напрями дослідження самонапружених сталезалізобетонних конструкцій**:

- визначити та науково обґрунтувати основні напрямки удосконалення сталезалізобетонних конструкцій шляхом створення попередніх напружень від їх власної ваги чи спеціально розробленої технології попередньої укрупнювальної збірки для регулювання їх напружено-деформованого стану (виконати класифікацію самонапружених сталезалізобетонних конструкцій) [6];
- сформулювати переваги та науково довести доцільність застосування й рівень ресурсоощадності самонапружених сталезалізобетонних конструкцій;
- окреслити інженерно-конструкторські методи й заходи, в тому числі за даними вітчизняних та зарубіжних дослідників, створення попередніх самонапружень в елементах сталезалізобетонних конструкцій;
- узагальнити та розвинути метод врахування в початкових умовах розрахунку різних рівнів напружень на основі деформаційної моделі із врахуванням повних діаграм роботи матеріалів елементів комбінованого сталезалізобетонного перерізу (наприклад, в сталевій стрижневій чи бетонній площинній частинах перерізу сталезалізобетонного перекриття); розробити узагальнену розрахункову і математичну моделі комбінованих сталезалізобетонних конструкцій з врахуванням фактичної деформованої схеми;
- розробити методику виготовлення, провести експериментальні й натурні випробування на статичні силові впливи та виявити особливості напружено-деформованого стану самонапружених від власної ваги й технології виготовлення,



за допомогою якої створюють попередні вигини, сталезалізобетонних конструкцій на прикладі ділянки сталезалізобетонного перекриття [7];

- розробити методику виготовлення, провести експериментальні випробування на статичні силові впливи та виявити особливості напружено-деформованого стану самонапружених від власної ваги й конструктивних рішень, за допомогою якої створюють розвантажуючі опорні моменти, сталезалізобетонних конструкцій на прикладі трикутної залізобетонної арки покриття із сталеву затяжкою [8];
- розробити пропозиції щодо методики чисельного моделювання роботи самонапружених сталезалізобетонних конструкцій із врахуванням різних рівнів початкового напружено-деформованого стану їх конструктивних складових;
- довести ефективність та можливість створення самонапружених сталезалізобетонних конструкцій шляхом їх впровадження при новому будівництві, а також при підсиленні конструкцій із дефектами чи пошкодженнями.

**Висновки.** Перерозподіл зусиль у самонапружених сталезалізобетонних конструкціях, що виникає на етапах їх виготовлення, монтажу та експлуатації, дозволяє ефективно регулювати внутрішні зусилля та деформації у перерізах на всіх вказаних етапах роботи цих конструкцій. Сформульовані напрями дослідження дозволяють провести комплексний аналіз напружено-деформованого стану самонапружених сталезалізобетонних конструкцій починаючи із етапу їх виготовлення.

#### Література

1. Стороженко Л. І., Сурдін В. М., Єфіменко В. І., Вербицький В. І. *Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація : монографія. Кривий Ріг, 2007. 448 с.*
2. Пат. 26462 Україна, МПК (2006) E 04 G 23/00. *Спосіб підсилення сталевих стиснутих елементів обетонюванням із наступним обтисненням бетону / заявники Семко О.В., Гасенко А.В. ; власник Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № и 2007 04651 ; заявл. 26.04.07 ; опубл. 25.09.07, Бюл. № 15. – 4 с.*
3. Гоголь М.В. *Регулювання напружень у сталевих комбінованих конструкціях: монографія. К: вид-во «Сталь», 2018. 222 с.*
4. Чеканович М. Г. *Труبوبетонні конструкції, зміцнені поздовжнім попереднім обтиском. Зб. наук. пр. Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Галузеве машинобудування, будівництво. Полтава, 2014. Вип. 3(1). С. 221–226.*
5. Vatulia G. L., Lobiak O. V., Deryzemlia S. V., Verevicheva M. A., Orel Y. F. *Rationalization of cross-sections of the composite reinforced concrete span structure of bridges with a monolithic reinforced concrete roadway slab. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019.*
6. Semko O.V., Hasenko A.V. *Classification of self-stressed steel-concrete composite structures: Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. Lecture Notes in Civil Engineering (LNCE, volume 181). Book Subtitle ICBI 2022 Pages: 367–374.*
7. Hasenko A.V. *Deformability of bends continuous three-span preliminary self-stressed steel concrete slabs: Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. Poltava, 2021. Issue 1 (56) 2021. P. 135–141. DOI: <https://doi.org/10.26906/znp.2021.56.XXXX>*
8. Semko O.V., Hasenko A.V., Fenko O.G., J Godwin Emmanuel B. Arch., Dariienko V.V. *Architectural and constructive decisions of a triangular reinforced concrete arch with a self-stressed steel brace: Зб. наук. пр.: Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Кропивницький: КНТУ, 2020. Вип. 3(34). С. 209–217. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).209-217](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).209-217)*

УДК 624.016

*Гасенко Антон, к.т.н., доцент, докторант кафедри будівництва та цивільної інженерії  
ORCID: 0000-0003-1045-8077, e-mail: gasentk@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

*Дарієнко Віктор, к.т.н., доцент кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва  
ORCID: 0000-0001-9023-6030, e-mail: vvdarienko@gmail.com  
Центральноукраїнський національний технічний університет*

*Бутенко Анатолій, аспірант кафедри геотехніки, підземних та гідротехнічних споруд  
ORCID: 0000-0002-5642-983X, e-mail: butenkoanatoliy@gmail.com  
Харківський національний університет будівництва та архітектури*

## **ВПЛИВ ПОШКОДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОЇ ШИРИНИ БЕТОННИХ ПОЛИЦЬ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ САМОНАПРУЖЕНОГО СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ**

***Анотація.** Робота стосується проектування міжповерхових сталезалізобетонних перекриттів громадських чи виробничих будівель. В них несучими є сталеві балки по яких влаштовується монолітне залізобетонне перекриття. Несуча здатність за згинальним моментом сталевої балки з залізобетонною плитою визначалася згідно з ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1:2010 за спрощеним методом по критерію вичерпання міцності з ідеалізованим пластичним розподілом напружень. При цьому між конструкційною сталлю, арматурою та бетоном передбачена повна взаємодія. За вказаною методикою визначена несуча здатність перекриття в залежності від фактичної ефективної ширини бетонної полиці.*

***Ключові слова:** перекриття, сталезалізобетонні конструкції, ширина бетонних полиць.*

*Hasenko Anton, PhD, Associate professor, doctoral student of the Department of Construction and Civil Engineering, ORCID: 0000-0003-1045-8077, e-mail: gasentk@gmail.com  
National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

*Dariienko Victor, PhD, Associate professor of the Department of construction, road machinery and building, ORCID: 0000-0001-9023-6030, e-mail: vvdarienko@gmail.com  
Central Ukrainian National Technical University*

*Butenko Anatolii, postgraduate student, Department of Geotechnics, Underground and Hydraulic Structures, ORCID: 0000-0002-5642-983X, e-mail: butenkoanatoliy@gmail.com  
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture*

## **EFFECT OF DAMAGE TO THE EFFECTIVE WIDTH OF CONCRETE SHELVES ON THE BEARING CAPACITY OF SELF-STRESSED STEEL REINFORCED CONCRETE FLOOR**

***Abstract.** The work concerns the field of construction, in particular the design of steel reinforced concrete interflow floors of public or industrial buildings. Here the load-bearing ones are steel beams on which a monolithic reinforced concrete floor is arranged. The bending load capacity of the steel beam with a reinforced concrete plate was determined in accordance with DSTU-N B EN 1994-1-1:2010 by a simplified method on the criterion of depletion of strength with idealized plastic stress distribution. At the same time, full interaction is provided between structural steel, reinforcement and concrete. According to this method, the load-bearing capacity of the floor is determined depending on the actual effective width of the concrete shelf.*

***Keywords:** floors, reinforced concrete structures, width of concrete shelves.*

**Вступ.** Під час нового будівництва, а також капітального ремонту будівель громадського чи промислового призначення все частіше застосовуються сталезалізобетонні перекриття [1]. Зусилля розтягу в таких перекриттях сприймає сталеві частина, і виключається можливість її місцевої втрати стійкості. Зусилля стиску сприймає бетонна частина.

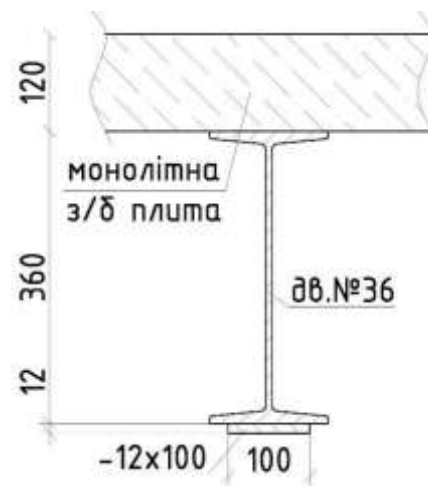
**Виділення невирішеної раніше частини проблеми.** У разі пошкодження бетонної полочки (див. рис. 1), наприклад в результаті техногенних впливів під час воєнних дій на частковій території України, цікавим є вплив зменшення стиснутої бетонної частини перерізу на його загальну несучу здатність.

Таким чином, дослідження впливу зменшення в результаті техногенних навантажень стиснутої бетонної частини перерізу на загальну несучу здатність сталезалізобетонного перекриття є **актуальною задачею, що й є темою роботи.**

**Виклад основного матеріалу.** Вихідними даними до розрахунку є наступні геометричні та фізико-механічні характеристики складових комбінованого сталезалізобетонного перерізу (див. рис. 2). Сталева несуча балка – прокатний двотавр №36 із сталі класу міцності С245 ( $f_{yd} = 240$  МПа;  $E_s = 210\,000$  МПа) із підсиленою нижньою полочкою полосною 12×100 мм. Крок балок – 3 м. Товщина монолітної залізобетонної плити – 120 мм. З метою порівняння впливу застосовано п'ять класів бетону плити: С 8/10, С 12/15, С 16/20, С 20/25 і С 25/30 ( $f_{cd} = 6$  МПа; 8,5 МПа; 11,5 МПа; 14,5 МПа і 17 МПа відповідно). Плита влаштовується по тимчасовій знімній опалубці із дерев'яних щитів, що демонтується через 28 діб після дня бетонування. Під сталеві балки встановлюються додаткові тимчасові стійки на період бетонування та набору бетоном монолітної полочки проектної міцності. Встановленням вказаних тимчасових стійок як під сталеві балки, так і під монолітну бетонну плиту, забезпечують сприйняття навантаження на плиту з перших етапів, включаючи власну вагу монолітної плити, що можна назвати «самонапруженням» сталезалізобетонного перекриття.



**Рис. 1 – Пошкодження бетонної полочки сталезалізобетонного перекриття**



**Рис. 2 – Геометрія комбінованого сталезалізобетонного перерізу**

Так як розрахунковий сталезалізобетонний поперечний переріз відноситься до класу 1 або 2 і не має попереднього напруження канатами, що згідно ДБН В.2.6-160 допускає використання пружно-пластичної теорії, то несуча здатність за згинальним моменту сталезалізобетонної балки з бетонною плитою може бути визначена згідно з ДСТУ-Н Б EN 1994-1-1 за спрощеним методом по критерію вичерпання міцності з ідеалізованим пластичним розподілом напружень [2, п.4.2.4].

При розрахунку за спрощеним методом прийняті наступні припущення [2, п.4.2.5]:

- між конструкційною сталлю, арматурою та бетоном є повна взаємодія [3];
- напруження у розрахунковому поперечному перерізі сталевому елементу досягають свого розрахункового значення межі текучості  $f_{yd}$  при розтягу або стиску;
- напруження у поздовжній арматурі в розрахунковому поперечному перерізі досягають свого розрахункового значення межі текучості  $f_{sd}$ ;
- напруження в стиснутому бетоні у розрахунковому поперечному перерізі досягають значення  $0,85f_{cd}$  і приймаються постійними по всій висоті між нейтральною віссю в пластичній стадії і найбільш стиснутими волокнами бетону.

Для перерізів сталевих балок із монолітною залізобетонною плитою по них, що задовольняють умовам використання спрощеного методу, несуча здатність визначалася за типовим розподілом напружень у пластичній стадії, який залежить від положення умовної нейтральної вісі, що визначається із умов рівноваги внутрішніх зусиль. Результати визначення несучої здатності перекриття в залежності від прийнятої в розрахунку ширини  $b_{eff}$  пошкодженої бетонної полицки показані на рисунку 3. Максимальне значення робочої ширини полиць визначено згідно п. 5.3.2.1 ДБН В.2.6-98:2009.

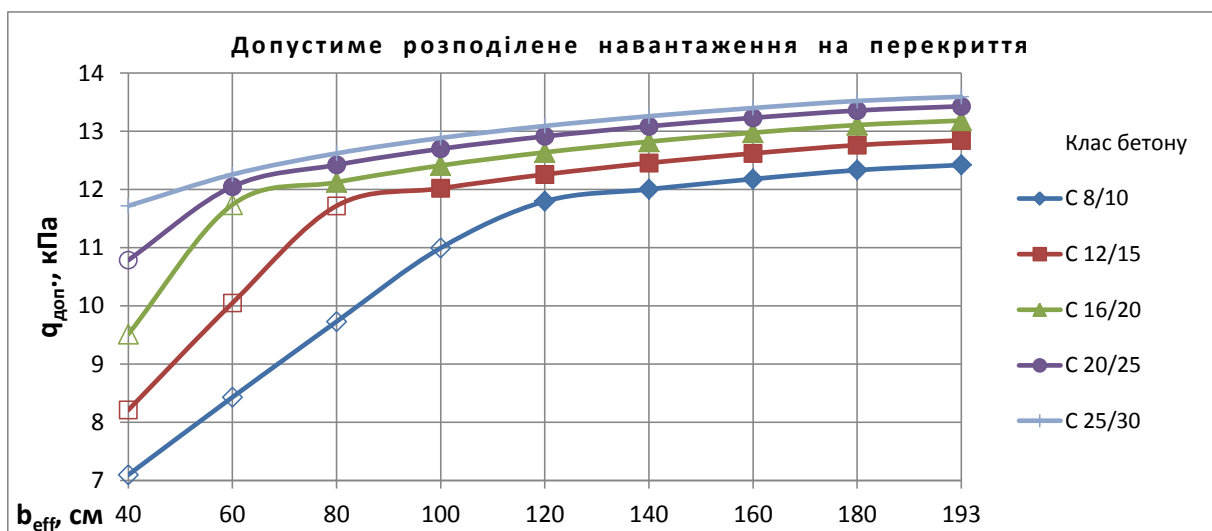


Рис. 3 – Залежність впливу ширини  $b_{eff}$  пошкодженої бетонної полицки на загальну несучу здатність сталезалізобетонного перекриття

**Висновки.** Клас бетону монолітної плити має значний вплив на загальну несучу здатність сталезалізобетонного перекриття: при зменшенні ширини полицки із  $b_{eff} = 193$  см до 40 см для бетону класу С 8/10 несуча здатність зменшується на 42,7%; для бетону класу С 25/30 – на 14%. При цьому руйнування по бетонній полицці відбувається при значенні ширини плити менше 117 см для бетону класу С 8/10 і менше 39 см для бетону класу С 25/30.

#### Література

1. Стороженко Л. І., Єфіменко В. І., Семко О. В. Сталезалізобетонні конструкції. К.: Четверта хвиля, 1997. 158 с.
2. ДСТУ Б В.2.6-215:2016. Розрахунок і конструювання сталезалізобетонних конструкцій з плитами по профільованим настилам. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 71 с.
3. Семко О.В., Гасенко А.В., Дарієнко В.В., Богуш О.І. Поєднання сталеві та бетонної частин сталезалізобетонних конструкцій за допомогою анкерів системи Nelson. Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. Серія: Технічні науки та архітектура. Харків : ХНАМГ, 2011. Вип. 97. С. 77 – 82.

UDC 624

**Gasii Grygorii**, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor  
ORCID: 0000-0002-1492-0460, e-mail: [gasiigm@gmail.com](mailto:gasiigm@gmail.com)  
National Aviation University

**Hasii Olena**, Ph.D., Associate Professor  
ORCID 0000-0002-5116-0448, e-mail: [o.v.hasii@gmail.com](mailto:o.v.hasii@gmail.com)  
Poltava University of Economics and Trade

**Hudz Serhiy**, Ph.D., Associate Professor,  
ORCID: 0000-0002-4764-8635, e-mail: [goods.sergiy@gmail.com](mailto:goods.sergiy@gmail.com)  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

## TECHNICAL AND ECONOMIC PREREQUISITES FOR THE COMBINED STEEL AND CONCRETE STRUCTURES DEVELOPMENT

**Abstract.** The development of combined steel and concrete structures is considered. The development of combined steel and concrete structures, which covers more than 20 years of research, is justified by high-quality technical and economic indicators obtained as a result of theoretical research and numerous experimental studies as well as comparative analyzes of resource costs for construction.

**Keywords:** composite steel and concrete structures, designing, technical and economic efficiency.

**Гасій Григорій**, д.т.н., доцент,  
ORCID: 0000-0002-1492-0460, e-mail: [gasiigm@gmail.com](mailto:gasiigm@gmail.com)  
Національний авіаційний університет

**Гасій Олена**, к.е.н., доцент  
ORCID 0000-0002-5116-0448, e-mail: [o.v.hasii@gmail.com](mailto:o.v.hasii@gmail.com)  
Полтавський університет економіки і торгівлі

**Гудзь Сергій**, к.т.н., доцент,  
ORCID: 0000-0002-4764-8635, e-mail: [goods.sergiy@gmail.com](mailto:goods.sergiy@gmail.com)  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗВИТКУ КОМБІНОВАНИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Анотація.** Розглядається розвиток сталезалізобетонних структурних конструкцій. Розвиток комбінованих сталезалізобетонних конструкцій, який охоплює понад 20 років досліджень обумовлений якісними техніко-економічними показниками, отриманих в результаті теоретичних вишукувань та проведених численних експериментальних досліджень, а також порівняльних аналізів витрат ресурсів на зведення.

**Ключові слова:** сталезалізобетонні конструкції, розвиток, техніко-економічна ефективність.

Combined steel and concrete structures combine the advantages of hanging, structural, and reinforced concrete structures. A distinctive feature that distinguishes the combined steel and

concrete structures among others of a separate type is its design concept. The structure of the structure allows you to make the most of the strength properties of building materials.

Obtaining the design was preceded by lengthy work to find ways to combine different types of elements and improve existing design solutions. The dynamics and stages of development of spatial reinforced concrete structural-cable structures can be represented by stages. The current investigation is going to the fourth stage – the investigation of a new way to connect elements of structures. The previous three stages were finished successfully.

The first stage of development of structures. The first step in strengthening the beliefs and intentions to create a new type of structure and the first stage of their development was to obtain general information about the features, advantages, and disadvantages of existing structures buildings and structures for various purposes, which are discussed in detail in the author's papers. The structures that attracted attention are spatial [6] and reinforced concrete structures. Given the requirements for modern building structures, among the variety of design solutions for these types of structures, the most promising are cable systems, reinforced concrete, and structural slabs.

Combined steel and concrete structures due to the combination of strength properties of concrete and steel are rigid and have a high load-bearing capacity. In addition, the principle of using materials is implemented in such constructions. Recently, combined steel and concrete structures, among other types of structures, are undergoing the most frequent modifications and improvements of cross-sections and design solutions. With this in mind, their field of application is constantly expanding. Combined steel and concrete structures are also effectively used for the construction of load-bearing spatial systems, in particular coatings, which is confirmed by the results of the review of existing spatial reinforced concrete coatings and their research. Examples of such structures are combined steel and concrete structures, their design, and the results of experimental studies, which were also taken into account in the development of new spatial load-bearing systems.

The advantages of structural slabs include spatial work; the ability to redistribute internal efforts; resistance to local damage and dynamic loads. At the same time, such constructions are relatively light, allow them to cover significant spans, and have architectural expressiveness, and their elements work on axial compressive and tensile forces, which undoubtedly contributes to the rational use of materials.

Regarding cable structures, it should be noted that they have similar advantages as structural ones, namely: low weight; ability to block significant spans; the work of elements on axial forces, in particular tensile, which is even better, because of the issues of their stability in the design can be neglected.

After analyzing the experience of application, the results of experimental and theoretical studies, and the features of such structures, it was concluded that they should be improved to create new and effective combinations of structural elements.

The second stage of creating structures. Improving the existing design solutions and finding alternative ways to combine the load-bearing elements formed the second stage of the development of the modern steel and concrete composite cable space frames [1]. At this stage, in addition to direct attempts to invent a new way to combine structural elements and their relative position in space, main attention was paid to the analysis of the shortcomings of the structures and finding ways to solve them.

The primary task in creating a new structure by improving the existing ones was to solve a common problem for several considered structures, which was the excessive complexity of the connection nodes. The urgency of solving this problem is also because the load-bearing capacity of the nodes determines the load-bearing capacity of the structure as a whole. In combined steel and concrete structures, such a problem is the need to use a variety of anchors in the cross-sections of concrete and steel parts, and this generally complicates and complicates the design. Occasionally, to ensure the joint work of concrete and steel elements in combined steel and concrete structures, it is necessary to use steel profiles, in particular I-beams, to which anchors are attached by welding, which contributes to weight gain. In structures of this type, the joint work of concrete and steel

elements can also be ensured by "compatible" concreting, resulting in the formation of so-called "integrated" systems. This method of ensuring the joint work of concrete and steel parts of the structure, in particular reinforced concrete slabs and steel rod elements, is a promising area for the development of new structures. In structural panels, the complexity of the joints is an extremely acute issue, as it determines the overall complexity, weight, complexity, and cost of construction of such coatings. Based on the results of the analysis of research of joints of structural plates, it is established that the most effective decision of site is a connection with the use of the connectors made in the form of shaped details, but in this case, it is necessary to find such configuration, which will reduce the total length of the factory weld and the number of bolts in the connection to a minimum.

The main disadvantage of cable structures is their deformability and tendency to sag under their weight at great length and flat position, so a promising direction of modification of such structures is to find the length of elements and their position in space, as well as design measures to reduce deformability. This can be achieved by combining cable elements with rigid in combined designs. The experience of world design of architectural forms and constructions, which successfully use elements that are functionally similar to cables, can also be useful in solving this problem. The most famous representatives of these structures are the so-called "tensegrity" systems [5]. In such systems, the use of properties of constructive elements is perfectly realized. As a result of the second stage, a feasibility study was conducted, which showed good results, and justified the feasibility of further research [3,4].

The third stage of creating structures [1,2]. Summarizing all the data obtained in the previous stages, a prototype of the future design was formed. First of all, it is a structure, one of the components of which should be rod elements that will work only on axial forces. Depending on what the force will be: tensile or compressive, the rods can be flexible or rigid.

### References

1. Гасій Г. М. *Просторові структурно-вантові сталезалізобетонні конструкції: монографія* / Г. М. Гасій – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2018. – 347 с.
2. Патент на винахід 117420 Україна, МПК Е04В 1/18. *Просторова композитна комбінована модульно-вантова несуча система* / Л. І. Стороженко, Г. М. Гасій; власник ПолтНТУ. – № а201704298; заявл. 03.05.2017; опубл. 25.07.2018, Бюл. № 14/2018. – 5 с.
3. Gasii G. M. *Comparative characteristics of the spatial grid-cable steel-concrete composite slab* / G. M. Gasii / Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. – 2016. – № 844. – С. 260–265.
4. Gasii G. *Estimate of technical and economic benefits of a new space composite structure* / G. Gasii, O. Hasii, O. Zabolotskyi // MATEC Web of Conferences. – 2017. – № 116. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711602014>
5. Jáuregui, V. G. *Tensegrity structures and their application to architecture* / V. G. Jáuregui // Ed. Universidad de Cantabria. – 2020. – 296 p.
6. Yang D. *Experimental and numerical studies on a new type of bolt-ball joint for spatial grid structures* / D. Yang, M. Li, F. Fu, J. Wu // Journal of Constructional Steel Research. – 2022. – Vol. 188. – 107035. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.107035>

УДК 624.012.45:691.792

*Горб Олександр, к.т.н., доцент кафедри КТБтаРА,  
ORCID ID: 0000-0003-3104-7621, e-mail: olhorb@gmail.com  
Національний авіаційний університет, м. Київ*

*Митрофанов Павло, к.т.н., доц.,  
ORCID 0000-0003-4274-1336, e-mail: Mytrofanov.P@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

### **ЗАСТОСУВАННЯ АКРИЛОВИХ ПОЛІМЕРІВ В СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТІЙКАХ З ПРОФІЛЬОВАНИМ АРМУВАННЯМ**

*Анотація.* У статті наведені відомості про експериментальні дослідження наскрізних двотаврових стійок із заповненням бокових порожнин бетоном, в яких сумісна робота сталі та бетону забезпечується склеюванням. Випробування проводилися з метою встановлення дійсного характеру роботи, деформування та несучої здатності елементів. Виконане порівняння конструкцій із забезпеченням сумісної роботи сталі та бетону за допомогою склеювання та без нього.

З'єднання бетону зі сталлю з допомогою акрилового клею забезпечує сумісну роботу обох компонентів на протязі всього процесу завантаження. На несучу здатність наявність клейового з'єднання істотно не вплинула за рахунок утворення складного напружено-деформованого стану. Деформації елементів з клейовим з'єднанням значно менші ніж в елементах без нього.

**Ключові слова:** сталезалізобетонна стійка, склеювання, акриловий полімер, несуча здатність, деформативність

*Horb Oleksandr, Ph.D., Associate Professor  
ORCID ID: 0000-0003-3104-7621, e-mail: olhorb@gmail.com  
National Aviation University*

*MytrofanovPavlo, Ph.D., Associate Professor  
ORCID 0000-0003-4274-1336, e-mail: Mytrofanov.P@gmail.com  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

### **APPLICATION OF ACRYLIC POLYMERS IN REINFORCED CONCRETE RACKS WITH PROFILED REINFORCEMENT**

*Abstract.* The article presents information about experimental studies of through I-beams with filling of lateral cavities with concrete, in which the joint work of steel and concrete is provided by gluing. The tests were carried out in order to establish the true nature of the work, deformation and bearing capacity of the elements. The comparison of structures with the provision of joint work of steel and concrete with the help of gluing and without it.

Joining concrete to steel with acrylic glue ensures that the two components work together throughout the loading process. The bearing capacity was not significantly affected by the presence of the adhesive joint due to the formation of a complex stress-strain state. Deformations of elements with an adhesive joint are much smaller than in elements without it.

**Key words:** reinforced concrete rack, bonding, acrylic polymer, load-bearing capacity, deformability



З кожним роком будівельна індустрія вимагає створення нових несучих конструкцій, які дозволять зменшити вартість, знизити витрати матеріалів та трудомісткість зведення будівель і споруд. На даний момент задовольнити ці вимоги можуть сталезалізобетонні конструкції, в яких найбільш раціонально використовуються сталь та бетон. Однак розробка даних конструкцій підіймає проблему забезпечення сумісної роботи їх складових частин. Все більше набуває поширення при підсиленні залізобетонних конструкцій та при улаштуванні анкерних болтів для забезпечення сумісної роботи бетону й сталі застосування клеїв. Найбільш позитивно в цих випадках зарекомендували себе акрилові клеї.

Останнім часом дослідженням акрилових та інших полімерів і застосуванням з'єднань на їх основі у нових сталезалізобетонних конструкціях найбільш успішно займалися наукові школи провідних вітчизняних технічних ЗВО м. Київ, м. Харків, м. Полтава [1, 2] і ряду закордонних організацій [3 – 5]. Практично доведено, що акриловий клей простий і надійний у приготуванні, за рахунок низької в'язкості, яка не залежить від температури навколишнього середовища, добре укладається, довговічний. Навіть останні розробки традиційних анкерувальних засобів є досить матеріалозатратними, їх встановлення є занадто трудомістким та потребує високої кваліфікації робітників. Отже, існує необхідність перевірки доцільності використання клейових з'єднань на основі акрилових полімерів замість традиційних способів забезпечення сумісної роботи сталі та бетону у сталезалізобетонних конструкціях.

Метою проведення експериментальних випробувань елементів було дослідження: впливу клейового з'єднання бетонної та сталеві частин сталезалізобетонних елементів на їх несучу здатність; особливостей сумісної роботи двох складових комплексної конструкції при клейовому з'єднанні з використанням різних клеїв та без нього; особливостей розвитку тріщиноутворення в бетоні та пластичних властивостей сталеві частини; значень деформацій на різних ступенях завантаження; характеру руйнування дослідних зразків.

Для отримання експериментальних результатів, які дадуть можливість достатньою мірою судити про особливості роботи сталезалізобетонних елементів із використанням клейового з'єднання бетону та сталі були запроектовані зразки (Таблиця 1), які виготовлялися з двох зварних таврів із шириною полицки 80 мм товщиною 5 мм та довжиною стінки 40 мм товщиною 3 мм. Стінки двох таврів з'єднувалися решіткою, виготовленою із арматури діаметром 6 мм та привареною до стінок з кроком 120 мм. Загальна висота поперечного перерізу складеного таким чином перерізу з двох зварних таврів (відстань між зовнішніми гранями полицок) складала 160 мм; ширина перерізу – 80 мм. Особливістю даного типу елементів є те, що бетонування виконувалося за один прийом і таким чином було забезпечено однорідність бетонної суміші з двох сторін сталобетонного елемента. До торців сталобетонних елементів були приварені пластини товщиною 12 мм для запобігання утворення місцевих деформацій у приопорній зоні стиснутих елементів.

Таблиця 1 – Характеристики дослідних зразків

Шифр зразка	Розміри зразка		Умовна гнучкість $\lambda$	Ексцентриситет $e$ прикладення навантаження, см	Завантаження	
	довжина, мм	поперечний переріз, мм			симетричне	несиметричне
C1	1280	160×80	80	2,5	+	
C2	2500	160×80	120	2,5	+	
C3	2080	160×80	100	2,5		+
C4	1630	160×80	100	2,5		+

Після виготовлення сталеві частини стійок, у відповідних зразків місця контакту сталі з бетоном покривались шаром акрилового клею та заповнювалися бетоном. Акриловий клей складався із 100 мас-частин полімеру, 100 мас-частин затверджувача і 200 мас-частин кварцового піску із крупністю зерен 0,315 мм. Використовувався бетон промислового виробництва такого складу (за ГОСТ 7473-94): цемент / пісок / щебінь / вода = 300/865/1080/155 кг/м<sup>3</sup>.

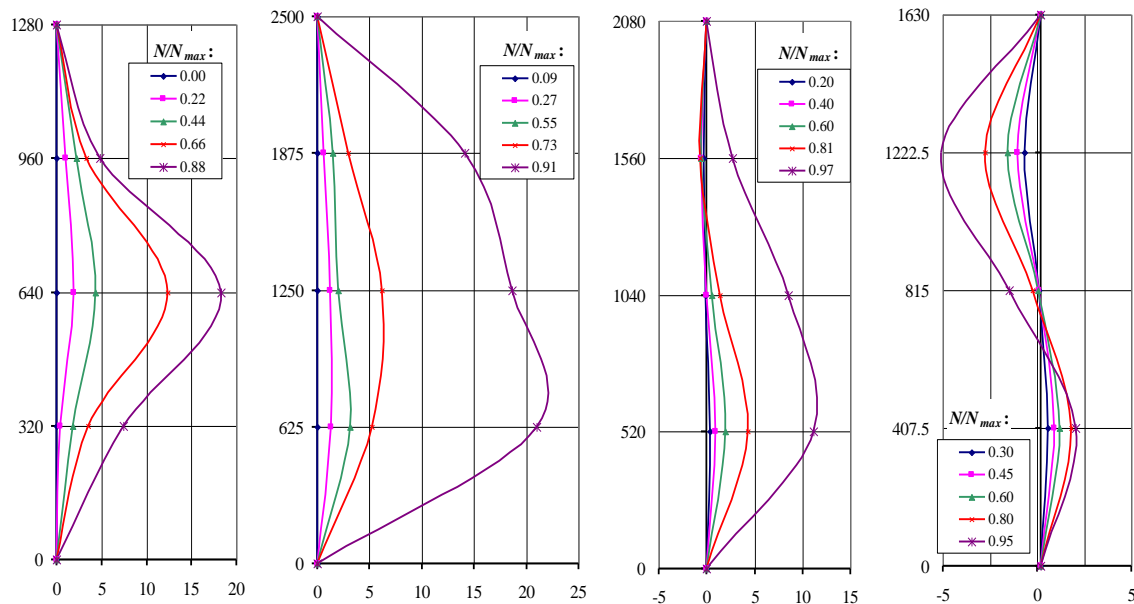


Рис. 1 – Схеми деформації поздовжньої осі дослідних зразків C1, C2, C3, C4

Згідно з програмою експериментальних досліджень вивчалася зміна напружено-деформованого стану дослідних зразків при дії навантаження позacentрового стиску з ексцентриситетом 2,5 см. Деформації вимірювались за допомогою електротензорезисторів, переміщення – індикаторами годинникового типу.

Розроблена методика дослідження дала змогу в лабораторних умовах вивчити їх роботу під навантаженням, отримати характеристики напружено-деформованого стану на будь-якій стадії завантаження. В результаті вимірів виконаних за допомогою прогиномірів отримано графіки вигину поздовжньої осі (малюнок 1)

З'єднання бетону зі сталлю з допомогою акрилового клею забезпечує сумісну роботу обох компонентів композитної конструкції на протязі всього процесу завантаження, що підтверджує плавний ріст значення відносних деформацій. Порівнюючи дослідні зразки з використанням клейового з'єднання сталеві поверхні дотику із бетоном та без нього можна говорити про зменшення деформативності конструкцій за рахунок більш рівномірного розподілу напружень. На несучу здатність наявність клейового з'єднання в даному типі конструкцій істотно не вплинула за рахунок утворення складного напружено-деформованого стану (малюнок 2).

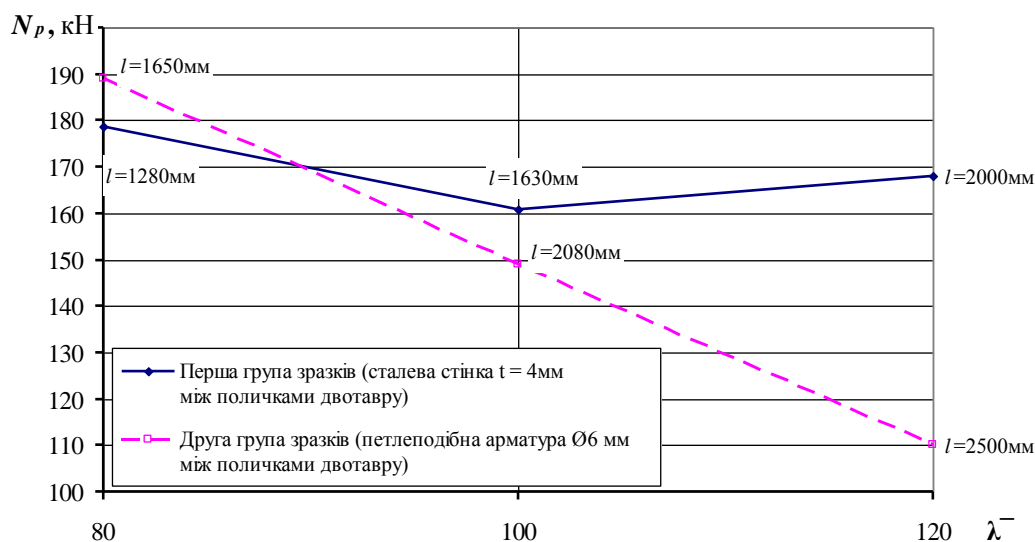


Рис. 2 – Залежність несучої здатності сталобетонних зразків від їх висоти

**Висновок.** Прийнята методика випробувань та використані вимірювальні прилади дозволяють отримати необхідні експериментальні дані для визначення несучої здатності та деформацій із заданою точністю і характеру руйнування дослідних зразків. На всіх етапах завантаження в конструкціях, в яких використана методика приклеювання бетонної суміші до сталеві частини, забезпечується їх сумісна робота. Таким чином можна вважати доведеним, що для забезпечення сумісної роботи бетону й сталі при виготовленні сталезалізобетонних конструкцій раціонально застосовувати акрилові композити.

#### Література

- Zolotov S., Firsov P., Muhamad H. (2020). Evaluation of Stress-Deformed Condition Level of Glued Materials for the Without Anchor Steel-Concrete Joint. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 47, pp. 95–102). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_12).
- Horb O., Davidenko Y., Skurupiy O., Mytrofanov P. (2020). Application of Bonding Concrete to Reinforcement Using Adhesives in Steel Concrete Composite Structure. *Proceedings of the 2020 session of the 13th fib International PhD Symposium in Civil Engineering (Paris, France, August 26-28, 2020)*. PP. 2 – 9. [https://phdsymp2020.sciencesconf.org/data/pages/Proceedings\\_phdsymp\\_2021.pdf](https://phdsymp2020.sciencesconf.org/data/pages/Proceedings_phdsymp_2021.pdf)
- Brede Markus. (2018). *Fracture Mechanics of Adhesive Joints*. [https://doi.org/10.1002/9783527803743.ch1\\_04](https://doi.org/10.1002/9783527803743.ch1_04).
- Mora Veronica, Mieloszyk Magdalena, Ostachowicz, Wieslaw. (2018). Model of moisture absorption by adhesive joint. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 99. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.06.042>.
- Jeevi G., Nayak S., Kader M. (2019). Review on adhesive joints and their application in hybrid composite structures. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 33. 1-24. <https://doi.org/10.1080/01694243.2018.1543528>.

УДК: 624.016:693.54

*Гукасян Ольга, к.т.н., ст. викладач,  
ORCID: 0000-0002-8426-2678, e-mail: olg.gukasyan@gmail.com*

*Демченко Оксана, к.т.н., доцент,  
ORCID: 0000-0002-3397-9206, e-mail: homenko\_81@ukr.net*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ДЕФЕКТІВ БЕТОННОГО ОСЕРДЯ НА МІЦНІСТЬ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

***Анотація.** Цикл експериментальних досліджень, що описано в даній роботі, полягає у дослідженні впливу найбільш розповсюджених типів дефектів бетонування, таких як, наявність пустот, неоднорідність структури бетону по висоті та послаблення осердя – включення «слабкого» бетону. Основною метою експериментальних досліджень є дослідження впливу умов виготовлення бетонного осердя трубо-бетонних конструкцій та зміни фізико-механічних характеристик елементів. Міцність бетону оцінюють за результатами випробувань зразків спеціальної форми з заданими розмірами. За результатами проведених випробувань зразків, із різними типами змодельованих дефектів бетонування, виділено найбільш небезпечні пошкодження бетонного осердя, також проаналізовані різні варіанти зниження міцності по висоті досліджуваного елемента. В результаті проведення випробувань було встановлено ступінь та тип пошкоджень осердя трубобетонних зразків, що впливає на характер їх руйнування.*

***Ключові слова:** бетон, міцність на стиск.*

***Gukasian Olha, Ph.D., senior lecturer,  
ORCID: 0000-0002-8426-2678, e-mail: olg.gukasyan@gmail.com***

***Demchenko Oksana, Ph.D., associate professor,  
ORCID: 0000-0002-3397-9206, e-mail: homenko\_81@ukr.net***

***National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»***

## **INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL DEFECTS OF CONCRETE CORE ON STRENGTH OF PIPELINE CONCRETE ELEMENTS**

***Abstract.** The paper sums up a series of experimental studies describing the influence of most types of common defects of concreting, such as weak-ening of the core: inclusion of weak compression, presence of voids, height heterogeneity of concrete. The basis of experimental study is the research on the influence of the production conditions of the concrete core of tube confined concrete members elements and the change of physical and mechanical characteristics of the elements. The strength of the concrete is estimated based on the results of the study of special-ly shaped samples with given dimensions. According to the results of inspection of concreting samples with different types of modeled defects (abnormalities), the most dangerous damages of the concrete core were identified and different variants of the strength retrogression by height of the element under study were analyzed. As a result, the degree and type of damage to the tube confined concrete members core of the samples, which affect the fracture pattern, was established.*

***Keywords:** concrete, compressive strength.*

Якість бетону трубобетонних елементах залежить не лише від технології їх виготовлення, а і від якості ущільнення бетонної суміші, особливо в ускладнених умовах, адже внаслідок наявності ускладнених умов бетонування – укладання бетонної суміші у

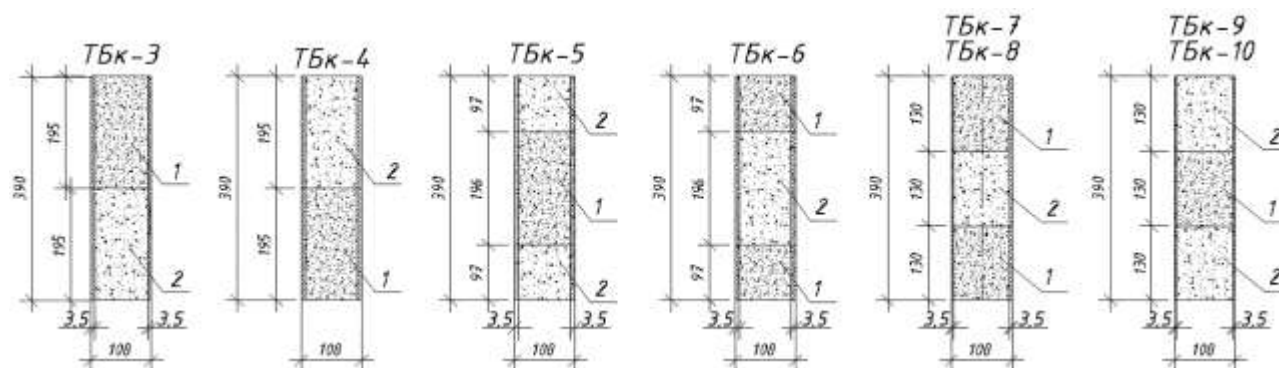
замкнений простір труби-оболонки, виникають ризики утворення дефектів бетонного осердя (розшарування, порожнини, пори, тріщини, мінливість міцності по висоті зразка та інше). Всі ці фактори зумовлюють виникнення можливих дефектів (аномалій) виготовлення (бетонування) та неоднорідності бетону осердя по об'єму конструктивного трубобетонного елемента, що потребує дослідження впливу низки технологічних факторів (фізико-механічних властивостей бетонної суміші, способів її укладання в трубу-оболонку, способів ущільнення та умов твердіння бетону тощо) [1].

Експериментальні дослідження дали можливість вивчити наслідки наявності найбільш поширених типів дефектів бетонування трубобетонних елементів та визначити їх вплив на міцність конструктивного елемента. Як основні дефекти, що характерні для бетонного осердя, виділені послаблення осердя – включення «слабкого» бетону, наявність пустот та неоднорідність бетону по висоті.

Експериментальні дослідження відповідно до прийнятої програми проводилися в два етапи:

- серія «ТБ» – для дослідження впливу штучно створених дефектів на міцність бетонного осердя коротких трубобетонних елементах в сталевій трубі-оболонці, короткі зразки;
- серія «ТБп» – для дослідження впливу технології виготовлення трубобетонних елементів на мінливість міцності бетону зразків циліндрів по висоті.

Перша частина експериментальних досліджень описує результати випробування на стиск трубобетонних зразків «ТБк» та «ТБп» (рис.1 та рис. 2).

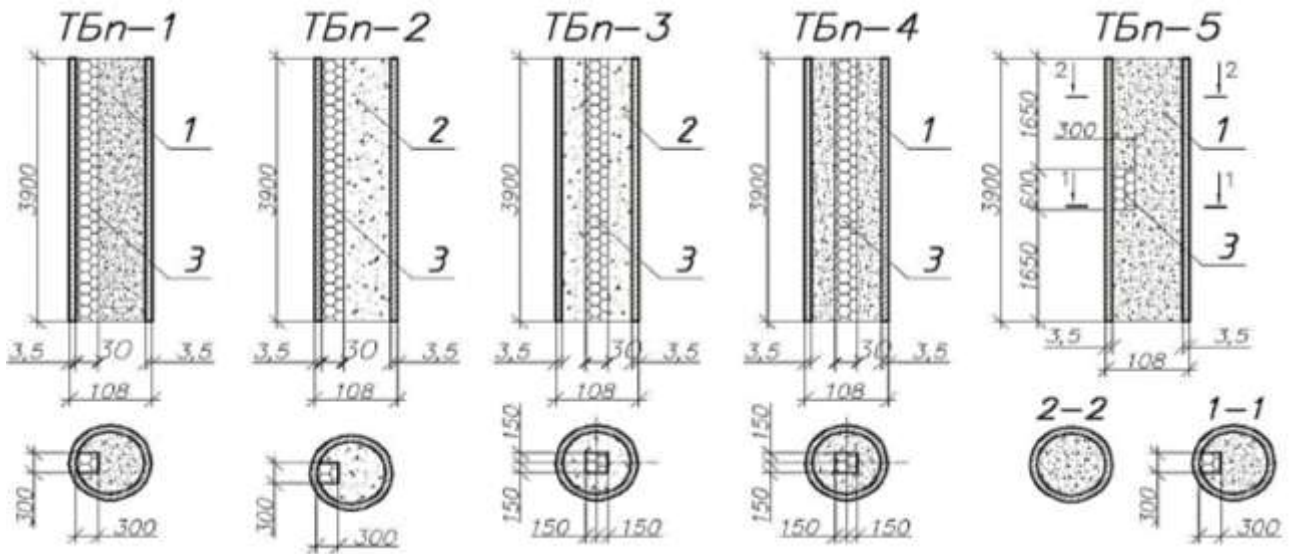


**Рис. 1 – Схема заповнення бетоном дослідних зразків трубобетонних елементів зі змодельованими технологічними дефектами бетонного осердя у вигляді неоднорідності розподілу міцності бетону по висоті зразка (серія «ТБк»):**

*1 – клас міцності бетону на стиск С30/35; 2 – клас міцності бетону на стиск С16/20*

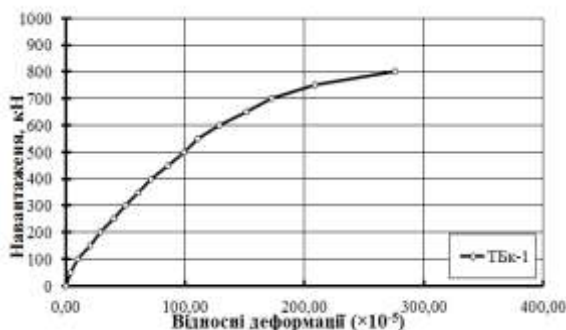
Під час проведення експерименту було зафіксовано два зусилля, які відповідають різним критеріям втрати несучої здатності коротких центрально стиснених трубобетонних зразків: N1 – зусилля, що відповідає поздовжнім деформаціям, які виникли при досягненні границі текучості сталі труби-оболонки; N2 – це максимальне зусилля стиску, яке здатен витримати зразок.

Межа текучості труби-оболонки (N1) експериментальних зразків серії «ТБк» ТБк-2... ТБк -10 коливався в межах: від 330 до 386 кН, що складає 12,4%, а значення несучої здатності (N2) від 432 до 514 кН (15,9 %), за винятком зразка ТБк -1 (де N1 575 кН, а N2 850 кН). Максимальні значення несучої здатності зразків серії ТБк (N2) на 19...29% перевищували значення навантажень при початку плинності труби (N1). В середньому  $\Delta N$  (різниця між N1 та N2) складала 25%. Несуча здатність експериментальних зразків серії ТБп має більший розкид значень: N1 змінювалась від 318 до 414 кН, що складає 23,2%, N2 від 330 до 480 кН (31,2%). Так, наприклад, несуча здатність зразка ТБп -5 на 31% перевищує несучу здатність зразка ТБп -3.

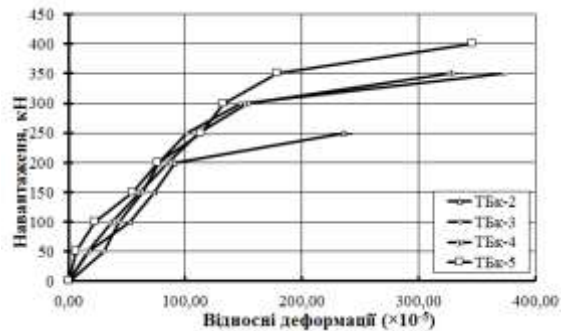


**Рис. 2 – Конструкція дослідних зразків трубобетонних стійок (серія «ТБп»):**  
 1 – клас міцності бетону на тиск С30/35; 2 – клас міцності бетону на тиск С16/20; 3 – штучно створені порожнини за допомогою пінополістиролу

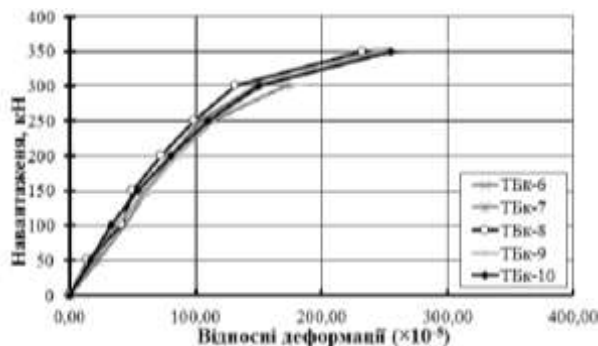
Тобто руйнування зразка відбувається в місці розташування послаблення бетонного осердя (по середині або по торцях) шляхом утворення гофр в трубі-оболонці, адже в цьому випадку практично зникає притаманний трубобетону ефект підвищення місцевої стійкості металевій оболонці. З дослідження неоднорідності міцності зразків серій «ТБк» та «ТБп», можна зробити висновок, що найменша несуча здатність притаманна зразкам, які мають штучно створені дефекти осердя у вигляді пустот, які розташовані по центру та біля стінки зразка (рис. 3 г).



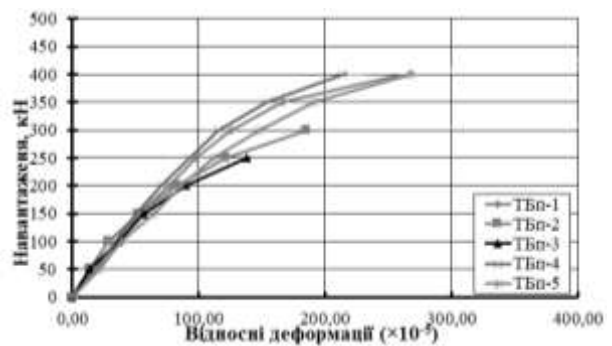
а) поздовжні деформації зразка ТБк-1



б) поздовжні деформації зразка ТБк-2... ТБк-5



в) поздовжні деформації зразків ТБк-6... ТБк-10



г) поздовжні деформації зразків ТБп-1... ТБп-5

**Рис. 3 – Залежність поздовжніх деформації досліджуваних зразків від навантаження**

Наявність дефектів бетонування у вигляді порожнин серії зразків «ТБп», що під час проведення експериментальних досліджень моделювались шляхом включень пінополістирольних включень, призводить до зниження ефекту обойми, утворення додаткових ексцентриситетів через що спостерігається суттєве зменшення несучої здатності трубобетонних стійок, особливо співвідношення зусиль  $N2/N1$ , тобто для трубобетону з таким типом дефектів характерний набагато менший пластичний характер роботи.

На початку завантаження залежність близька до лінійної, потім графіки приймають криволінійний характер, що пояснюється особливостями деформування сталі та бетону. Поперечні деформації при невеликих навантаженнях розвиваються незначним чином, а з наближенням до граничного стану сильно зростають. Це свідчить про зростання напружень в поперечному напрямку. Тобто об'єм зразка спочатку завантаження зменшувався, а під кінець збільшувався, перевищуючи первинний. Початок збільшення об'єму зразка приблизно співпадає з початком плинності труби в поздовжньому напрямку.

Для елементів із штучно утвореними дефектами (пустотами) по всій довжині зразка характерне утворення поздовжніх тріщини бетонного ядра, що зумовлене концентрацією напружень та знижує несучу здатність зразків до 30%. Для трубобетонних зразків зі змінною міцністю бетону по висоті характерний більш пластичний характер руйнування внаслідок втрати загальної та місцевої стійкості. Наявність в середній частині зразка бетону нижчої міцності чи сипучого заповнювача на 10 – 35% знижує несучу здатність зразка у порівняння із зразком без послаблення.

### *Література*

1. Семко О.В. *Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій: Монографія – К.: Сталь, 2004. – 316 с.*

УДК 624.012.45: 624.046

*Дмитренко Андрій, к.т.н., доц.*

*ORCID: 0000-0002-8715-7646, e-mail: andmyt@ukr.net*

*Дмитренко Тетяна, к.т.н., доц.*

*ORCID: 0000-0002-6755-3000, e-mail: dmitr\_tat@ukr.net*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ВУЗЛОВЕ З'ЄДНАННЯ МОНОЛІТНОГО ЗАЛІЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРИТТЯ З ТРУБОБЕТОННИМИ КОЛОНАМИ**

*Анотація.* Розроблено вузол з'єднання монолітного залізобетонного безбалкового перекриття з труобетонною колоною, що складається з труобетонної колони та монолітного залізобетонного безбалкового перекриття, труобетонна колона з'єднується з монолітною залізобетонною плитою за рахунок арматурних стрижнів, що протягнуті крізь отвори у колоні.

*Ключові слова:* вузол з'єднання, труобетонна колона.

*Dmytrenko Andrii, Ph.D, Associate Professor,*

*ORCID: 0000-0002-8715-7646, e-mail: andmyt@ukr.net*

*Dmytrenko Tetiana, Ph.D, Associate Professor,*

*ORCID: 0000-0002-6755-3000, e-mail: dmitr\_tat@ukr.net*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

## **KNOT CONNECTION OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE FLOOR WITH PIPE CONCRETE COLUMNS**

*Abstract.* A joint of a monolithic reinforced concrete beamless floor with a pipe-concrete column has been developed. It consists of a pipe-concrete column and a monolithic reinforced concrete beamless floor. The pipe-concrete column is connected to a monolithic reinforced concrete slab by means of reinforcing stretched rods through holes in the column.

*Key words.* connection node, pipe concrete column.

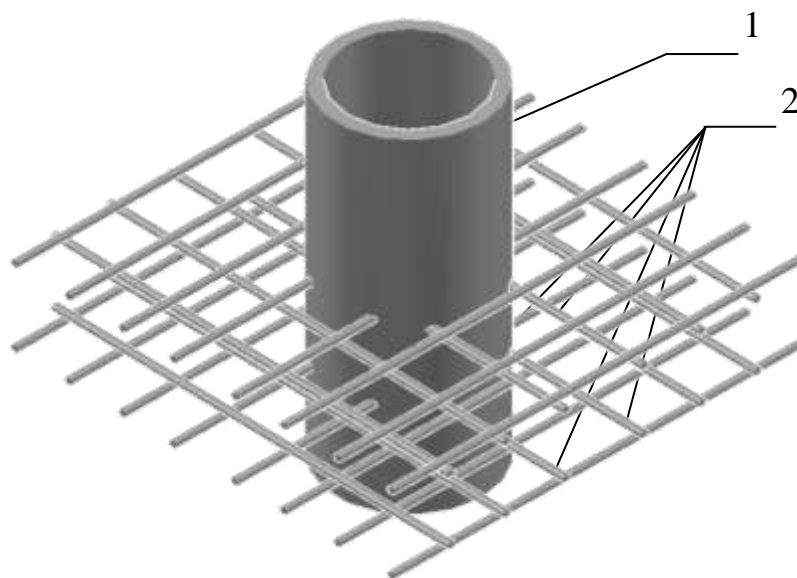
Розроблено в вузол з'єднання монолітного залізобетонного безбалкового перекриття з труобетонною колоною, що складається з труобетонної колони та монолітного залізобетонного безбалкового перекриття, труобетонна колона з'єднується з монолітною залізобетонною плитою за рахунок арматурних стрижнів, що протягнуті крізь отвори у колоні. Розробленням нових конструктивних рішень з'єднання труобетонних колон з монолітним перекриттям, займалися Стороженко Л.І., Пенц В.Ф. [3], Воскобійник С.П. [1].

Аналогом вузлового з'єднання є патент на корисну модель № 51630 від 26/07/2010 "Вузол з'єднання монолітного безкапітельного безбалочного перекриття з труобетонними колонами" [2], який складається з труобетонної колони до якої приварено арматурні відгини, монолітного безбалкового безкапітельного залізобетонного перекриття та має горизонтальну сталю фасонку, до якої приварено стержневу арматуру, за допомогою чого забезпечено сприйняття вузловим з'єднанням згинальних моментів та в якості колони використовується труобетонна стійка. В аналогу моделі використовується велика кількість зварних швів, що впливає на надійність роботи конструкції.

В основу корисної моделі [4] поставлено завдання з'єднання монолітного залізобетонного безбалкового перекриття з труобетонною колоною, для забезпечення більшої надійності вузлового з'єднання. Суть корисної моделі полягає у наступному. У колоні просвердлюють отвори для протягування арматури. Діаметр отворів на 3 мм більший за



діаметр арматури. Арматура розташовується в двох напрямках, причому одна вище іншої (рис. 1).



**Рис. 1 – Конструкція вузла з'єднання сталобетонних колон із монолітною залізобетонною безбалковою плитою: 1 – труобетонна колона; 2 –арматурні стержні**

Такий вузол дає можливість підвищити надійність з'єднання монолітного залізобетонного безбалкового перекриття з труобетонною колоною та забезпечити сприйняття згинального моменту. Вся робота крім просвердлювання отворів, проводиться безпосередньо на будівельному майданчику. У такому вузлі зменшена кількість зварних швів, що впливає на надійність роботи конструкції, оскільки зменшується обсяг зварювальних робіт, що виконуються безпосередньо на будівельному майданчику, немає необхідності контролю якості зварних швів.

Розрахунок проводиться на зріз, продавлювання та сприйняття згинальних моментів.

Вузол дає можливість зменшення прогинів монолітних залізобетонних плит перекриття та можливість сприйняття опорних моментів, що усуває необхідність встановлення додаткових вертикальних в'язів у каркасі будівлі. Таке рішення дає змогу збільшити внутрішній об'єм приміщення, спростити процес виготовлення каркасу будівлі.

Запропонований тип вузлового з'єднання може використовуватися у рамних та рамно-в'язевих каркасах багатопверхових промислових і цивільних будівель.

### **Література**

1. Воскобійник С.П. *Напружено-деформований стан вузлів з'єднання труобетону з залізобетоном при позацентровому стиску та згину: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / С.П. Воскобійник.* – Полтава, 2002. – 20 с.
2. Пат. 51630 Україна, МПК Е 04 В 5/32 (2009). *Вузол з'єднання монолітного безкапітельного безбалочного перекриття з труобетонними колонами / заявники Семко В.О., Дмитренко Т.А.; власник Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка.* – № и 2010 00427; заявл. 18.01.10; опубл. 26.07.2010, Бюл. № 14. – 4 с.
3. Стороженко Л.І. *Труобетонні конструкції промислових будівель: [монографія] / Л.І. Стороженко, В.Ф. Пенц, С.Г. Коришун.* – Полтава: ПолтНТУ, 2008. – 202 с.
4. Стороженко Л.І. *Патент Вузол з'єднання монолітного залізобетонного безбалкового перекриття з труобетонною колоною / Пат. 98330. Вузол з'єднання монолітного залізобетонного безбалкового перекриття з труобетонною колоною – № и 2014 11959; заявл. 05.11.14; опубл. 27.04.2015, Бюл. № 8.* – 4 с.

УДК 692.5:624.072.2:656.715 (043.2)

*Лапенко Олександр, д.т.н., проф., завідувач кафедри комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів*

*ORCID: 0000-0002-2029-0792, e-mail: my-partner@ukr.net*

*Табаркевич Наталія, аспірант кафедри комп'ютерних технологій будівництва та реконструкції аеропортів*

*ORCID: 0000-0002-5549-8147, e-mail: natalitkach23@gmail.com*

*Національний авіаційний університет*

*Табаркевич Олег, інженер відділу досліджень конструкцій будівель і споруд*

*ORCID: 0000-0002-2396-3956, e-mail: olegtabarkevich@gmail.com*

*Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»*

## **СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ ПЕРЕКРИТТЯ З ПРИХОВАНИМИ БАЛКАМИ У БУДІВЛЯХ АЕРОПОРТІВ**

*Анотація.* У статті розглянуто можливість і доцільність застосування сталезалізобетонних перекриттів у будівлях аеропортів в Україні та у країнах Європи. Розглянуто роботу об'єднаної сталі з бетоном та основні види сталезалізобетонних перекриттів. Також розглянуто варіанти роботи з полегшенням сталезалізобетонних конструкцій без значної втрати несучої здатності.

*Ключові слова:* сталезалізобетонне перекриття, приховані балки, будівлі аеропортів.

*Lapenko Alexander, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Technologies of Construction and Reconstruction of Airports*

*ORCID: 0000-0002-2029-0792, e-mail: my-partner@ukr.net*

*Tabarkevich Natalia, Postgraduate Student of the Department of Computer Technologies of Construction and Reconstruction of Airports*

*ORCID: 0000-0002-5549-8147, e-mail: natalitkach23@gmail.com*

*National Aviation University*

*Tabarkevich Oleg, engineer of research department of structures of buildings and structures*

*ORCID: 0000-0002-2396-3956, e-mail: olegtabarkevich@gmail.com*

*State Enterprise "State Research Institute of Building Structures"*

## **STEEL REINFORCED CONCRETE FLOORS WITH HIDDEN BEAMS IN AIRPORT BUILDINGS**

*Abstract.* The article deals with the possibility and feasibility of using steel reinforced concrete floor in the airport buildings in Ukraine and in Europe. The work of combination steel with concrete and the main types of steel reinforced concrete floors is considered. Options for facilitating steel reinforced concrete structures without significant load loss are also considered.

*Keywords:* steel reinforced concrete floor, hidden beams, airport buildings.

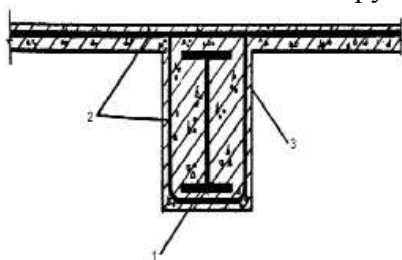
**Вступ.** В даний час розвиток аеропортів в Україні значною мірою здійснюється за рахунок реконструкції, відновлення або капітального ремонту. І саме об'єднання сталі і бетону буде раціональним у використанні для реконструкції чи відновлення перекриттів. Це забезпечить економію матеріалів, енергозатрат і трудомісткість.

**Виділення не вирішеної раніше частини проблеми.** У зв'язку з тим, що нині, ведуться інтенсивні роботи з реконструкції та відновлення будівель аеропортів України, що пов'язано із воєнними діями, потрібні ефективні як в технічному, так і в економічному аспекті нові технічні рішення. Сталезалізобетонні конструкції широко використовуються в цивільному та промисловому будівництві, як в Україні, так і за кордоном та є інноваційними в будівництві аеропортів. Це пов'язано з тим, що сталезалізобетонні перекриття можуть працювати як самостійна конструкція, так і як арматура в залізобетонних конструкціях споруд та будівель комплексів аеропортів.

**Виклад основного матеріалу.** При проектуванні сталезалізобетонних перекриттів використовують методи розрахунку залізобетонних конструкцій з жорстким профілем, або відомчі нормативи за сталезалізобетонними конструкціями, або Єврокод, що описує проектування сталезалізобетонних конструкцій. У цих документах враховано початкову напругу в сталевій балці на стадії монтажу, але недооцінено загальну несучу здатність перекриттів, на відміну від деформаційних методів розрахунку, заснованих на аналітичних діаграмах роботи матеріалів, на обліку дійсного напружено-деформованого стану елементів, що згинаються. Однак і деформаційні методи розрахунку не враховують початкові напруги та деформації сталезалізобетонних конструкцій, що виникають у період зведення перекриття.

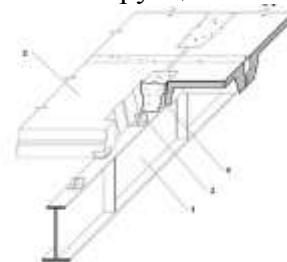
У сталевій балці сталезалізобетонного перекриття в доексплуатаційній стадії виникають напруги і прогини спочатку від свіжоукладеного бетону, опалубки та обладнання, як від монтажного навантаження. Потім у період твердіння бетону в сталевій балці, що є головним несучим елементом складового перерізу, виникає новий напружений деформований стан. Облік напруг і прогинів від монтажних навантажень не викликає труднощів, розрахунок сталевий балки виконується за нормами проектування сталевих конструкцій. Об'єднання сталі й бетону для сумісної роботи дозволяє отримати композитний матеріал – армоцемент, з потрібними характеристиками міцності та техніко-економічними показниками. Основні види сталезалізобетонних перекриттів показані на рисунку 1.

1. Обетоновані сталеві конструкції



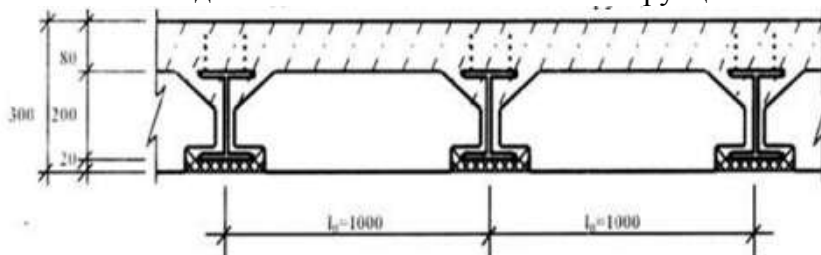
Конструкція покриття з забетонованими сталевими балками: 1-сталевий профіль; 2-стиржнева арматура; 3-бетон замонолічування.

2. Змішані сталеві та залізобетонні конструкції



Сталезалізобетона конструкція зі збірними залізобетонними плитами: 1-сталева балка; 2-з/б плита; 3-жорсткі кутникові опори; 4-бетон.

Об'єднанні сталі залізобетонні конструкції



Збірно-монолітне перекриття з металевою балкою

Рис. 1 – Основні види сталезалізобетонних перекриттів

Матеріали сталезалізобетонних конструкцій мають, з одного боку, різні фізико-механічні характеристики, з іншого – різні вартості. Наприклад, бетон працює переважно на стиск, тому його слід розташовувати у стиснутій зоні перерізу; сталь однаково сприймає і розтяг, і стиск, тому основну її масу доцільно концентрувати у розтягнутій зоні; механічні характеристики опору деформації і руйнування у сталі значно вищі, ніж у бетоні, а це означає, що бетону у складі конструкції має бути більше, ніж сталі. Вага бетонної конструкції більша за сталеву, вартість бетону менша, ніж сталі і т. д.

**Висновки.** Сталелізобетонні конструкції широко застосовуються у всьому світі, однак мають досить обмежену область застосування в Україні: мости, водоводи і трубопроводи, промислові будівлі та споруди, будівлі аеропортів, висотні будівлі. У цивільному будівництві сталезалізобетон практично не застосовується.

Ефективність сталезалізобетонних конструкцій в порівнянні зі сталевими і залізобетонними конструкціями дозволяє досягти значного збільшення міцності і жорсткості, істотної економії грошових коштів і трудовитрат, скорочення термінів будівництва та ін.

#### *Література*

1. *Сталезалізобетон. Continuanse // Зб. наук. праць. - Полтава : ПолтНТУ, 2016. - 358 с.*
2. *Стороженко Л. І., Семко О. В., Пенц В. Ф. Сталезалізобетонні конструкції: навч. посіб. Полтава, 2005. 181 с.*
3. *Конструкції будинків і споруд. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-160:2010: затв. Мінрегіонбудом України 30.12.2010. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 93 с.*

УДК 624.012.35

*Павліков Андрій, д.т.н., професор,  
ORCID: 0000-0002-5654-5849, e-mail: am.pavlikov@gmail.com*

*Гарькава Ольга, к.т.н., доцент,  
ORCID: 0000-0003-2214-3128, e-mail: olga-boiko@ukr.net  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **КОЕФІЦІЄНТ ЗМІЦНЕННЯ БЕТОНУ ТРУБОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

*Анотація.* На основі теорій пластичності Сен-Венана та Юбера-Мізеса-Генки отримано вирази для розрахунку коефіцієнта зміцнення бетону за рахунок його роботи в об'ємному напруженому стані у складі трубобетонного елемента. Розрахункові положення засновані на одночасному руйнуванні бетонної серцевини елемента і досягненні межі текучості в трубі-оболонці, тобто умови повного використання міцності складових матеріалів. Міцність нормального перерізу трубобетонного елемента при осьовому навантаженні визначається з урахуванням меридіонального тиску бетону на трубу та осьових напружень у ній. Досліджено характер і ступінь впливу геометричних і міцнісних характеристик елемента на величину коефіцієнта зміцнення бетону.

*Ключові слова:* трубобетонний елемент, міцність, коефіцієнт зміцнення.

*Pavlikov Andrii, ScD, Professor,  
ORCID: 0000-0002-5654-5849, e-mail: am.pavlikov@gmail.com*

*Harkava Olha, PhD, Associate Professor,  
ORCID: 0000-0003-2214-3128, e-mail: olga-boiko@ukr.net  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

## **COEFFICIENT OF CONCRETE STRENGTHENING OF STEEL TUBULAR CONCRETE-FILLED ELEMENTS**

*Abstract.* Based on the theories of plasticity of Saint-Venant and Huber-Mises-Genk, the design expressions for calculating the coefficient of concrete strengthening due to its operation in the volumetric stress state as part of a steel tubular concrete-filled element are obtained. The calculation provisions are based on the simultaneous destruction of the concrete core of the element and the achievement of the yield strength in the tube-shell, i.e. the condition of full use of the strength of the constituent materials. The strength of the normal cross section of a steel tubular concrete-filled element under axial loading is determined taking into account the meridional pressure of concrete on the tube and axial stresses in it. The nature and degree of influence of geometric and strength characteristics of the element on the value of concrete strengthening coefficient are investigated.

*Key words:* steel tubular concrete-filled element, strength, coefficient of concrete strengthening.

Завдяки штучно створеним умовам обмеження деформації бетону зовнішньою трубою-оболонкою в трубобетонних елементах виникає явище зміцнення. Для врахування зміцнення бетону в умовах об'ємного напружено-деформованого стану розроблено велику кількість методів розрахунку міцності трубобетонних елементів. Але їх емпірична основа не сприяє глибокому розумінню складної роботи трубобетонних елементів. Можливість вирішення існуючої задачі в теорії розрахунків міцності трубобетонних елементів на основі введених

сучасних поглядів на роботу бетону в поєднанні з арматурою і сталеву трубою висвітлюється в [1 – 2] та в багатьох інших роботах.

Узагальнюючи запропоновані рекомендації, метою роботи є проаналізувати аналітичний вираз для розрахунку коефіцієнта зміцнення бетону серцевини трубобетонного елемента в момент його повного руйнування та дослідити його зміну залежно від міцнісних характеристик матеріалів та геометричних характеристик елемента.

Рівняння, отримане в [3], для перевірки несучої здатності трубобетонного елемента при осьовому стисненні у вигляді:

$$N_{Rd} = k_{cs} A_c f_c + A_s f_y, \quad (1)$$

де  $A_c$  – площа поперечного перерізу бетону;  $A_s$  – площа поперечного перерізу труби;  $f_c$  – граничне значення напруження в бетоні при його руйнуванні;  $f_y$  – граничне значення напруження в сталевій трубі при її руйнуванні в граничному стані трубобетонного елемента.

У рівнянні (1) коефіцієнт

$$k_{cs} = 1 + \frac{4k}{k+1} \frac{f_y}{f_c} \frac{t}{D}. \quad (2)$$

– коефіцієнт зміцнення бетону трубобетонного елемента з урахуванням особливостей умов теорії пластичності Сен-Венана при її застосуванні до моделювання цього явища.

Коефіцієнт зміцнення бетону  $k_{cs}$  трубобетонного елемента з урахуванням особливостей умов теорії пластичності Губера-Мізеса-Генки при її застосуванні до моделювання цього явища отримано у вигляді

$$k_{cs} = 1 + 4 \left( \frac{2k+1}{\sqrt{k^2+k+1}} - 1 \right) \frac{f_y}{f_c} \frac{t}{D}. \quad (3)$$

У ході роботи було поставлено завдання виявити характер і ступінь впливу різних факторів на величину коефіцієнта зміцнення бетону трубобетонних елементів. Для аналізу використано теоретичні вирази для коефіцієнта  $k_{cs}$  за формулами (2) та (3). На графіках на малюнку 1 показано зміну коефіцієнта зміцнення зі збільшенням класу бетону в діапазоні від C12/15 до C50/60.

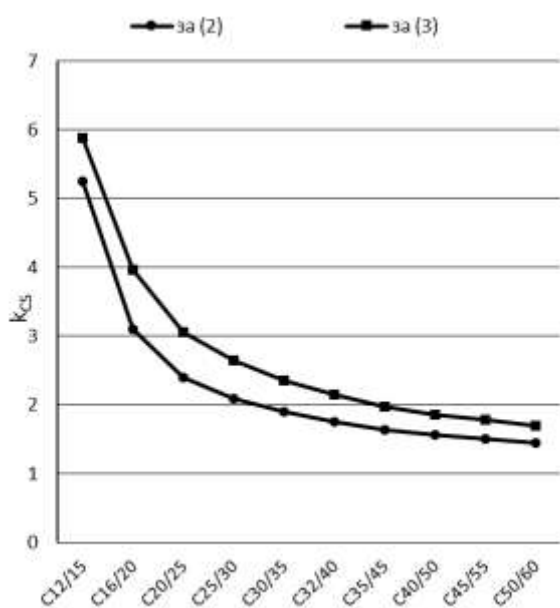


Рис. 1 – Графіки залежності значень коефіцієнта зміцнення бетону від класу бетону

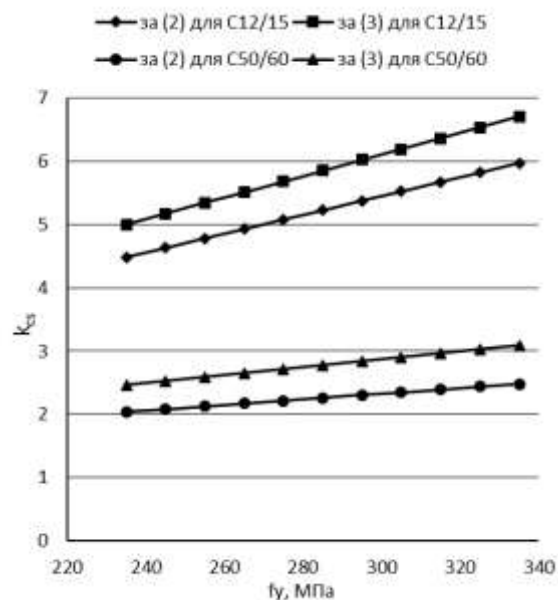
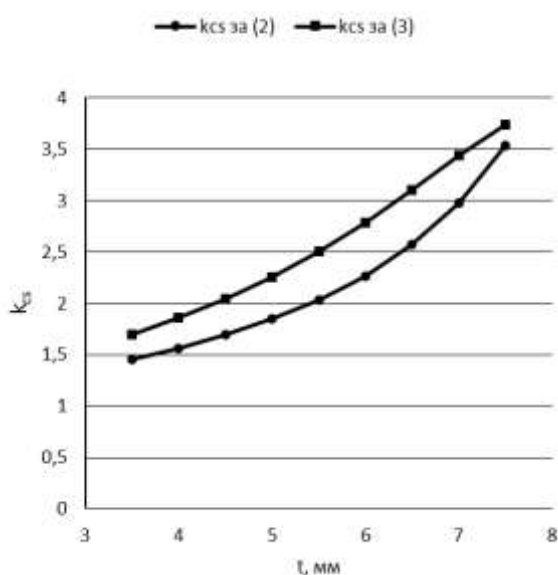
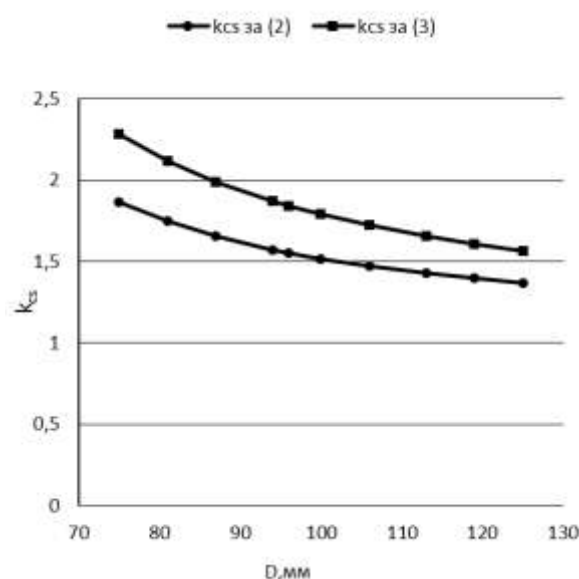


Рис. 2 – Графіки залежності значень коефіцієнта зміцнення бетону від межі текучості сталі

Використані наступні параметри трубобетонного елемента: зовнішній діаметр труби 102 мм, товщина стінки 3,5 мм, межа текучості сталі  $f_y = 287$  МПа. На основі аналізу графіків залежності коефіцієнта зміцнення бетону від класу бетону елемента (рис. 1) за обома теоріями відзначено значне підвищення коефіцієнта зміцнення бетону для низьких класів бетону, що може свідчити про значний резерв міцності і потребує подальших теоретичних і експериментальних досліджень. Для трубобетонного елемента з попередніми характеристиками коефіцієнт зміцнення визначали залежно від межі текучості сталевих труби (рис. 2). Результати показують збільшення коефіцієнта  $k_{cs}$  із збільшенням межі текучості сталевих труби, і це збільшення є більш вираженим для нижчих класів бетону. Залежності коефіцієнта зміцнення бетону від геометричних параметрів трубобетонного елемента представлені на рис. 3 – 4. Як видно з графіків, товщина стінки труби є більш впливовою для коефіцієнта зміцнення бетону порівняно з діаметром труби. Подвоєння товщини стінки труби сприяє такому ж подвоєнню коефіцієнта  $k_{cs}$ , а збільшення діаметра труби викликає незначне зниження коефіцієнта зміцнення бетону.



**Рис. 3 – Графіки залежності значень коефіцієнта зміцнення бетону від товщини стінки труби**



**Рис. 4 – Графіки залежності значень коефіцієнта зміцнення бетону від діаметра труби**

**Висновки.** Аналіз зміни коефіцієнта зміцнення бетону від різних факторів виявив запаси міцності трубобетонних елементів із низьких класів бетону та шляхи підвищення міцності трубобетонних елементів шляхом зміни їх геометричних характеристик.

#### Література

1. Митрофанов В. П. Посібник із розрахунку міцності трубобетонних елементів при осьовому стиску: монографія / В. П. Митрофанов, Н. Дергам Алі. - Полтава: ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка, 2008. - 91 с.
2. Pavlikov A. Calculation of reinforced concrete members strength by new concept / A. Pavlikov, D. Kochkarov, O. Harkava // CONCRETE. Innovations in Materials, Design and Structures : Proceedings of the fib Symposium 2019 held in Kraków, Poland 27-29 May 2019. – P. 820 – 827.
3. Pavlikov A.M. Strength Analysis of Concrete-Filled Steel Tubes on the Basis of Plasticity Conditions / A. M. Pavlikov, D. V. Kochkarov and O. V. Harkava // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021/ – Volume 1079. – Chapter 4.

УДК 624.016

*Пенц Володимир, к.т.н., доцент кафедри будівельних конструкцій  
ORCID: 0000-0001-9580-1457, e-mail: vfpents@gmail.com*  
*Кириченко Володимир, к.т.н., доцент кафедри будівельних конструкцій  
ORCID: 0000-0001-9018-842X, e-mail: buddekanat@ukr.net*  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

## СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ

***Анотація.** Труبوبетонні конструкції є основною складовою сталезалізобетонних конструкцій, являють собою металеву оболонку (трубу) заповнену бетоном. Таке поєднання є одним із не багатьох прикладів, коли бетон і сталь взаємно та суттєво підвищують несучу здатність один одного і всього елемента в цілому. В труبوبетонних конструкціях ефективно використовуються специфічні властивості застосовуваних матеріалів, що приводить до значної економії матеріалів та зменшення маси, а також витрат на транспорт. Труبوبетонні конструкції дуже надійні в експлуатації. У граничному стані вони не втрачають несучу здатність миттєво, як залізобетонні, а тривалий час можуть витримувати навантаження, зазнаючи значних деформацій.*

***Ключові слова:** сталезалізобетонні конструкції, труبوبетонні конструкції, виробничі будівлі.*

*Pents Volodymyr, PhD, Associate professor, Department of Building Structures,  
ORCID: 0000-0001-9580-1457, e-mail: vfpents@gmail.com*  
*Kyrychenko Volodymyr, PhD, Associate professor, Department of Building Structures,  
ORCID: 0000-0001-9018-842X, e-mail: buddekanat@ukr.net*  
National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"

## COMPOSITE STEEL-CONCRETE STRUCTURES FOR INDUSTRIAL BUILDINGS

***Abstract.** Tubular concrete structures are the main component of steel-reinforced concrete structures, they are a metal shell (pipe) filled with concrete. This combination is one of the few examples when concrete and steel mutually and significantly increase the load-bearing capacity of each other and of the entire element as a whole. Concrete pipe structures effectively use the specific properties of the materials used, which leads to a significant saving of materials and a reduction in mass, as well as transport costs. Tubular concrete structures are very reliable in operation. In the ultimate state, they do not lose their bearing capacity instantly, like reinforced concrete, but can withstand the load for a long time, undergoing significant deformations.*

***Keywords:** composite steel-concrete structures, pipes, concrete structures, industrial buildings.*

**Вступ.** Сталезалізобетонні конструкції отримали широке розповсюдження в усьому світі. Уже доведено, що їх раціонально застосовувати для перекриття великих прольотів (плити, балки, ригелі, ферми і т.д.), стійок, які сприймають великі навантаження (колони промислових та цивільних будівель, стояки різного призначення, опори ЛЕП і т.д.), в інженерних спорудах. Поперечні перерізи таких конструкцій можуть бути найрізноманітніші. При використанні сталезалізобетонних конструкцій зменшується маса будівель, дуже часто можна обійтися без опалубки, закладних деталей.

**Виділення невирішеної раніше частини проблеми.** При проектуванні будівель та споруд, конструктивні рішення вибирають виходячи з техніко-економічних показників застосування їх для конкретних умов та максимального зниження матеріало- і трудомісткості



та вартості будівництва. Цього, як правило, досягають, застосовуючи ефективні матеріали, повністю використовуючи їх фізико-механічні властивості, що сприяє зменшенню маси конструкції.

**Виклад основного матеріалу.** Елементи сталобетонних конструкцій виконуються зі зовнішнім або внутрішнім армуванням прокатними профілями, мають прямокутну чи круглу форму поперечного перерізу і обов'язково з бетонним заповненням. Вони можуть бути додатково армовані стрижневою арматурою.

На даний момент в нашій країні накопичено значний досвід із дослідження та впровадження трубобетонних конструкцій. Побудовані несучі конструкції різноманітних будівель і споруд із застосуванням трубобетону, такі як колони, ригелі, ферми. Існує багато наукових публікацій у цій галузі [1, 2, 5, 6].

Проектуючи будівлі й споруди, конструктивні рішення вибирають виходячи з техніко-економічних показників застосування їх для конкретних умов та максимального зниження матеріало- і трудомісткості та вартості будівництва. Цього, як правило, досягають, застосовуючи ефективні матеріали, повністю використовуючи їх фізико-механічні властивості, що сприяє зменшенню маси конструкції.

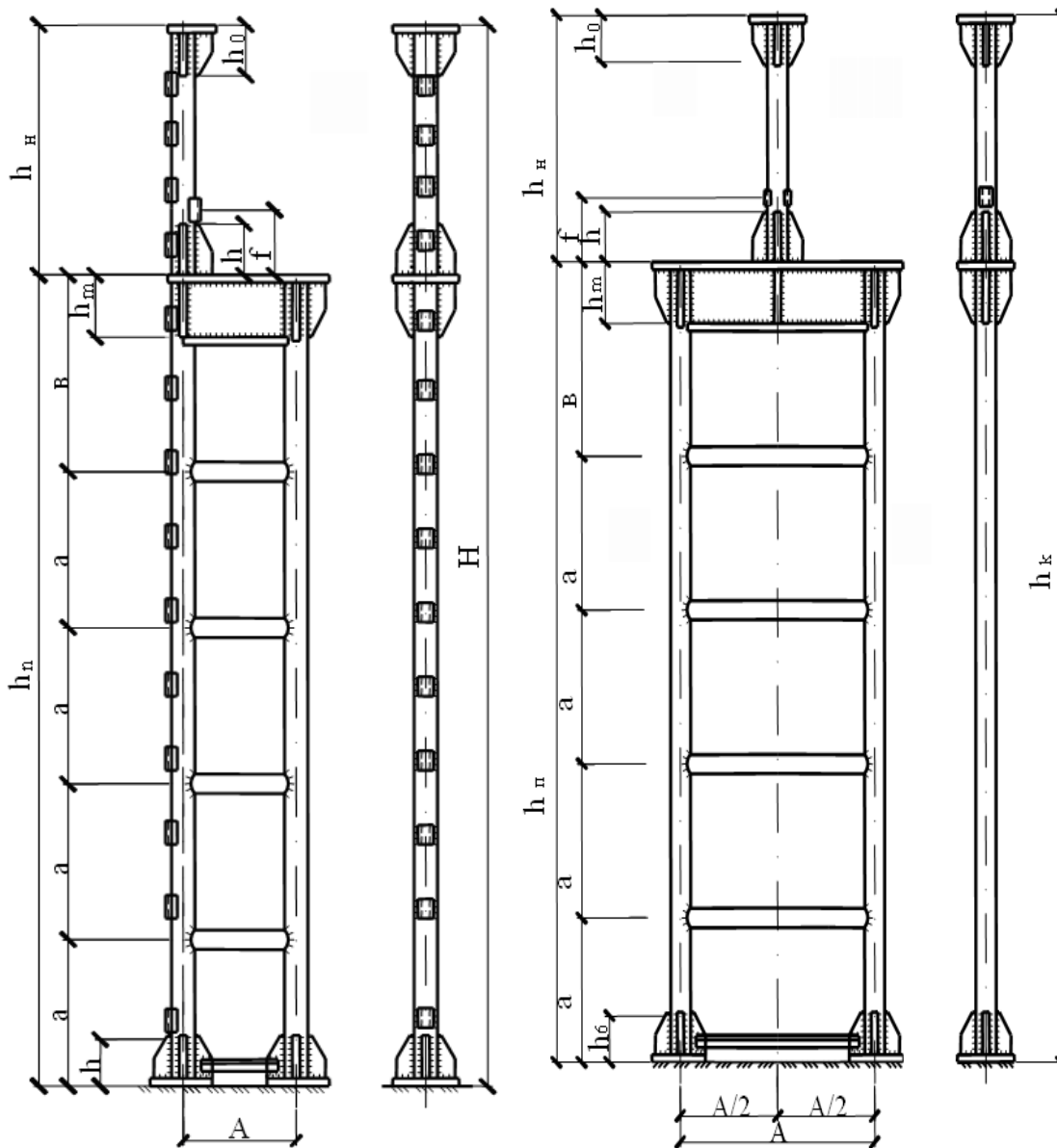
Ці недоліки відсутні в конструкціях із трубобетону, в яких роль арматури виконують сталеві труби. У трубобетонних конструкціях ефективно використовуються специфічні властивості сталі й бетону. При відносно невеликому поперечному перерізі такі конструкції витримують значні навантаження. Це дозволяє отримати значну економію матеріалів та, як наслідок, зниження ваги конструкцій і транспортних витрат. Порівняно із залізобетонними, трубобетонні конструкції є більш індустриальними при виготовленні й монтажі [3]. Вони досить легкі та транспортабельні, не піддаються механічним пошкодженням. Також під час їх виготовлення не застосовують опалубку, арматурні каркаси і закладні деталі.

Розміри трубобетонних конструкцій варто призначати з урахуванням вимог стандартизації, модульності й уніфікації. Необхідно, щоб кількість застосовуваних до однієї конструкції лінійних розмірів (діаметри, товщина стінок труб) була мінімальною, а окремі її елементи були укрупнені настільки, наскільки дозволяє вантажопідйомність монтажних механізмів, габарити, а також умови виготовлення й транспортування.

Проектуючи будівлі і споруди із несучими трубобетонними конструкціями повинні застосовуватися чіткі конструктивні схеми, що забезпечують необхідну міцність, загальну стійкість, а також просторову незмінюваність будівлі або споруди. Міцність та стійкість трубобетонних конструкцій має забезпечуватись як в умовах експлуатації, так і при транспортуванні й монтажі [4].

Позацентрово стиснені колони (постійного чи змінного по висоті перерізу) найбільш доцільні в каркасах одноповерхових виробничих будівель із крановим навантаженням (рис. 1). Перерізи підкранової частини східчастих колон бувають суцільними й решітчастими, причому колони зовнішніх рядів у виробничих будівлях можуть бути несиметричними, а середніх – симетричними. Висота перерізу підкранової частини визначається стандартними прольотами кранових мостів.

Стрижні позацентрово стиснених колон розраховують так само, як і для сталевих конструкцій. У наскрізних колонах підбір перерізів та розрахунок окремих гілок здійснюється за наведеними до сталі формулами для центрально і позацентрово стиснених елементів. Суцільні колони допускається розраховувати як позацентрово стиснені сталеві (при цьому переріз приводиться до сталі). При визначенні наведеного поперечного перерізу та моменту інерції враховується коефіцієнт ефективності роботи бетону в трубі.



**Рис. 1 – Наскрізнi труботетонні колони:**  
а) крайня колона; б) середня колона;

У сталевих фермах труботетонними доцільно робити стиснені елементи, особливо ті, в яких виникають більші зусилля (верхні пояси, опорні розкоси). Особливо ефективні труботетонні елементи великопрольотних ферм (рис. 2), розрахунок яких виконується так само, як і сталевих. Перерізи стиснутих труботетонних елементів підбираються за формулами для розрахунку центрально стиснутих елементів, а центрально розтягнутих – за формулами для центрально розтягнутих сталевих труб (без урахування роботи бетону).

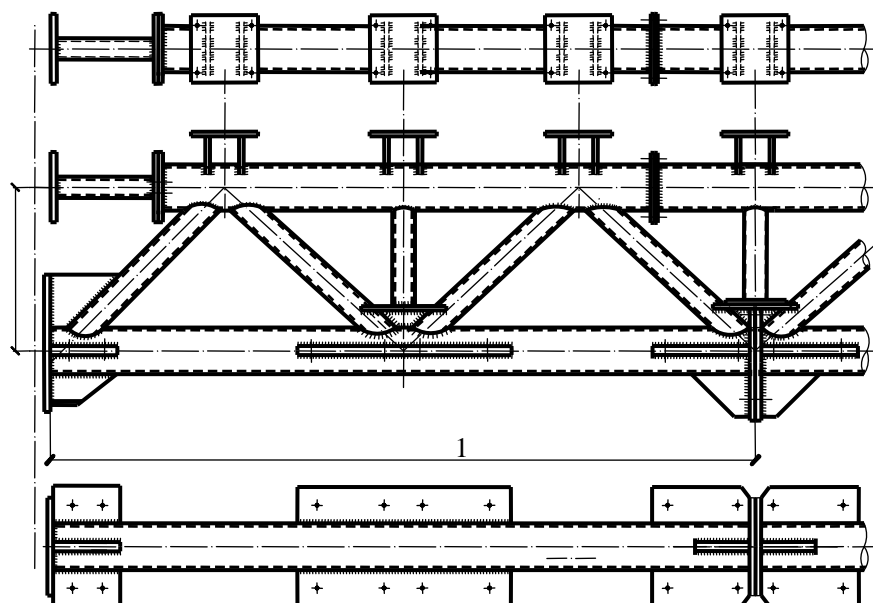


Рис. 2 – Кроввяна труобетонна ферма прольотом 24 м

**Висновки.** При використанні труобетонних елементів в одноповерхових виробничих будівлях виникає ряд додаткових питань порівняно з проектуванням залізобетонних чи металевих конструкцій. Такими питаннями є і стійкість окремих елементів конструкції і конструювання з'єднань елементів.

Особлива увага при проектуванні труобетонних конструкцій повинна бути звернена на міцність, жорсткість та довговічність вузлів з'єднань елементів, що забезпечують надійну передачу зусиль. У запроєктованих конструкціях варто уникати можливості виникнення конструктивних недоліків на стадії виготовлення чи транспортування, також мають передбачатися заходи щодо захисту конструкцій від корозії.

#### Література

1. 4. Стороженко Л.І. Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація / Л.І. Стороженко, В.М. Сурдин, В.І. Єфименко, В.І. Вербицький. – Кривий ріг: КТУ, 2007. – 446 с.
2. Стороженко Л.І. Труобетонні конструкції промислових будівель / Л.І. Стороженко, В.Ф. Пенц, С.Г. Коришун – Полтава: ПолтНТУ, 2008. – 202 с.
3. Стороженко Л.І. Експериментальні дослідження згинальних труобетонних елементів квадратного перерізу / Л.І. Стороженко, В.Ф. Пенц, Л.М. Стовба // Зб. «Коммунальное хозяйство городов». – Харків: «Техніка», 2009. С.12–19.
4. Стороженко Л.І. Рекомендації щодо проектування згинальних елементів із тонкостінних труб квадратного перетину, заповнених бетоном / Л.І.Стороженко, В.Ф.Пенц, Л.М.Стовба // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”: – Львів, 2010. – № 664: Теорія і практика будівництва. – С. 255–261.
5. Lu Y. Probabilistic Drift Limits and Performance Evaluation of Reinforced Concrete Columns / Y. Lu, X. Gu, J. Guan // Journal of Structural Engineering. – 2005. – N6. – P. 966–978.
6. Mursi M. Strength of Concrete Filled Steel Box Columns Incorporating Interaction Buckling / M. Mursi, B. Uy // Journal of Structural Engineering. – 2003. – N5. – P. 626–639.

УДК 624.016

*Семко Олександр, д.т.н., професор,  
ORCID: 0000-0002-2455-752X, e-mail: al.vl.semko@gmail.com  
Дроботя Олександр, аспірант,  
ORCID: 0000-0002-0288-081X, e-mail: sashamailboxxx@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **КЛАСИФІКАЦІЯ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ З ХОЛОДНОФОРМОВАНИХ СТАЛЕВИХ ПРОФІЛІВ ЗА УМОВАМИ ЗЧЕПЛЕННЯ ЇХ СКЛАДОВИХ**

*Анотація.* Одними з найбільш поширених композиційних конструкцій (елементів) є сталезалізобетонні балки, в яких несуча здатність безпосередньо пов'язана з умовами зчеплення між бетоном і конструкційним сталевим профілем. При влаштуванні нових композитних балок чи утворенні композитної конструкції під час підсилення, необхідно конструктивними заходами (встановлення анкерів, попереднім обтиском сталеву частиною перерізу бетонної тощо) забезпечувати повне зчеплення між бетонною та сталевими частинами.

*Ключові слова:* сталезалізобетонні конструкції, холодноформовані сталеві профілі, сумісна робота

*Semko Oleksandr, Sc.D, Professor,  
ORCID: 0000-0002-2455-752X, e-mail: al.vl.semko@gmail.com  
Drobotia Oleksandr, postgraduate,  
ORCID: 0000-0002-0288-081X, e-mail: sashamailboxxx@gmail.com  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

## **CLASSIFICATION OF PRE-STRESSED STEEL-REINFORCED CONCRETE STRUCTURES FROM COLD-FORMED STEEL PROFILES ACCORDING TO THE CONNECTION CONDITIONS OF THEIR COMPONENTS**

*Abstract.* One of the most common composite structures (elements) are steel-reinforced concrete beams, in which the load-bearing capacity is directly related to the adhesion conditions between the concrete and the structural steel profile. When installing new composite beams or forming a composite structure during reinforcement, it is necessary to ensure full adhesion between the concrete and steel parts by means of constructive measures (installation of anchors, preliminary crimping with a steel part of the concrete section, etc.).

*Keywords:* steel-reinforced concrete structures, cold-formed steel profiles, joint work

Зменшення матеріалоємності несучих сталезалізобетонних конструкцій можливо досягти за рахунок:

- застосування високоміцних й ефективних матеріалів (бетону і конструкційної сталі), опір яких використовується у повному обсязі;
- створення нових конструктивних форм їх поперечних перерізів шляхом раціонального поєднання прокатних профілів та залізобетону.

Проектування цих конструкцій гальмується відсутністю оптимальних методів їх розрахунку, сутність яких полягає у визначенні мінімального перерізу арматури і

конструкційної сталі, розмірів поперечного перерізу та способів армування складних конструктивних елементів.

Одними з найбільш поширених композиційних конструкцій (елементів) є сталезалізобетонні балки, в яких несуча здатність безпосередньо пов'язана з умовами зчеплення між бетоном і конструкційним сталевим профілем. Чен С. в роботі [5] поділяє напружено-деформований стан композитних балок на три випадки:

- нелінійно-композитний, коли зчеплення між бетоном і сталевим профілем відсутнє;
- частково композитний, коли зв'язок між бетоном і профілем частковий;
- повністю композитний, коли між бетоном і конструкційним сталевим профілем існує повне зчеплення.

Для проведення подальших наукових експериментально-теоретичних досліджень та застосування розрахункових положень діючих норм [2], виникла необхідність в класифікації попередньо напружених сталезалізобетонних балок за загальними випадками їх напружено-деформованого стану, які класифікують їх композитні властивості.

При підсиленні сталевих балок із прокатних профілів шляхом їх обетонування чи при підсиленні залізобетонних конструкцій шляхом встановлення додаткових сталевих елементів із сталевих листів і прокатних профілів утворюються сталобетонні чи сталезалізобетонні комплексні конструкції [1, 3, 4]. В результаті аналізу прямокутних перерізів сталобетонних балок, які утворюються при підсиленні та застосовуються в сучасному будівництві, встановлена наступна їх класифікація:

А) для пошкоджених сталевих елементів:

- заповнення бетоном внутрішнього простору між наскрізною сталевією конструкцією;
- повне обетонування пошкодженого сталевих профілю;

Б) для пошкоджених залізобетонних елементів:

- підсилення сталевими накладками розтягнутої зони перерізу;
- влаштування обойми із сталевих профілів навколо пошкодженого залізобетонного елемента.

В будь-якому випадку, при влаштуванні нових композитних балок чи утворенні композитної конструкції під час підсилення, необхідно конструктивними заходами забезпечувати повне зчеплення між бетонною та сталевими частинами. До конструктивних заходів можливо віднести встановлення анкерних засобів між композитними частинами елемента, попереднім обтиском сталевією частиною перерізу бетонної тощо.

### Література

1. Гасенко А.В., Семко О.В., Штанько К.Г. Застосування перерозподілу зусиль для створення попередніх самонапружень у конструктивних частинах сталезалізобетонних перекриттів. Зб. тез міжн. наук.-практ. конф. молодих вчених «BUILD-MASTER-CLASS-2021». (Київ: КНУБА 01-03 грудня 2021 р.). DOI: 10.32347/tit2020.conf.06. К: КНУБА, 2021. С. 148-149.
2. ДБН В.2.6-160:2010. Сталезалізобетонні конструкції. Основні положення. К.: ДП «Укрархбудінформ», 2010. 55 с.
3. Ковальов М.А., Ігнатенко А.В. Несуча здатність сталобетонних балок. Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: зб. накл. пр. ПДАБА. 2008. Вип. 47. С. 328-333.
4. Стороженко Л.І., Яхін С.В. Несуча здатність сталевих двотаврів, підсилених залізобетоном під дією згину. Зб. пр. VII укр. наук.-техн. конф. «Металеві конструкції». Дн-ськ, 2010. С. 21-25.
5. Chen S. Load carrying capacity of composite beams prestressed with external tendons under positive moment. *Journal of Constructional Steel Research*. 2005. Vol. 61. P. 515-530.

УДК 624.016:69.059.3:725.1:62

*Семко Олександр, д.т.н., професор, завідувач кафедри будівництва та цивільної інженерії  
ORCID: 0000-0002-2455-752X, e-mail: al.vl.semko@gmail.com*

*Магас Наталія, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії  
ORCID: 0000-0002-4459-3704, e-mail: magasnataliya@gmail.com*

*Гасенко Антон, к.т.н., доцент, докторант кафедри будівництва та цивільної інженерії  
ORCID: 0000-0003-1045-8077, e-mail: gasentk@gmail.com*

*Філоненко Олена, д.т.н., доцент, професор кафедри будівництва та цивільної інженерії  
ORCID: 0000-0001-8571-9089, e-mail: olena.filonenko.pf@gmail.com*

*Авраменко Юрій, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії  
ORCID: 0000-0003-2132-5755, e-mail: avramenko.pntu@gmail.com*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ ПІДСИЛЕННІ ПОШКОДЖЕНИХ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ**

*Анотація.* Робота стосується проектування підсилення несучих конструкцій виробничих будівель та дослідження впливу зміцнення конструкції в результаті об'єднання сталевих прокату та існуючої залізобетонної колони з пошкодженнями бетонної частини перерізу на загальну несучу здатність сталезалізобетонної стійки.

*Ключові слова:* залізобетонні конструкції, пошкодження, підсилення, сталезалізобетонні конструкції.

*Semko Oleksandr, Sc.D, Professor, Head of the Department of Construction and Civil Engineering  
ORCID: 0000-0002-2455-752X, e-mail: al.vl.semko@gmail.com*

*Mahas Nataliia, PhD, Associate professor of the Department of Construction and Civil Engineering, ORCID: 0000-0002-4459-3704, e-mail: magasnataliya@gmail.com*

*Hasenko Anton, PhD, Associate professor, doctoral student of the Department of Construction and Civil Engineering, ORCID: 0000-0003-1045-8077, e-mail: gasentk@gmail.com*

*Filonenko Olena, Sc.D, Associate professor, Professor of the Department of Construction and Civil Engineering, ORCID: 0000-0001-8571-9089, e-mail: olena.filonenko.pf@gmail.com*

*Avramenko Yurii, PhD, Associate professor of the Department of Construction and Civil Engineering, ORCID: 0000-0003-2132-5755, e-mail: avramenko.pntu@gmail.com*

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

## **COMPOSITE STEEL AND CONCRETE STRUCTURES WHEN REINFORCING DAMAGED INDUSTRIAL BUILDINGS**

*Abstract.* The work concerns the design of the reinforcement of the load-bearing structures of industrial buildings and the study of the effect of the reinforcement of the structure as a result of the combination of rolled steel and the existing reinforced concrete column with damage on the overall bearing capacity of the steel-reinforced concrete column.

*Keywords:* reinforced concrete structures, damage, reinforcements, composite steel and concrete structures.

**Вступ.** Під час обстеження конструкцій з метою подальшого капітального ремонту виникає потреба у визначенні способу підсилення пошкоджених конструкцій будівель і споруд. При розробці конструкції підсилення залізобетонних конструкцій з використанням сталевих прокату утворюються сталезалізобетонні конструкції.

**Виділення не вирішеної раніше частини проблеми.** Пошкодження захисного шару бетонної колони (див. рис. 1), наприклад, в результаті впливу атмосферної та експлуатаційної (технологічної) вологи, призводить до подальшого руйнування бетону та арматури залізобетонних конструкцій та потребує підсилення. Цікавим є вплив сталевих об'єктів підсилення на загальну несучу здатність утвореної сталезалізобетонної колони.

Дослідження впливу зміцнення конструкції в результаті об'єднання сталевого прокату та існуючої залізобетонної колони з пошкодженнями бетонної частини перерізу на загальну несучу здатність сталезалізобетонної стійки є **актуальною задачею, що й є темою роботи.**

**Виклад основного матеріалу.** При постійному впливі вологи на залізобетонні конструкції виникають пошкодження захисного шару бетону, які призводять до подальшого руйнування бетону та арматури залізобетонних конструкцій. Розглянемо варіант підсилення на прикладі виробничої будівлі у Полтавській області. Призначення виробничої будівлі пов'язано з роботами з технологічними рідинами, що призводить до підвищеної вологості в середині приміщення. Також, зважаючи, що будівля виробнича, опалення будівлі недостатнє, що призводить до утворення конденсату на поверхнях конструкцій.

Виробнича будівля каркасна з габаритними розмірами 36×66,5 м, складається з двох поздовжніх прольотів шириною 18 м та поперечного прольоту шириною 12 м. Поздовжні прольоти мають позначку низу кроквяних конструкцій +8,400, поперечний проліт +12,600. Крок крайніх та середніх колон 6 м. Фундаменти – залізобетонні, монолітні, стовпчасті. У поздовжніх прольотах колони залізобетонні, прямокутні, одногілкові перетином 500×600 мм у колон середнього ряду, перетином 500×500 мм у колон крайнього ряду. Колони для будівель без мостових кранів. Кроквяні конструкції – залізобетонні розкісні ферми у прольотах шириною 18 м. Плити покриття - залізобетонні, розміром 6×3 м. У поперечному прольоті колони залізобетонні, двогілкові перетином 500×1000 мм. Кроквяні конструкції – залізобетонні двоххилі балки шириною 12 м. Балки двотаврового перетину, перемінної висоти з ухилом верхнього поясу. Плити покриття - залізобетонні, розміром 6×3 м та 6×1,5 м. Стінові панелі – з керамзитобетону, одношарові з фактурними шарами з цементно-піщаного розчину товщиною 20 мм, товщина панелей 200 мм. Наявні ділянки огорожувальних конструкцій з цегляної кладки. Вікна – дерев'яні рами з остекленням, простінки між вікнами – кладка з гіпсобетонних блоків. Покрівля - з руберойду. Водозбіг – організований, внутрішній через водоприймальні воронки.

При виконанні робіт з обстеження виробничої будівлі було відмічено вплив атмосферної та експлуатаційної (технологічної) вологи на несучі та огорожувальні залізобетонні конструкції каркасної будівлі. Так, серед іншого, залізобетонні колони середнього ряду мають поздовжні тріщини захисного шару бетону, локальні виколи захисного шару бетону, значні площі руйнування захисного шару бетону та корозійні пошкодження робочої поздовжньої арматури (рис. 1). Загальний стан залізобетонних колон середнього ряду – стан 3 – «непридатний до нормальної експлуатації» та вимагає підсилення.

Було розроблено креслення підсилення сталевими обоймам з 4 кутиків 75×8 мм на планках 100×8 з кроком 500 мм (рис. 2) для колон середнього ряду.

Порядок встановлення сталевих обойм:

- очистити верхню площину обрізу стакану залізобетонного фундаменту до "живого" бетону;

- на підготовлену поверхню вкладається вирівнюючий шар цементно-піщаного розчину марки М100, на який встановлюються з притиском чотири сталеві опорні кутики 75×8 мм обойми підсилення;

- під монолітне бетонне перекриття підводяться інші чотири сталеві опорні кутики 75×8 мм, заповнивши простір між кутиками і бетонним перекриттям цементно-піщаним розчином марки М100;

- із кутиків 75×8 мм та пластин  $t=8$  мм  $b=100$  мм виготовляються "драбинки". При цьому довжина кутиків уточнюється по місцю і повинна бути більша відстані між встановленими опорними горизонтальними кутиками на 10-20мм. У полицках цих кутиків, перпендикулярних площині "драбинки", на середині їх довжини робляться вирізи, що дозволяють виготовлені драбинки зігнути для того, щоб їх довжина помістилась у проектне положення. "Драбинки" встановлюють до колони, завівши нижні кінці на опорні кутики на обрізі бетонного фундаменту, а верхні кінці - до опорних кутиків під монолітним бетонним

переkritтям. Підведені кінці кутиків "драбинок" приварюють до опорних кутиків. Таким чином встановлюються підготовлені "драбинки" із обох менших сторін колони;

- на рівні вирізів у кутиках обійми підсилення ставиться хомут із полоси та тяжів  $\varnothing 20$ мм, за допомогою яких драбинки притискуються у вертикальне положення до підсилювальної частини колони по всій її висоті затягуючи гайки;

- до встановлених у вертикальне прямолінійне положення драбинок приварюються полоски  $t8\ b=100$ мм із обох більших сторін колони;

- зроблені вирізи у полочках кутиків "драбинок" заварити;

- виконати антикорозійний захист встановлених сталевих конструкцій підсилення 2 шарами фарби ПФ115 по ґрунту ГФ021;

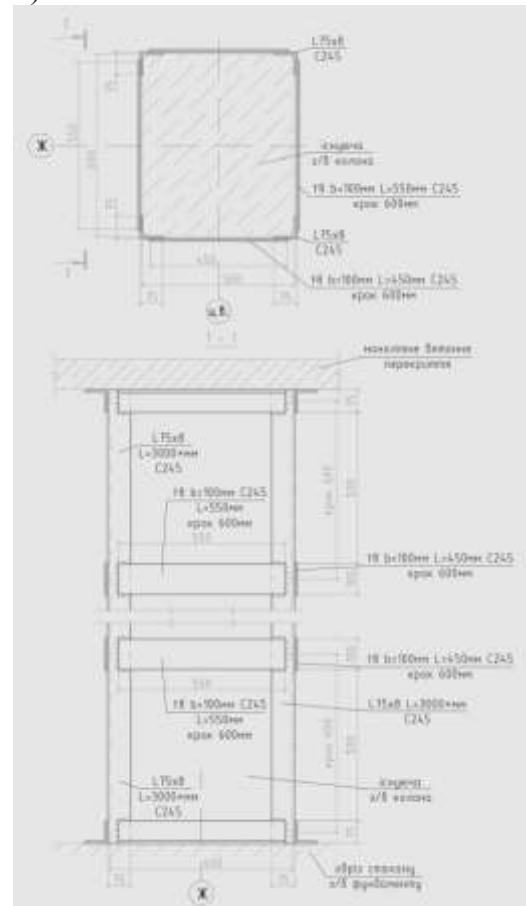
- після проведенням підсилень пошкоджених частин залізобетонних колон, роздрібнений та відколотий бетон необхідно видалити, оголену арматуру зачистити від іржі за допомогою сталеві щітки. Після очистки від іржі арматурну сталь пофарбувати активним антикорозійним складом за два рази. В складі для другого шару домішати висушений кварцовий пісок зернистістю 0,2-0,7мм. Потім зволожити пошкоджений бетон та арматуру, що підлягає захисту. Підготовлений викол замонолітити бетоном класу С32/40 із ретельним ущільненням або заторкретувати цементно-піщаним розчином марки М200 до проектних розмірів.

а)



**Рис. 1 – Пошкодження залізобетонних колон середнього ряду виробничої будівлі, що потребують підсилення**

б)



**Рис. 2 – Утворення сталезалізобетонних конструкцій при підсиленні колон середнього ряду виробничої будівлі**



Підсилення залізобетонних колон рекомендовано виконувати за відсутності тимчасового (снігового чи будь-якого іншого) навантаження на перекриття та покрівлю, а також по максимально технологічно можливій відсутності заповнення резервуарів водою.

### *Література*

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 *Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану*. [Чинний від 2017-04-01]. – К.: Мінрегіон України, 2017. – 50 с.
2. ДБН В.2.6-98:2009. *Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення* [Чинний від 2011-06-01]. К.: Мінрегіонбуд України, Державне підприємство "Укрархбудінформ", 2011. – 71 с.
3. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. *Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд*. [Чинний від 2017-04-01]. К.: ДП "УкрНДНЦ", 2017. – 68.
4. ДСТУ-Н Б В.2.6-186:2013 *Настанова щодо захисту будівельних конструкцій будівель та споруд від корозії*. [Чинний від 2014-01-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2013.- 30 с.
5. Мальганов А.И., Плевков В.С., Полищук А.И. *Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий*. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1992. – 456 с.

УДК 624.016:[69.059.2:725.84-021.341

*Семко Олександр, д.т.н., професор, завідувач кафедри будівництва та цивільної інженерії*  
ORCID: 0000-0002-2455-752X, e-mail: al.vl.semko@gmail.com

*Юрін Олег, к.т.н., доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії*  
ORCID: 0000-0002-9290-9048, e-mail yurinoleg54@gmail.com

*Авраменко Юрій, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії*  
ORCID: 0000-0003-2132-5755, e-mail: avramenko.pntu@gmail.com

*Галінська Тетяна, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії*  
ORCID: 0000-0002-6138-2757, e-mail: Galinska@i.ua

*Зигун Аліна, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії*  
ORCID: 0000-0002-1743-2294, e-mail: alinazygun@gmail.com

*Магас Наталія, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії*  
ORCID: 0000-0002-4459-3704, e-mail: magasnataliya@gmail.com

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ РЕМОНТІ ВІДКРИТИХ СПОРТИВНИХ СПОРУД

*Анотація.* У роботі розглянуто характерні пошкодження залізобетонних конструкцій зі сталезалізобетонними вузлами відкритих спортивних споруд з урахуванням умов експлуатації та розроблено рекомендації щодо ремонту несучих конструкцій відкритої спортивної споруди.

*Ключові слова:* залізобетонні конструкції, сталезалізобетонні конструкції, пошкодження.

*Semko Oleksandr, Sc.D, Professor, Head of the Department of Construction and Civil Engineering*  
ORCID: 0000-0002-2455-752X, e-mail: al.vl.semko@gmail.com

*Yurin Oleg, PhD, Associate professor of the Department of Construction and Civil Engineering*  
ORCID: 0000-0002-9290-9048, e-mail yurinoleg54@gmail.com

*Avramenko Yurii, PhD, Associate professor of the Department of Construction and Civil Engineering, ORCID: 0000-0003-2132-5755, e-mail: avramenko.pntu@gmail.com*

*Galinska Tatiana, PhD, Associate professor of the Department of Construction and Civil Engineering, ORCID: 0000-0002-6138-2757, e-mail: Galinska@i.ua*

*Zygun Alina, PhD, Associate professor of the Department of Construction and Civil Engineering*  
ORCID: 0000-0002-1743-2294, e-mail: alinazygun@gmail.com

*Mahas Nataliia, PhD, Associate professor of the Department of Construction and Civil Engineering, ORCID: 0000-0002-4459-3704, e-mail: magasnataliya@gmail.com*

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

## COMPOSITE STEEL AND CONCRETE STRUCTURES DURING REPAIR OF OPEN SPORTS FACILITIES

*Abstract.* The paper considers the characteristic damage to reinforced concrete structures with steel-reinforced concrete units of outdoor sports facilities, taking into account operating conditions, and develops recommendations for the repair of load-bearing structures of outdoor sports facilities.

*Keywords:* reinforced concrete structures, composite steel and concrete structures, damage.

**Вступ.** Відкриті спортивні споруди, зважаючи на умови експлуатації, піддаються значним впливам атмосферної вологи та потребують постійного обстеження з визначенням технічного стану та плануванням і виконанням планових (поточних) і капітальних ремонтів конструкцій.

**Виділення невіршеної раніше частини проблеми.** Сталезалізобетонні вузли залізобетонних рам відкритих спортивних споруд зазнають атмосферних впливів (замокання конструкцій внаслідок недостатньої герметичності покриття споруди, замокання від незначного карнизного звису покриття), що призводить до руйнування захисного шару бетону та корозію арматури сталезалізобетонних вузлів та потребує підсилення чи ремонту.

**Виклад основного матеріалу.** Відкрита спортивна споруда виконана зі збірних залізобетонних двоповерхових рам з площинних залізобетонних елементів товщиною 400мм з пройомами в рівні першого, другого та третього поверхів. Вузли рам виконані у вигляді сталезалізобетонних брускових елементів з окаймляючими кутиками 50×4. Перекриття над першим поверхом виконано панелями з порожнинами, панелі трибун частково спираються на сталеві столики, приварені до залізобетонних рам. Покриття над трибунами виконано у вигляді сталевих прогонів швелеру №18 з кроком 1,5 м по консольних залізобетонних рамах. Покриття з профнастилу виконано багатоскатне з неорганізованим водовідведенням на передній та задній фасад будівлі.

Основні пошкодження залізобетонних рам – це руйнування захисного шару бетону монтажних вузлів з корозією арматури захисного обетонування монтажних вузлів та корозією зварних швів в монтажних вузлах (рис. 1, б, в). Відмічено руйнування опоряджувального шару глибиною 1-2 мм внаслідок морозобійного руйнування. Стан залізобетонних рам через значні пошкодження захисного шару бетону та корозійне пошкодження арматури вузлів рам – стан 3 – «непридатний до нормальної експлуатації».

Дефекти та пошкодження панелей перекриття орієнтовно можна класифікувати як:

1. Руйнування опорної частини панелей при встановлення її в проектне положення на столики, приварені до закладних деталей залізобетонних рам (рис. 1, д) – руйнування захисного шару бетону, оголення арматури.

2. Відрив столику від закладної деталі залізобетонної рами, корозія столиків для спирання панелей та закладних деталей залізобетонних рам (рис. 1, д).

3. Замокання панелей перекриття та цегляної кладки (рис. 1, г, д) внаслідок порушення герметизації стиків панелей перекриття.

4. «Висоли» – концентрація продуктів вилужування бетону внаслідок замочування поверхні панелей протіканням.

5. «Дутики» – руйнування захисного шару бетону через його недостатню товщину (до 5 мм) та замокання конструкцій. Свідчить про корозію арматури сіток до 1-2 мм.

Стан панелей перекриття на трибунах – стан 2 – «задовільний».

Були розроблені рекомендації щодо ремонту несучих конструкцій відкритої спортивної споруди, а саме:

Залізобетонні рами. З метою безаварійної експлуатації слід очистити від зруйнованого захисного шару бетону та корозії всі з'єднувальні сталезалізобетонні вузли залізобетонних рам, відновити кородоване зварювання (до 100 см на вузол) та кодовані з'єднувальні елементи і елементи армування обетонування (до 5 кг на вузол), виконати антикорозійний захист металевих елементів та обетонування вузлів (до 0,1 м<sup>3</sup> на вузол). Руйнування опоряджувального шару внаслідок морозобійного руйнування потребує очистки та відновлення опоряджувального шару.

Залізобетонні панелі перекриття. Кородовані столики для спирання панелей та закладні деталі залізобетонних рам слід зачистити, покрити ґрунтовкою та пофарбувати. Панелі, що мають «висоли» та «дутики», сліди замокання, порушення захисного шару бетону, слід повністю очистити від пошкодженого бетону та відновити захисний шар бетону шляхом оштукатурювання цементним розчином.



Рис. 1 – Пошкодження несучих конструкцій спортивної споруди

#### Література

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. [Чинний від 2017-04-01]. – К.: Мінрегіон України, 2017. – 50 с.
2. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення [Чинний від 2011-06-01]. К.: Мінрегіонбуд України, Державне підприємство "Укрархбудінформ", 2011. – 71 с.
3. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. [Чинний від 2017-04-01]. К.: ДП "УкрНДНЦ", 2017. – 68.
4. ДСТУ-Н Б В.2.6-186:2013 Настанова щодо захисту будівельних конструкцій будівель та споруд від корозії. [Чинний від 2014-01-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2013.- 30 с.

УДК 624.073.5

*Сіробаба Віталій, к.т.н., голова циклової комісії  
ORCID: 0000-0001-9187-638X, e-mail: vitalij.sirobaba@gmail.com  
Третяк Андрій, студент 4-го курсу  
ORCID: 0000-0002-8725-19232, e-mail: tretiak0302@gmail.com  
Сумський будівельний коледж*

## ЛЕГКІ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ ПАНЕЛІ ПЕРЕКРИТТЯ

***Анотація.** У роботі описано конструкцію сталезалізобетонної панелі перекриття, яка поєднує у собі ефективне сполучення матеріалів для отримання економічного ефекту. Використання таких конструкцій у промисловому та цивільному будівництві надають змогу полегшити будівлю у цілому та зменшить витрати на матеріали та монтаж.*

***Ключові слова:** панелі, легкий бетон, сталезалізобетонні конструкції.*

*Sirobaba Vitaliy, PhD, teacher,  
ORCID: 0000-0001-9187-638X, e-mail: vitalij.sirobaba@gmail.com  
Tretiak Andriy, IV year student,  
ORCID: 0000-0002-8725-19232, e-mail: tretiak0302@gmail.com  
Sumy building collage*

## LIGHT'S STEEL REINFORCED CONCRETE FLOOR SLABS

***Abstract.** The paper describes the design of a reinforced concrete floor panel, which combines an effective combination of materials to obtain an economic effect. The use of such structures in industrial and civil construction will facilitate the building as a whole and reduce the cost of materials and installation.*

***Keywords:** slabs, light concrete steel reinforced concrete structures.*

**Вступ.** Будівельна галузь в Україні починає адаптуватись до умов воєнного часу. Все більшої популярності набувають швидко монтуємі тимчасові будівлі та споруди. Пошкоджені будівлі внаслідок військової агресії багато будівель мають пошкодження перекриття або покриття, які потребують заміни. Альтернативою таких плит може бути легка сталезалізобетонна панель. Особливістю даної панелі є відносна легкість у порівнянні з плитами монолітними або збірними з важкого бетону. Також виготовлення такої панелі може бути по місцю будівництва. Як наслідок дана панель може бути використана без додаткового перевантаження існуючих конструкцій та з монтована на місці.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Вагомі результати у проведенні дослідження із застосуванням легких бетонів у сталезалізобетонних конструкціях, що працюють на згин, мають Л.І.Стороженко [1], О.В. Семко [2], О.П. Воскобійник [3] С.Ю. Беляєва [4], С.Г. Шевчук [5] та інші автори.

**Виділення невирішеної раніше частини проблеми.** Легкі сталезалізобетонні панелі перекриття це складна конструкція із профільованого настилу, робочої арматури, сегментного профілю та легкого бетону. Розподіл навантаження даної конструкції наступний: Профільований лист разом з арматурою сприймають всі розтягувальні напруження в елементі. Сегментний профіль створює жорсткість елементу у цілому, ділить верхню стиснуту зону бетону на сегменти малої форми. Саме сегментний профіль який розкріплюватиме профільований лист виконуватиме функцію листового анкера для сумісної роботи всієї конструкції Легкий бетон поділений на малі сегменти сприймає навантаження у стиснутій зоні.

Таким чином отримано ефективну конструкцію з окремих елементів які доповнюють один одного. До переваг таких конструкцій можна віднести: відносно мала вага конструкції та мала теплопровідність (у порівнянні з конструкціями з важкого бетону), легкість монтажу,

виготовлення може бути будьякої форми і розмірами, жорсткість конструкції. Один із основних недоліків цих конструкцій відносять організацію додаткових заходів захисту від пожежі.

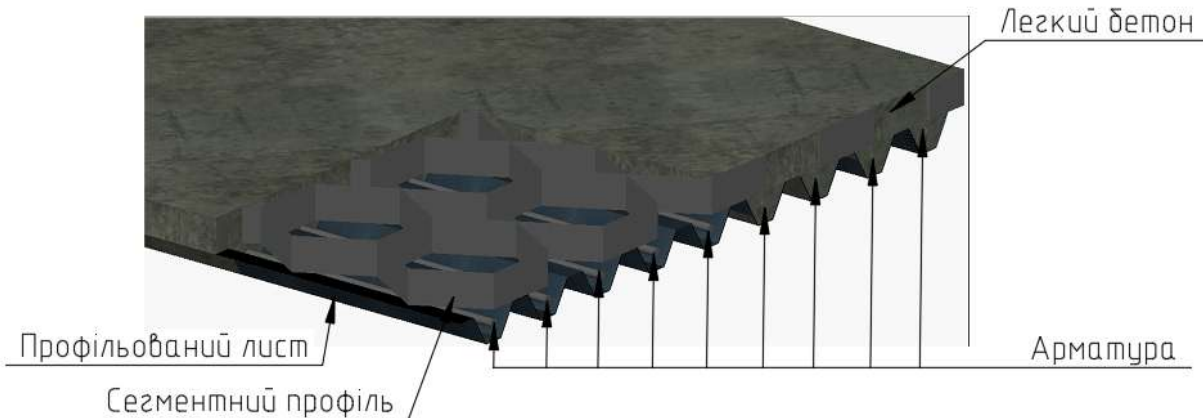


Рис. 1 – Легка сталезалізобетонна панель перекриття

**Висновки.** Легкі сталезалізобетонні панелі перекриття конструкції складної будови де кожен елемент підсилює недоліки іншого. Дослідження наведених конструкцій потребує детального вивчення, яке допоможе визначитись із цільовим призначенням конструкцій, методами їх розрахунків, та оптимальних характеристик матеріалів для виготовлення.

#### Література

1. Стороженко Л.І. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці: Монографія / Л.І Стороженко, О. І. Лапенко. – Полтава: АСМІ, 2008. – 312 с.
2. Семко О.В. Експериментальні дослідження несучої здатності гнучких анкерів у сталезалізобетонних конструкціях / О. В. Семко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Вип. 15. – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – С. 66 – 71.
3. Воскобійник О.П. Методики теоретичних досліджень напружено-деформованого стану полістиролбетонних плит по сталевому профільованому настилу / О.П. Воскобійник, О.В. Череднікова // Тези 69-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету. (Полтава, 19 квіт. – 19 трав. 2017 р.) – Полтава : ПолтНТУ, 2017. – Т. 1. – С. 106 – 107.
4. Беляєва С. Ю. Міцність і деформативність залізобетонних плит, армованих сталевим профільованим настилом і поперечними анкерами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01 "Будівельні конструкції, будівлі та споруди" / С.Ю.Беляєва. – Київ, 2006. – 20 с.
5. Шевчук С. Г. Несуча здатність та деформативність сталобетонних перекриттів із застосуванням зовнішнього армування із хвилястих настилів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.01.

УДК 624.073.8

*Шевченко Анна, к.т.н., доцент*  
ORCID: 0000-0001-6276-9761, e-mail: Annshevc@gmail.com  
*Угненко Євгенія, д.т.н., професор*  
ORCID: 0000-0002-3945-788X, e-mail: ugnenko.ievgenia@gmail.com  
Український державний університет залізничного транспорту

*Шевченко Олександр, головний фахівець з впровадження технологій*  
e-mail: saneksheva80@gmail.com  
ВІМ ООО «ХПКІ ТЕП-СОЮЗ»

*Шарій Григорій, д.е.н., директор ННІ архітектури, будівництва та землеустрою*  
ORCID: 0000-0001-5098-2661, e-mail: shariy.grigoriy61@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ МАТЕРІАЛІВ СТАЛЕБЕТОННИХ КРУГЛИХ ПЛИТ

**Анотація.** Одним з головних напрямів технічного прогресу в будівництві є застосування сучасних матеріалів та ефективних конструкцій, зменшення витрат за рахунок зниження матеріаломісткості та трудомісткості, скорочення тривалості будівництва та покращення експлуатаційних якостей конструкцій. Досягти цього можна шляхом освоєння нових та вдосконалення ефективних видів конструкцій армованого бетону, до яких належать і конструкції із зовнішнім армуванням листовою сталлю. Практика застосування конструкцій із зовнішнім армуванням у будівництві говорить про їх конкурентоспроможність із традиційними залізобетонними елементами. Деякі недоліки, зумовлені малою корозійною стійкістю та вогнестійкістю, можуть бути подолані за рахунок застосування різних захисних покриттів.

**Ключові слова:** круглі сталебетонні плити, армований стан, моделювання сумісної роботи матеріалів, програмні комплекси, сталебетон.

*Anna Shevchenko, Ph.D., Associate Professor*  
ORCID: 0000-0001-6276-9761, e-mail: Annshevc@gmail.com  
*Evgeniya Ugnenko, Doctor of Technical Sciences, Professor*  
ORCID: 0000-0002-3945-788X, e-mail: ugnenko.ievgenia@gmail.com  
Ukrainian State University of Railway Transport

*Oleksander Shevchenko, chief specialist in the implementation*  
e-mail: saneksheva80@gmail.com  
VIM technologies Design Institute "Teploelektroproekt-soyuz"

*Grigoriy Shariy, Doctor of Economics, Associate Professor*  
ORCID: 0000-0001-5098-2661, e-mail: shariy.grigoriy61@gmail.com  
National University «Yu. Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine

## RESEARCH AND MODELING OF JOINT WORK OF STEEL MATERIALS OF CONCRETE ROUND PLATES

**Abstract.** One of the main directions of technical progress in construction is the use of modern materials and efficient structures, reducing costs by reducing material and labor intensity,

*reducing the duration of construction and improving the performance of structures. This can be achieved by developing new and improving the effective types of reinforced concrete structures, which include structures with external reinforcement of sheet steel. The practice of using structures with external reinforcement in construction shows their competitiveness with traditional reinforced concrete elements. Some disadvantages due to low corrosion resistance and fire resistance can be overcome by applying various protective coatings.*

**Key words:** *round reinforced concrete slabs, reinforced state, modeling of joint work of materials, software complexes, reinforced concrete.*

Застосування сталобетонних конструкцій дозволяє значно покращити показники матеріаломісткості, вартості та трудомісткості будівництва, що досягається завдяки багатофункціональному використанню сталевих листів: застосування як складової частини опалубки, закладних деталей; поєднання функції робочої арматури із захисними та ізоляційними функціями; компактне розташування біля зовнішньої грані елемента, що згинається; здатністю сприймати розтягуючі зусилля одночасно у всіх напрямках; можливістю виконання посилюючих заходів на етапі монтажу конструкції у проектне положення; влаштування необхідних отворів та закладання кріпів. Найбільший ефект від зовнішнього армування досягається у згинальних в двох напрямках плитах перекриттів та покриттів будівель та споруд. Плоский сталевий лист працює в умовах двовісного розтягування, завдяки чому підвищується жорсткість і здатність сталобетонної плити, що несе, в порівнянні з залізобетонною плитою при однаковій витраті металу. Впровадження сталобетонних, що згинаються у двох напрямках конструкцій, не розповсюджено через малу розробленість методів розрахунку та проектування з урахуванням їх армування та можливих схем руйнування. Для більш широкого застосування на практиці будівництва необхідний подальший розвиток теорії та методів розрахунку, що згинаються у двох напрямках конструкцій із зовнішнім листовим армуванням при короткочасному статичному навантаженні (рисунок 1). А також подальшим вивченням довготривалого статичного та динамічного навантаження.

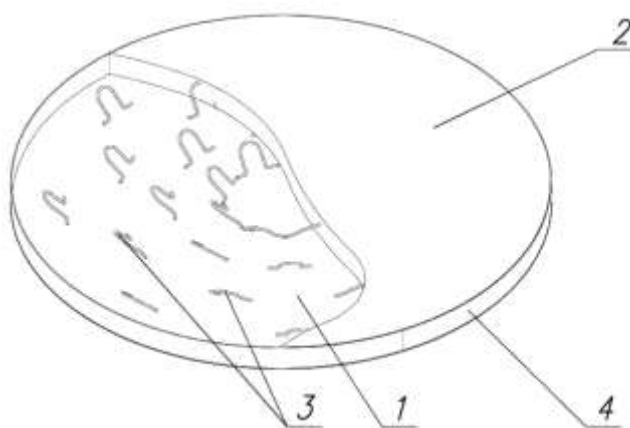


**Рис. 1 – Використання круглих сталобетонних плит у міській інфраструктурі**

У роботі [1] викладено результати теоретичних та експериментальних досліджень сталобетонних круглих у плані плит в умовах статичного короткочасного навантаження.



Розроблено методику розрахунку сталобетонних круглих плит при різній дії навантаження (по всій поверхні плити, навантаження штампом, навантаження за контуром штампу), а також виконано розрахунок за міцністю нормальних перерізів та за міцністю контакту сталевих листів з бетоном у програмному комплексі «Ліра». Експериментально досліджено сталобетонні круглі плити на дію зосередженого у центрі навантаження. На підставі проведеного аналізу експериментальних досліджень робимо висновок (рисунок 2), що застосування сталобетону ефективно у конструкціях, що працюють на згин. При цьому сталобетон має підвищену несучу здатність, жорсткість та порівняно з металевими конструкціями – меншу металомісткість. Були отримані дані про характер їх напружено-деформованого стану на різних етапах завантаження, а також дані про характер тріщиноутворення та граничний стан конструкції залежно від кроку анкерів у тілі конструкції. Запроектовані моделі експериментальних зразків дозволяють оцінити вплив на здатність кроку, а також розташування анкерних упорів. І також спиратися на отримані результати при проектуванні конструкцій та моделюванні спільної роботи у програмних комплексах [2].



**Рис. 2 – Загальний вигляд сталобетонної круглої плити:**

1 – сталевий лист, 2 – бетонна суміш, 3 – петлеві анкери, 4 – відбортовка

На сьогодні виконано побудову розрахункової моделі у програмному комплексі «Ліра», проаналізовано результати та внесено коригування як у саму модель програми та більш точно враховано роботу анкерів, так і математичний аналіз.

**Висновки.** Тепер розробляємо розрахункову модель у програмному комплексі STARC ES, що дозволить не лише порівняти отримані результати з експериментальними даними та «Лірою», але й дасть змогу впроваджувати цей елемент конструкції у сімейство великого проекту (рисунок 3). І в результаті отримаємо аналіз роботи всього об'єкта на різні види навантаження, а саме розрахунок на власні коливання довільного діапазону частот, а також щодо деформованого стану з урахуванням односторонньої роботи зв'язків і шарнірів; конструктивні розрахунки; на сейсмічні дії; дія пульсаційної складової вітрового навантаження та можливість моделювання.

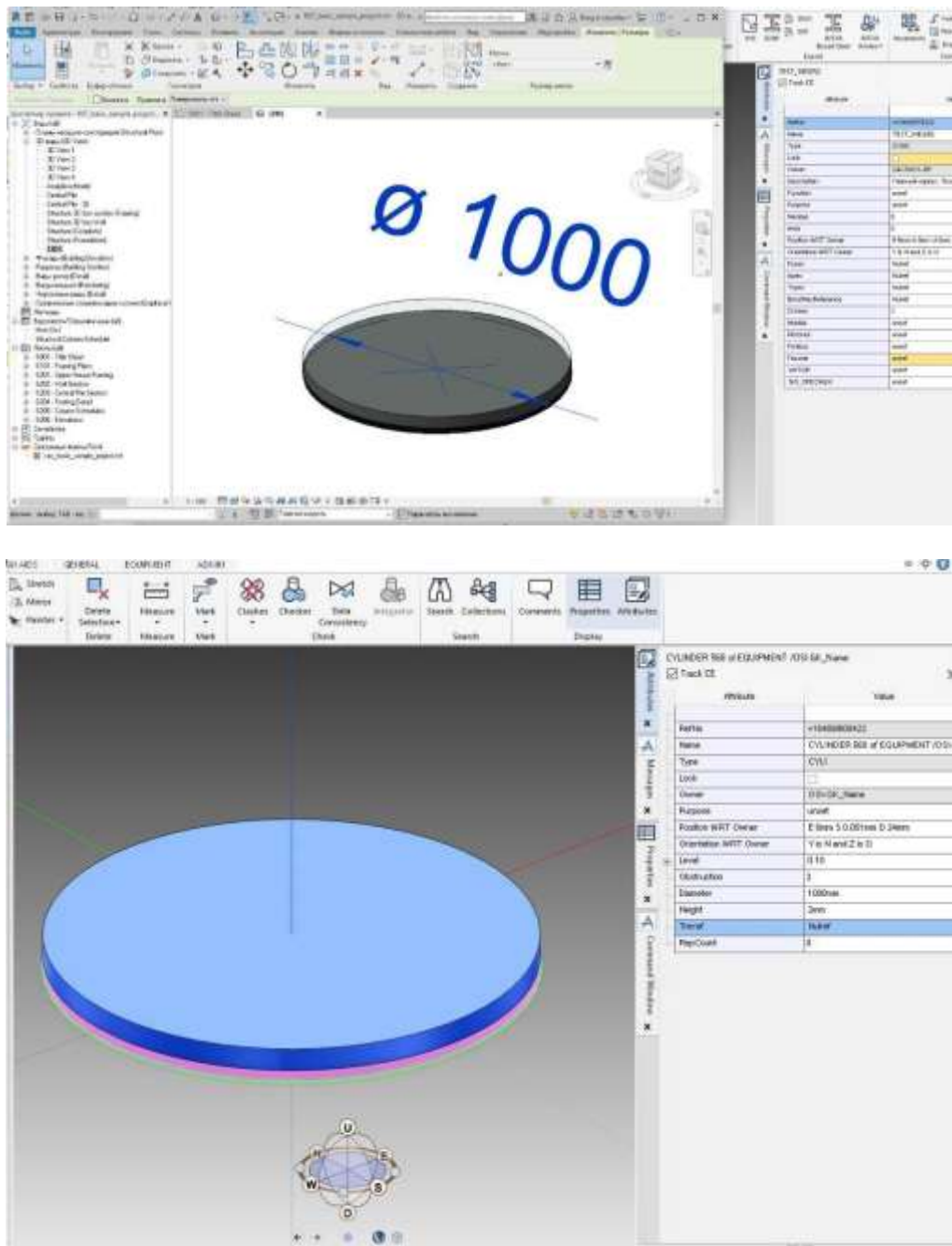


Рис. 3 – Моделювання роботи сталобетонної круглої плити

**Список використаних джерел**

1. Шевченко А. А. Напряженно-деформированное состояние сталобетонных круглых плит: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Шевченко А.А. – Харьков 2012. – 167 с.
2. G L Vatulia, N V Smolyanyuk, A A Shevchenko, Ye F Orel, and M O Kovalov. Evaluation of the load-bearing capacity of variously shaped steel-concrete slabs under short term loading. *BulTrans 2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1002* (2020) 012007 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1002/1/012007 pp 1-9

## СЕКЦІЯ №2. НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН І НАДІЙНІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

УДК 69:004.925.84

*Гусєв Віталій, аспірант*

*ORCID: 0000-0001-6813-9824, e-mail: husiev.vitalii@pgasa.dp.ua, husievvitalii@gmail.com.*

*Нікіфорова Тетяна, д.т.н., проф.*

*ORCID: 0000-0002-0688-2759, e-mail: nikiforova.tetiana@pgasa.dp.ua*

*Державний вищий навчальний заклад*

*“Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, м. Дніпро*

### ТЕХНОЛОГІЯ 3D – ДРУКУ У БУДІВНИЦТВІ. КОНЦЕПТУАЛЬНА СХЕМА ПЕРЕТВОРЕННЯ 3D – МОДЕЛІ ВИРОБУ В КЕРУЮЧИЙ КОД ДЛЯ 3D – ПРИНТЕРУ

*Анотація.* Інтеграція новітніх технологій на кожному етапі будівництва, від проектування до фізичної реалізації об'єкта на будівельному майданчику в сучасних умовах постає в якості однієї з головних задач проєктувальників. Процес створення об'єктів за допомогою технології 3D – друку потребує застосування відповідних високотехнологічних рішень. Саме одним із таких рішень є аналіз процесу перетворення об'ємної моделі в керуючий код для 3D – принтеру. Від того, наскільки точно концептуальна схема етапів перетворення 3D – моделі виробу в керуючий код для 3D – принтеру відповідає технічним характеристикам друкуючого обладнання й конструктивним особливостям самої деталі залежить ефективність зведення будівельних конструкцій і споруд методом 3D – друку.

*Ключові слова:* технологія об'ємного друку, метод поширеного наплавлення, STL, алгоритм розрахунку перетинів, заповнення моделі, G-Code.

### 3D TECHNOLOGY - PRINTING IN CONSTRUCTION. CONCEPTUAL DIAGRAM OF CONVERSION OF 3D - MODEL OF PRODUCT IN CONTROL CODE FOR 3D – PRINTER

*Husiev Vitalii, 2st year postgraduate student*

*ORCID: 0000-0001-6813-9824, e-mail: husiev.vitalii@pgasa.dp.ua, husievvitalii@gmail.com.*

*Nikiforova Tetyana, Doctor Sc. (Techn.), Prof.*

*ORCID: 0000-0002-0688-2759, e-mail: nikiforova.tetiana@pgasa.dp.ua*

*Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro.*

*Abstract.* The integration of the latest technologies at every stage of construction, from design to physical implementation of the object on the construction site, in modern conditions appears as one of the main tasks of designers. The process of creating objects using 3D printing technology requires the use of appropriate high-tech solutions. One such solution is the analysis of the process of transforming a three-dimensional model into control code for a 3D printer. The efficiency of erection of building structures and structures by the method of 3D printing depends on how precisely the conceptual scheme of stages of transformation of 3D - model of a product into a control code for the 3D printer corresponds to technical characteristics of the printing equipment and design features of the detail.

*Keywords:* 3D printing technology, Fused Deposition Modeling (FDM), STL, algorithm for finding intersections, infill, G-Code.

В сучасних умовах розвитку новітніх технологій велику популярність набула технологія 3D – друку. Ця технологія інтенсивно впроваджується у різні галузі

виробництва: машинобудуванні, архітектурі, будівництві тощо. На даний час науковій спільноті відома ціла низка технологій такого друку. Але найпопулярнішою з них на цей час є Fused Deposition Modeling (FDM) або технологія багат шарового наплавлення. Цей метод, порівняно з іншими, є доволі простим в описі і одним з найдешевших на стадії своєї фізичної реалізації.

Зокрема, у будівельній галузі це призвело до появи великої кількості будівельних 3D – принтерів, які, в залежності від поставлених задач, мають свої особливості в базових конструкціях і принципах своєї роботи. З одного боку це є перевагою, з іншого – кожний такий механізм є унікальним за своєю реалізацією. Це призводить до появи перепон щодо впровадження цієї технології.

Як правило, схема роботи 3D – принтерів аналізується та створюється на етапі аналізу цифрової 3D – моделі майбутнього виробу, в тому числі і в будівництві. Нажаль, на даний час для такого аналізу використовуються стандартні методи та підходи в реалізації алгоритмів, що лежать в основі технології 3D – друку.

Саме поява нових завдань в контексті сучасних викликів суспільства призводить до постійного розширення можливостей програм аналізу цифрових 3D – моделей і підготовки обладнання будівельного 3D – друку.

В першу чергу необхідно дослідити і описати принцип роботи самого 3D-принтера. Усередині кожного 3D-принтера існує 3D-модель, яка розбивається на безліч горизонтальних шарів, які, в свою чергу, розходяться на найрізноманітніші лінії, які відрізняються за параметрами товщини, швидкості подачі розчину і т. д.

На кожному друкованому шарі відбувається рух друкуючої голівки (сопла), у горизонтальній площині, по двом осям (X та Y). При цьому відбувається процес нанесення робочої суміші на заздалегідь підготовлену поверхню, де буде розташовуватися наш об'єкт.

Після друку першого шару, впродовж деякого проміжку часу (в залежності від виду використовуваної будівельної суміші), наноситься наступний шар. При цьому відбувається зміщення друкуючої голівки за осями координат. Ці всі маніпуляції збираються в один комплекс або схему дій для отримання друку бажаного об'єкту спеціалізованим програмним забезпеченням, метою яких є нарізка вже побудованої 3D – моделі на шари.

Такі програми зазвичай називають “слайсерами” (від англ. slice - нарізати). Прикладами таких програм є Slic3r, Skeinforge, Cura та інші. Проаналізувавши роботу цих інструментів та їх принципи, можна зробити загальну концептуальну схему етапів перетворення 3D – моделі виробу в керуючий код для 3D – принтеру, яка представлена на рис. 1.



**Рис. 1 – Етапи перетворення об'ємної моделі виробів в керуючий код для 3D-принтера**

На першому кроці відбувається читання з файлу інформації про об'єкт. На другому – відбувається формування шарів методом нарізки деталі. Наступним етапом є розрахунок заповнення фігури сумішшю і саме заповнення. Логічним завершенням цього процесу є

останній крок – генерація G – коду. Саме G – код має в собі набір інструкцій для процесу 3D – друку, який повинен включати в себе інформацію не тільки про майбутню деталь, а також описувати технічні характеристики самого друкуючого обладнання.

Основним форматом 3D – моделей, які використовуються на першому етапі концептуальної схеми є файл з розширенням STL. Він описує необроблену, неструктуровану триангуляційну поверхню одиничною нормаллю та вершинами, впорядкованими за правилом правої руки [1], трикутників за допомогою тривимірної декартової системи координат [2]. Файли STL несуть інформацію лише про структуру поверхні майбутньої деталі чи об'єкта та не містять інформації про масштаб, колір, а одиниці вимірювання є довільними [3].

Наступним етапом є нарізування моделі на шари. Для цього створюється безліч площин, які паралельні основній площині OXY, з різними координатами. Саме перетин кожної з цих площин з тілом виробу і утворює друковані шари. Цей алгоритм дуже простий за своєю природою та не потребує складних математичних розрахунків. Але є суттєвий недолік – невелика швидкість.

Наступний крок – безпосередній розрахунок заповнення кожного шару фігури. Існують безліч підходів до заповнення від методу бджолиних сот, до лінійного заповнення. Кожний такий метод має свої переваги та недоліки і потребує, в залежності від поставлених задач, постійного удосконалення.

На останньому етапі відбувається генерація самого G-коду. Велика кількість слайсерів з відкритим програмним кодом реалізують в собі модифікації вище описаних алгоритмів та в змозі реалізувати задачу генерації G-коду. Цей метод є найбільш простим, але не ефективним під час реалізації складних завдань.

Інший спосіб отримання G-code – це використання бібліотеки нижчого рівня програмної реалізації, наприклад, mcode. За рівнем програмної реалізації, mcode та подібні їм стоять трохи вище, ніж безпосередньо сам G-Code, але набагато ефективніші за роботу слайсерів. Бібліотека mcode використовується, здебільшого, спеціалістами, що пишуть власний G-Code вручну.

І останній спосіб генерації G-code – його самостійне написання. Цей варіант буде безпрограшним, якщо при калібруванні принтера буде необхідно зробити кілька тестових шарів та ін. [4].

**Висновки.** Розгляд 3D-друку як комп'ютерної системи автоматизованого будівництва був центром уваги кількох дослідницьких груп протягом останніх десятиліть. Різні роботи та машини розроблені для здійснення автоматизованого будівництва з використанням роботизованих підходів. Автоматизоване будівництво передбачає багато переваг, включаючи чудову швидкість та вищий ступінь налаштування на кожному етапі 3D-друку.

Слід зазначити, що робочий процес 3D-друку складний, і потребує глибоких знань як з програмного, так і з апаратного забезпечення системи в цілому. Детальне вивчення цього питання дозволить в подальшому оптимізувати планування будівельних процесів, що, в свою чергу, відіграє важливу роль у загальній ефективності системи 3D-друку.

### *Література*

1. "STL (STereoLithography) File Format Family". Library of Congress. [Електронний ресурс] URL: <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000504.shtml>
2. Burkardt, John . "STLA Files - ASCII stereolithography files" [Електронний ресурс] URL: <https://people.math.sc.edu/Burkardt/data/stla/stla.html>
3. "The StL Format: Standard Data Format for Fabbers". fabbers.com – Historical resource on 3D printing. [Електронний ресурс] URL: [http://www.fabbers.com/tech/STL\\_Format](http://www.fabbers.com/tech/STL_Format)
4. RepRap. [Электронный ресурс]. URL: <https://reprap.org/wiki/G-code>

УДК 624.072; 624.012; 624.04

**Карпюк Ірина**, к.т.н., доцент кафедри основи і фундаменти, ORCID: 0000-0003-3437-5882, e-mail: irina.carpuyuk@gmail.com  
**Кліменко Євгеній**, д.т.н., професор, завідувач кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд, ORCID: 0000-0002-4502-8504, e-mail: klimenkoew57@gmail.com  
**Карпюк Василь**, д.т.н., професор кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд, ORCID: 0000-0002-4088-6489, e-mail: karpiukvim@gmail.com  
**Глібоцький Роман**, аспірант кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд, ORCID: 0000-0002-8730-5952, e-mail: romich.gl@gmail.com  
**Постернак Олександр**, к.т.н., доцент кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд, ORCID: 0000-0002-7016-6941, e-mail: alex.bk@ukr.net  
Одеська державна академія будівництва та архітектури

## ЗАСТОСУВАННЯ ФІБРО АРМОВАНИХ ПЛАСТИКІВ ДЛЯ ПІДСИЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ ПРОГІННИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Анотація.** В статті представлені результати випробування доведених у попередніх дослідженнях до граничного (ULS) стану бетонних балок з базальтопластиковою арматурою (BFRP), підсилених вуглепластиковими полотнами (CFRP). Встановлений характер їх деформування, розвитку тріщин та руйнування, яке у балках з великим ( $a/d=3$ ) і середнім ( $a/d=2$ ) прольотами зсуву відповідало напружено — деформованому стану майже збалансованого нормального поперечного перерізу. Руйнування балок з малими ( $a/d=1$ ) прольотами зсуву супроводжувалось подальшим розкриттям раніше утворених похилих тріщин і розривом замкнених вуглепластикових сорочок на бічних гранях.

Несучу здатність доведених до граничного стану (ULS) приопорних ділянок балкових конструкцій, підсилених матеріалами ФАП—FRP, слід визначати, у першу чергу, на дію згинального моменту за критичною похилою тріщиною.

**Ключові слова:** розрахунок пошкоджених бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою, підсилені зовнішніми фіброармованими пластиками, за першою групою граничних станів, за дії малоциклового ступеневозростаючого навантаження.

**Karpiuk Irina**, Ph.D., Associate Professor of the Department of Foundations and Foundations ORCID: 0000-0003-3437-5882, e-mail: irina.carpuyuk@gmail.com,  
**Klymenko Eugene**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Reinforced Concrete Structures and Transport Structures ORCID: 0000-0002-4502-8504, e-mail: klimenkoew57@gmail.com,  
**Karpiuk Vasil**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Reinforced Concrete Structures and Transport Structures ORCID: 0000-0002-4088-6489, e-mail: karpiukvim@gmail.com  
**Hlibotskyi Roman**, graduate student of the Department of Reinforced Concrete Structures and Transport Structures ORCID: 0000-0002-8730-5952, e-mail: romich.gl@gmail.com;  
**Posternak Alexander**, Ph.D., Associate Professor, Department of Reinforced Concrete Structures and Transport Structures, ORCID: 0000-0002-7016-6941, e-mail: alex.bk@ukr.net  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

## THE USE OF FIBER-REINFORCED PLASTICS TO REINFORCE DAMAGED PURLINS

**Abstract.** Abstract. The article presents the results of tests of concrete beams with basalt-plastic reinforcement (BFRP) reinforced with carbon-plastic webs (CFRP) brought to the limit (ULS) in previous studies. The nature of their deformation, crack development and fracture was established, which in beams with large ( $a / d = 3$ ) and medium ( $a / d = 2$ ) shear spans corresponded to the stress - strain state of almost balanced normal cross section. The destruction of beams with small ( $a / d = 1$ ) shear spans was accompanied by further opening of previously formed

*inclined cracks and rupture of closed carbon fiber jackets on the side faces.*

*The bearing capacity of the ULS-supported support sections of girder structures reinforced with FAP-FRP materials should be determined, first of all, by the action of bending moment behind a critical inclined crack.*

**Keywords:** *calculation of damaged concrete structures with non-metallic composite reinforcement, reinforced with external fiber-reinforced plastics, for the first group of limit states, under the action of low-cycle step-increasing load.*

**Вступ.** Аналіз останніх публікацій показав, що ні національні норми проектування, ні відомі авторські методики не містять в собі чітких вказівок по розрахунку сумісної роботи пошкоджених бетонних балкових конструкцій з FRP або залізобетонних елементів, доведених під час попередньої експлуатації до граничного стану (ULS) або руйнування, з композитними матеріалами підсилення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Проведене дослідження [1] спрямоване на експериментальну оцінку ефективності підсилення вуглепластиком у канавках залізобетонних балок. Відзначається, що виконане підсилення значно покращило несучу здатність балок за згин. Проте, у цій роботі не вказана ефективність вказаного підсилення пошкоджених наскрізними нормальними та похилими тріщинами залізобетонного елемента, доведеного до руйнування.

У праці [2] розглянута поведінка залізобетонних балок, підсилених вуглепластиковими волокнами. Міцність на згин і жорсткість дослідних зразків, підсилених методами EBR або EBROG збільшилися в порівнянні з контрольною непідсиленою балкою, відповідно, на 25-48% і 32-77%. При цьому, режим руйнування балок у цих методах змінювався з відшарування вуглепластика у методі EBR до його розриву у методі EBROG.

У роботі [3] досліджували вплив підвищеної температури та анкерних канавок на зсувні характеристики залізобетонних балок, підсилених композитами із вуглепластику. Відзначається, що суттєве відновлення структурних характеристик значно пошкоджених теплом конструкційних бетонних елементів стає можливим з використанням композиційних матеріалів, армованих вуглецевим волокном (CFRP).

У праці [4] описана поведінка залізобетонних балок, пошкоджених нагріванням і підсилених смугами CFRP, розташованими у канавках. Встановлено, що підвищення температури більше 500°C виражено знижує їхню несучу здатність на згин.

В дослідженні [5] розглядається підсилення на вигин пошкоджених вогнем бетонних балок вуглепластиковими листами. Результати випробування показали, що підсилення балок на вигин з використанням листів вуглепластика покращило несучу здатність дослідних зразків – балок за згин і це покращення вказаних характеристик стало більш помітним зі збільшенням температурного впливу.

**Виділення невирішеної раніше частини проблеми.** Аналіз останніх публікацій показав, що ні національні норми проектування, ні відомі авторські методики не містять в собі чітких вказівок по розрахунку сумісної роботи пошкоджених бетонних балкових конструкцій з FRP або залізобетонних елементів, доведених під час попередньої експлуатації до граничного стану (ULS) або руйнування, з композитними матеріалами підсилення [6, 7].

Мета роботи полягає в експериментально-теоретичному вивченні несучої здатності пошкоджених у попередніх дослідженнях [24] і доведених до руйнування бетонних балок з BFRP, підсилених вуглепластиковим полотном у нижній розтягнутій зоні і вуглепластиковими сорочками на приопорних ділянках, за дії малоциклового знакоповторного поперечного навантаження високих рівнів з розробкою інженерних методик розрахунку міцності їхніх нормальних і похилих перерізів.

**Завдання досліджень:**

- підготувати поверхні пошкоджених наскрізними силовими тріщинами і доведених до руйнування за похилих тріщинами бетонних балок з BFRP [24] та здійснити їх підсилення вуглепластиковим полотном Sika®Wrap® -230C (CFRP) з використанням двокомпонентної

смоли Sikadur -300 у нижніх розтягнутих зонах та на зруйнованих приопорних ділянках за встановленою технологією;

- виконати експериментальні дослідження несучої здатності підсилених вуглепластиковим полотном (CFRP) раніше пошкоджених наскрізними нормальними і похилими тріщинами бетонних балок з BFRP за дії малоциклового знакоповторного ступенево зростаючого поперечного навантаження аж до їх руйнування;

- експериментально встановити характер тріщиноутворення та руйнування дослідних елементів і запропонувати методики розрахунку несучої здатності підсилених вуглепластиком (CFRP) нормальних і похилих перерізів доведених до руйнування бетонних балок з BFRP;

- перевірити адекватність запропонованих методик розрахунку несучої здатності пошкоджених базальтобетонних балок, підсилених вуглепластиком, за наявними експериментальними даними.

### Викладення основного матеріалу і результатів.

Несуча здатність еталонних базальтобетонних (індекс «ref») і підсилених зовнішніми вуглепластиковими (CFRP) волокнами (індекс «ftx») пошкоджених (ULS) балок з BFRP може бути представлена наступними експериментально-статичними залежностями, в яких  $X_1$  – відносний прогін зсуву  $a/h_0=1, 2, 3$ ;  $X_2$  – клас бетону C16/20, C30/35, C40/50;  $X_3$  – коефіцієнт поперечного армування  $=0,0029; 0,0065; 0,0115$  (АКБ - 800):

$$\hat{Y}(M_{ftx,ult}^{exp}) = 24,43 + 2,40x_2, \text{ кНм, коефіцієнт варіації } \nu = 2,6\%; \quad (3.1)$$

$$\hat{Y}\left(\frac{M_{ftx,ult}^{exp}}{bh_0}\right) = 1396 + 137x_2, \text{ кН/м}; \quad (3.1a)$$

$$\hat{Y}(F_{ftx,ult}^{appr(віднов)}) = 69,2 - 46,0x_1 + 8,6x_2 + 2,0x_3 + 22,7x_1^2 - 4,2x_1x_2, \text{ кН, } \nu = 2,8\%; \quad (3.2)$$

$$\hat{Y}\left(\frac{F_{ftx,ult}^{appr(віднов)}}{bh_0}\right) = 3,95 - 2,63x_1 + 0,49x_2 + 0,11x_3 + 1,30x_1^2 - 0,24x_1x_2, \text{ МПа}; \quad (3.2a)$$

$$\hat{Y}(V_{f_i,ult}^{ref}) = 51,8 - 30,1x_1 + 11,8x_2 + 5,5x_3 + 15,9x_1^2 - 5,5x_2^2 - 2,3x_3^2 - 4,8x_1x_3, \text{ кН, } \nu = 5\%. \quad (3.3)$$

Коефіцієнт зміцнення пошкоджених (ULS) бетонних балок з BFRP, підсилених одношаровим вуглепластиковим полотном (CFRP) у нижній розтягнутій зоні та вуглепластиковими сорочками на приопорних ділянках  $K_{ftx/f}^{amp} = F_{ftx,ult}^{appr} / V_{f_i,ult}^{ref}$  характеризується виразом:

$$\hat{Y}(K_{ftx/f}^{amp}) = 1,35 - 0,05x_1 - 0,12x_2 - 0,06x_3 - 0,04x_1^2 + 0,20x_2^2 + 0,06x_3^2 + 0,18x_1x_2 + 0,06x_1x_3 + 0,04x_2x_3, \nu = 5,02\%; \quad (3.4)$$

Деформації бетону стиснутої зони, розтягнутої робочої базальтопластикової (BFRP) арматури та зовнішньої вуглепластикової обійми (CFRP) підсилення пошкоджених (ULS) дослідних балок на експлуатаційному рівні малоциклового повторного навантаження ( $\eta_1 = 0,65F_{ult}$ ) виражається:

$$\hat{Y}(\varepsilon_{cfi}^{ref, \eta_1} \cdot 10^5) = 107 + 20x_1 - 3x_2 + 12x_3 + 3x_1^2 - 8x_1x_2, \nu = 6,0\%; \quad (3.5)$$

$$\hat{Y}(\varepsilon_{ctx}^{\eta_1} \cdot 10^5) = 194 + 38x_1 - 13x_2 + 9x_3 - 13x_1x_2, \nu = 5,3\%; \quad (3.6)$$

$$\hat{Y}(\varepsilon_{f_i}^{ref, \eta_1} \cdot 10^5) = 510 + 77x_1 + 68x_2 + 32x_3 - 17x_1^2 - 46x_2^2 - 15x_3^2, \nu = 5,5\% \quad (3.7)$$

$$\hat{Y}(\varepsilon_f^{\eta_1} \cdot 10^5) = 503 + 101x_1 + 33x_2 + 34x_3 + 21x_1x_2 + 19x_1x_3, \nu = 5,1\%; \quad (3.8)$$

$$\hat{Y}(\varepsilon_{ftx}^{\eta_1} \cdot 10^5) = 601 + 122x_1 + 33x_2 + 41x_3 + 23x_1x_2 + 20x_1x_3, \nu = 4,9\%; \quad (3.9)$$

Перед руйнуванням при рівні малоциклового повторного навантаження  $\eta_2 = 0,95F_{ult}$  вказані деформації бетону, робочої базальтопластикової арматури BFRP та вуглепластикової обійми (CFRP) підсилення пошкоджених балок набувають виду:



$$\hat{Y}(\varepsilon_{cf,ult}^{ref,\eta_2} \cdot 10^5) = 157 + 29x_1 - 5x_2 + 17x_3 + 4x_1^2 - 12x_1x_2, \nu = 6,6\% \quad (3.10)$$

$$\hat{Y}(\varepsilon_{cfx}^{\eta_2} \cdot 10^5) = 277 + 47x_1 - 19x_2 - 45x_1^2 - 8x_2^2 - 11x_1x_2, \nu = 5,1\%; \quad (3.11)$$

$$\hat{Y}(\varepsilon_{f_i,ult}^{ref,\eta_2} \cdot 10^5) = 745 + 112x_1 + 99x_2 + 47x_3 - 25x_1^2 - 67x_2^2 - 22x_3^2, \nu = 5,5\% \quad (3.12)$$

$$\hat{Y}(\varepsilon_f^{\eta_2} \cdot 10^5) = 735 + 148x_1 + 48x_2 + 50x_3 + 30x_1x_2 + 28x_1x_3, \nu = 2,7\%; \quad (3.13)$$

$$\hat{Y}(\varepsilon_{f_{ix}}^{\eta_2} \cdot 10^5) = 880 + 176x_1 + 52x_2 + 57x_3 + 32x_1x_2 + 32x_1x_3, \nu = 4,8\%; \quad (3.14)$$

Прогини еталонних бетонних балок з BFRP і підсилених вуглепластиковими (CFRP) обоймами пошкоджених базальтобетонних зразків-балок на експлуатаційному рівні навантаження ( $\eta_1 = 0,65F_{ult}$ ) можуть бути представленні наступними залежностями:

$$\hat{Y}(f_{f_i,\eta_1}^{ref}) = 10,20 + 0,91x_1 + 1,04x_2 + 0,73x_3 - 0,74x_1^2, \text{ мм}, \nu = 5,3\% \quad (3.15)$$

$$\hat{Y}\left(\frac{f_{f_i,\eta_1}^{ref}}{l_0}\right) \cdot 10^{-3} = 6,48 + 0,58x_1 + 0,66x_2 + 0,46x_3 - 0,47x_1^2; \quad (3.15,a)$$

$$\hat{Y}(f_{f_{ix},\eta_1}) = 11,53 + 1,46x_1 + 0,29x_2 + 0,70x_3 - 0,30x_1^2, \text{ мм}, \nu = 6,0\%; \quad (3.16)$$

$$\hat{Y}\left(\frac{f_{f_{ix},\eta_1}}{l_0}\right) \cdot 10^{-3} = 7,32 + 0,93x_1 + 0,18x_2 + 0,44x_3 - 0,19x_1^2. \quad (3.16,a)$$

Перед руйнуванням еталонних і дослідних зразків-балок ( $\eta_2 = 0,95F_{ult}$ ) їхні прогини характеризуватимуться виразами:

$$\hat{Y}(f_{f_i,\eta_2}^{ref}) = 14,28 + 1,34x_1 + 1,46x_2 + 1,01x_3 - 1,03x_1^2, \text{ мм}, \nu = 5,6\% \quad (3.17)$$

$$\hat{Y}\left(\frac{f_{f_i,\eta_2}^{ref}}{l_0}\right) \cdot 10^{-3} = 9,07 + 0,85x_1 + 0,93x_2 + 0,64x_3 - 0,65x_1^2; \quad (3.17, a)$$

$$\hat{Y}\left(\frac{f_{f_i,\eta_2}^{ref} \cdot M_{ult}}{E_c \cdot I_{ref}}\right) \cdot 10^6 = 111 + 11x_1 + 9x_2 + 15x_3 - 7x_2^2 - 4x_3^2, \nu = 6,1\%; \quad (3.17b)$$

$$\hat{Y}(f_{f_{ix},\eta_2}) = 16,72 + 2,06x_1 + 0,47x_2 + 0,80x_3 - 1,27x_1^2, \nu = 4,9\%; \quad (3.18)$$

$$\hat{Y}(f_{f_{ix},\eta_2} / l_0) \cdot 10^{-3} = 10,62 + 1,31x_1 + 0,30x_2 + 0,51x_3 - 0,81x_1^2; \quad (3.18, a)$$

$$\hat{Y}\left(\frac{f_{f_{ix},\eta_2} \cdot M_{ult}}{E \cdot I_{ref}}\right) \cdot 10^6 = 175 + 23x_1 - 9x_2 + 9x_3 - 14x_1^2 + 12x_2^2; \nu = 5,1\%; \quad (3.18, б)$$

розтягнутій зоні “чистого згину” еталонних базальтобетонних балок та підсилених вуглепластиковим полотном пошкоджених бетонних балок з BFRP при експлуатаційному рівні навантаження ( $\eta_1 = 0,65F_{ult}$ ) можна представити наступними експериментально-статичними залежностями:

$$\hat{Y}(W_{kf_i,\eta_1}^{ref}) = 0,35 + 0,06x_1 + 0,10x_2 + 0,05x_3 + 0,02x_1x_3, \text{ мм}, \nu = 11,5\%; \quad (3.19)$$

$$\hat{Y}(W_{kfx,\eta_1}) = 0,40 + 0,10x_1 + 0,03x_2 + 0,03x_3 - 0,05x_1^2 + 0,02x_2^2 - 0,02x_3^2, \text{ мм}, \nu = 5,3\%; \quad (3.20)$$

Напередодні руйнування ( $\eta_2 = 0,95F_{ult}$ ) ширина розкриття нормальних тріщин в еталонних базальтобетонних та підсилених вуглепластиковим полотном пошкоджених бетонних балок з BFRP виражається:

$$\hat{Y}(W_{kf_i,\eta_2}^{ref}) = 0,51 + 0,04x_1 + 0,13x_2 + 0,07x_3, \text{ мм}, \nu = 11\%; \quad (3.21)$$

$$\hat{Y}(W_{kfx,\eta_2}) = 0,52 + 0,04x_1 + 0,03x_2 + 0,02x_3 - 0,03x_1^2 + 0,02x_2^2, \text{ мм}, \nu = 5,7\%. \quad (3.22)$$

## Висновки:

1. Виконаними експериментально-теоретичними дослідженнями встановлена можливість та доцільність підсилення пошкоджених і доведених до граничного стану (ULS) бетонних конструкцій з BFRP зовнішніми фіброармованими пластиками (ФАП-CFRP) при

дотриманні встановленої технології. При цьому, ефект підсилення вказаних балкових конструкцій досягав 150%.

2. Руйнування дослідних підсилених базальтобетонних балок з великими ( $a/d=3$ ) і середніми ( $a/d=2$ ) прольотами зсуву відповідало напружено-деформованому стану майже збалансованого нормального поперечного перерізу.

Руйнування балок з малими ( $a/d \leq 1$ ) прольотами зсуву супроводжувалося подальшим розкриттям раніше утворених похилих тріщин і розривом замкнутих вуглепластикових сорочок на бічних гранях їхніх приопорних ділянок.

3. Запропонована методика розрахунку передбачає адекватне визначення несучої здатності (коефіцієнт варіації  $v=5,6\%$ ) прогінних бетонних конструкцій з неметалевою композитною арматурою (FRP) як без їх підсилення та без пошкоджень, так і підсилених ФАП-CFRP елементів, які досягли граничного стану (ULS).

4. Несучу здатність зруйнованих або доведених до граничного стану (ULS) приопорних ділянок балкових конструкцій, підсилених матеріалами ФАП-FRP, слід визначати на дію згинального моменту за критичною похилою тріщиною.

### Література

1. Mashrei MA, Makki JS, Sultan AA *Flexural strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) sheets with Grooves. Latin American Journal of Solids and Structures* 16(4):e176(2019).
2. Abed RJ, Mashrei MA, Sultan AA. *Flexural behavior of reinforced concrete beams strengthened by carbon fiber reinforced polymer using different strengthening techniques. Advances in Structural Engineering.*;25(2):355-373 (2022). doi:10.1177/13694332211049992.
3. Rajai Z. Al-Rousan, *Impact of elevated temperature and anchored grooves on the shear behavior of reinforced concrete beams strengthened with CFRP composites, Case Studies in Construction Materials, Volume 14, e00487, ISSN 2214-5095 (2021), https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00487*
4. Rajai Z. Al-Rousan, Jameel N. Al-Muhiedat, *The behavior heated-damaged reinforced concrete beams retrofitted with different CFRP strip length and number of transverse groove, Case Studies in Construction Materials, Volume 16, e00896, ISSN 2214-5095 (2022). https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00896*
5. Hamed Jafarzadeh, Mahdi Nematzadeh, *Flexural strengthening of fire-damaged GFRP-reinforced concrete beams using CFRP sheet: Experimental and analytical study, Composite Structures, Volume 288, 115378, ISSN 0263-8223 (2022). https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.115378 .*
6. Karpiuk V., Syomina Yu., Antonova D.V. *Calculation Models of the Bearing Capacity of Span Reinforced Concrete Structures Support Zones. Materials Science Forum: Actual Problems of Engineering Mechanics. Vol. 968. Pp. 209-226 (2019). doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.968.209*
7. V. Karpiuk, A. Tselikova, A. Khudobych, I. Karpiuk, A. Kostyuk *Study of strength, deformability property and crack resistance of beams with BFRP. Eastern-European journal of enterprise technologies. Харків, Vol. 4/7 (106) p.42-53 (2020). http://journals.uran.ua/eejet/article/view/209378/211998*

УДК 624.042.5:699.86

*Карюк Алла, к.т.н., доцент,  
ORCID: 0000-0003-4839-024X, e-mail: aKariuk1975@gmail.com*

*Ільченко Володимир, к.т.н., доцент,  
ORCID: 0000-0003-0346-8218, e-mail: znpbud@gmail.com*

*Міщенко Роман, к.т.н., доцент,  
ORCID: 0000-0003-1027-0541, e-mail: rom2014rom2014@gmail.com*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **АНАЛІЗ РОЗМЕЖУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ НА ТЕМПЕРАТУРНІ ЗОНИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬ**

*Анотація.* За результатами порівняння показників теплової надійності стін житлових будівель у різних регіонах України виявлена доцільність розділення першої температурної зони ДБН В.2.6-31:2016 на дві зони з різними значеннями мінімально необхідного опору теплопередачі стін, а також виділення АР Крим та Південного берега Криму в окрему температурну зону.

*Ключові слова:* температурні зони, теплова надійність стін, зміни по території

*Kariuk Alla, PhD, Associate Professor,  
ORCID: 0000-0003-4839-024X, e-mail: aKariuk1975@gmail.com*

*Ilichenko Volodymyr, PhD, Associate Professor,  
ORCID: 0000-0003-0346-8218, e-mail: znpbud@gmail.com*

*Mishchenko Roman, PhD, Associate Professor,  
ORCID: 0000-0003-1027-0541, e-mail: rom2014rom2014@gmail.com*

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

## **ANALYSIS OF THE TERRITORY OF UKRAINE DISTRIBUTION INTO TEMPERATURE ZONES OF BUILDING OPERATIONS**

*Abstract.* According to the results of comparing the thermal reliability indicators of residential walls in different regions of Ukraine, the expediency of dividing the first temperature zone DBN B.2.6-31:2016 into two zones with different values of minimum required heat transfer resistance of walls is revealed, as well as the separation of the Autonomous Republic of Crimea and the Southern Coast of Crimea into a separate temperature zone..

*Key words:* temperature zones, thermal reliability of walls, changes according to the territory.

Теплові характеристики огорожувальних конструкцій будівель обираються згідно з нормативними вимогами [1] щодо загальних втрат тепла на опалення або за мінімально необхідним опором теплопередачі, встановленим в [1] залежно від температурної зони України. Зокрема, стіни житлових і громадських будівель у другій температурній зоні (АР Крим, Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька та Закарпатська області) повинні мати опір теплопередачі не менший за  $3,3 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ , а в першій температурній зоні (усі інші 19 областей) – не менший за  $2,8 \text{ м}^2 \times \text{К/Вт}$ . Указані значення повинні забезпечити однаковий рівень теплової надійності стін по усій території України.

У якості показника, що відображає рівень теплової надійності стін, обрано імовірну тривалість стану теплової відмови за критерієм перевищення допустимого температурного перепаду між внутрішнім повітрям і внутрішньою поверхнею стін. Цей показник відображає комфортність перебування в приміщеннях та характеризує рівень теплової надійності



УДК 624.012.36

*Клименко Євгеній, д.т.н., професор,  
ORCID: 0000-0002-4502-8504, e-mail: klimenkoew57@gmail.com  
Максюта Олена, магістр,  
ORCID: 0000-0002-7587-0874, e-mail: maxiuta92@gmail.com  
Одеська державна академія будівництва та архітектури*

## **РОБОТА ДВОТАВРОВИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН, ПОШКОДЖЕНИХ В ХОДІ БОЙОВИХ ДІЙ**

***Анотація.** Проведені експериментально-теоретичні дослідження роботи залізобетонних двотаврових колон, пошкоджених в ході бойових дій та в процесі експлуатації, дали можливість створити загальну методику визначення залишкової несучої здатності елементів. Запропоновані передумови розрахунку пошкоджених залізобетонних двотаврових колон та складені рівняння рівноваги. Пропозиції, викладені в доповіді, базуються на основних положеннях чинних норм та розширюють дію їх використання.*

*Запропонована методика визначення залишкової несучої здатності залізобетонних стиснутих елементів таврового профілю, пошкоджених в ході бойових дій, є статистично обґрунтованою та достовірною. Це дає можливість розрахунковим методом визначити можливість подальшої безаварійної експлуатації конструкції або необхідність їх підсилення чи реконструкції.*

***Ключові слова:** залізобетонні колони, двотавровий переріз, пошкодження, методика розрахунку, залишкова несуча здатність.*

***Klymenko Yevhenii, Doctor of Engineering Science, Professor,  
ORCID: 0000-0002-4502-8504, e-mail: klimenkoew57@gmail.com  
Maksiuta Elena, master,  
ORCID: 0000-0002-7587-0874, e-mail: maxiuta92@gmail.com  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture***

## **WORK OF TWO-WOOD REINFORCED CONCRETE COLUMNS DAMAGED DURING COMBAT**

***Abstract.** Experimental-theoretical studies of reinforced concrete I-beam columns damaged during combat operations and during operation, made it possible to create a general method for determining the residual bearing capacity of the elements. Prerequisites for calculating damaged reinforced concrete I-beams and equilibrium equations are proposed. The proposals set out in the report are based on the main provisions of the current norms and extend the effect of their use. The proposed method of determining the residual bearing capacity of reinforced concrete compressed elements of the T-profile, damaged during hostilities, is statistically sound and reliable. This makes it possible to determine the possibility of further trouble-free operation of structures or the need for their reinforcement or reconstruction.*

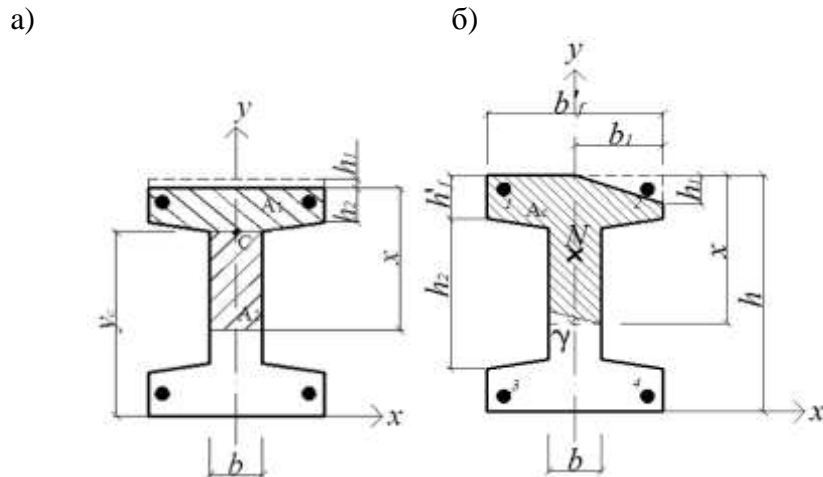
***Key words:** reinforced concrete columns, I-beam section, damage, calculation method, residual bearing capacity.*

Залізобетонні колони є одними найбільш поширених будівельних конструкцій. Оптимальним поперечним перерізом їх є двотавр. В процесі експлуатації конструкції, а особливо в ході бойових дій, зношуються. Якщо зменшення поперечного перерізу

арматурних стержнів прямо враховується при визначенні залишкової несучої здатності, то для врахування руйнування частини перерізу бетону чинні норми рекомендацій не дають.

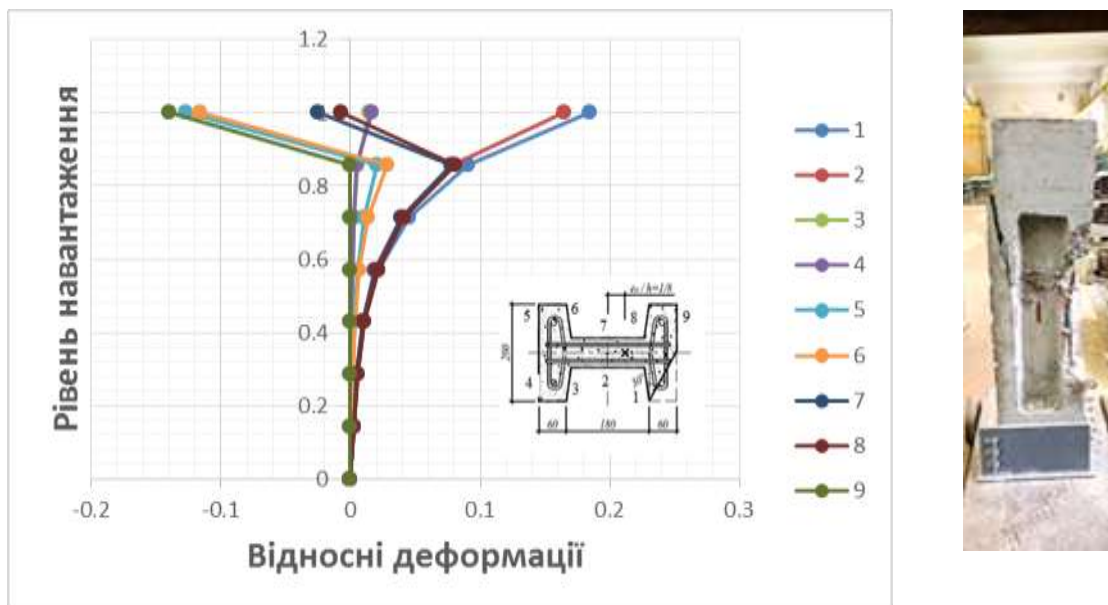
Дослідженням роботи пошкоджених у процесі експлуатації стиснутих бетонних та залізобетонних конструкцій присвячено ряд робіт [1...3], однак, дослідження для найбільш загального перерізу (двотаврового) проведені вкрай недостатньо.

Розглядається дві групи: з прямим (Рис. 1, а) пошкодженням перерізу та з пошкодженням під кутом (Рис. 1, б).



**Рис. 1 – Розрахункові випадки:** а – випадок прямого пошкодження; б – випадок пошкодження під кутом

Проведені над дослідними зразками експерименти дозволили: визначити характер руйнування; експериментальне значення залишкової несучої здатності, а також параметри напружено-деформованого стану колон. На рис. 2 наведений приклад отриманих результатів.



**Рис. 2 – Відносні деформації бетону колони К 8 ( 0 0 0).**

Основні передумови теоретичного розрахунку залишкової несучої здатності:

1. Приймаємо гіпотезу плоских перерізів.
2. Напруження в стиснутій зоні розподіляються рівномірно з інтенсивністю  $\eta f_{cd}$ .

3. Напруження в арматурі приймаються залежно від висоти стиснутої зони бетону. Зусилля у розтягнутій зоні сприймаються арматурою і не більші за розрахунковий спротив розтягненню  $f_t$ .
4. Робота розтягнутого бетону не враховується.
5. Приймаємо умову паралельності силових площин: площина дії зовнішніх і внутрішніх сил співпадають або паралельні залежно від розрахункового випадку.
6. Враховуємо оголення арматурних стрижнів  $\sigma_{кр}$ .

Вводяться поняття прямого пошкодження та пошкодження під кутом, які відповідають випадкам розрахунку, фронт пошкодження має прямолінійну форму.

При похилому пошкодженні (кут  $\theta \neq 0^\circ$ ) маємо п'ять невідомих.

Необхідно скласти п'ять рівнянь, в які входять невідомі величини.

Першим рівнянням є рівняння рівноваги відносно осі  $x$ .

Друге та третє рівняння – суми моментів відносно осей  $x$  та  $y$ .

Четверте та п'яте рівняння є рівняння статичних моментів стиснутої зони бетону, їх складання можливе внаслідок прийняття гіпотези, що напруження рівномірні по площі..

Розв'язавши систему рівнянь, знайдемо залишкову несучу здатність двотаврових стиснутих елементів таврового профілю, пошкоджених в процесі експлуатації.

У випадку плоского пошкодження (кут  $\theta = 0^\circ$ ) кількість невідомих (а, значить, рівнянь) зменшується та розв'язок системи рівнянь і визначення залишкової несучої здатності пошкоджених двотаврових стиснутих колон – спрощується.

**Висновки.** 1. Сформульовані передумови розрахунку пошкоджених двотаврових колон, описані основні розрахункові випадки: випадок прямого пошкодження і випадок пошкодження під кутом і основні відмінності між ними.

2. Складені покрокові алгоритми знаходження невідомих величин задачі для випадку колон з прямим пошкодженням і з пошкодженням під кутом.

3. За запропонованою методикою виконано розрахунки пошкоджених елементів та аналіз отриманих результатів. Так, середньоквадратичне відхилення за результатами розрахунку склало 0,115%, коефіцієнт варіації 12,2%. Це означає, що описана методика є достатньо точною і може бути використана для повірочних розрахунків пошкоджених двотаврових колон.

4. Метою подальших досліджень має бути оцінювання гнучкості залізобетонних пошкоджених двотаврових колон та її вплив на залишкову несучу здатність.

### Література

1. Клименко Е. В. Работа поврежденных железобетонных колонн: Монография / Е. В. Клименко, Т. А. Крутько. // Одеса: Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2014. – 137 с.
2. Klymenko E. V., Structural reliability and evaluation of current state of construction / Є.В. Клименко, М. Орешковіч, В. Задревич, Ж. Кос // Tehnički glasnik. Technical journal / Znanstveno-stručni časopis Sveučilišta Syever. Scientific professional journal of University Nort. – Varaždin, 2015. – № 4, pp. 426-431.
3. Klymenko Y. Damaged reinforced concrete columns of various flexibility: research and calculation. Monograph / Y. Klymenko, Z. Kos, I. Grynyova, A. Crnoja // Varaždin, Croatia, 2020. 179 p.
4. Клименко Є.В. Несуча здатність пошкоджених залізобетонних двотаврових колон / Є.В. Клименко, Н.Р. Антонюк, О.В. Максюта // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. / Одеська державна академія будівництва та архітектури, – Одеса: ОДАБА, 2021. – Вип.85, –С. 18-27. DOI: 10.31650/2415-377X-2021-85-18-27.

УДК 624.046:620.176.24

*Кузнєцова Ірина, аспірант,  
ORCID: 0000-0002-5859-4636, e-mail: oldfieldeik@gmail.com  
Довженко Оксана, к.т.н., професор,  
ORCID: 0000-0002-2266-2588, e-mail: o.o.dovzhenko@gmail.com  
Погрібний Володимир, к.т.н., с.н.с.,  
ORCID: 0000-0001-7531-2912, e-mail: v.v.pogrebnoy1960@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **АНАЛІЗ ХАРАКТЕРУ РУЙНУВАННЯ ФІБРОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ МІСЦЕВОМУ СТИСНЕННІ**

*Анотація.* Викладені результати аналізу досліджень впливу фібри на міцність фібробетонних елементів при місцевому стисненні. Описаний характер руйнування дослідних зразків.

*Ключові слова:* місцеве стиснення; фібробетон; характер руйнування.

*Kuznietsova Iryna, post-graduate student,  
ORCID: 0000-0002-5859-4636, e-mail: oldfieldeik@gmail.com  
Dovzhenko Oksana, Phd, Professor,  
ORCID: 0000-0002-2266-2588, e-mail: o.o.dovzhenko@gmail.com  
Pohribnyi Volodymyr, Phd, Senior Researcher,  
ORCID: 0000-0001-7531-2912, e-mail: v.v.pogrebnoy1960@gmail.com  
National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

## **ANALYSIS OF THE NATURE OF DESTRUCTION OF FIBER CONCRETE ELEMENTS UNDER LOCAL COMPRESSION**

*Abstract.* The results of the analysis of researches of influence of fiber on strength of fibroconcrete elements at local compression are stated. The nature of the destruction of experimental samples is described.

*Key words:* local compression; fiber concrete; the nature of the destruction.

Експериментальних досліджень фібробетону в умовах місцевого стиснення небагато [1, 2].

Дослідження, виконане в Технічному університеті Каунаса [1], мало за мету оцінити вплив сталеві фібри на міцність елементів при місцевому стисненні. Випробувано 36 кубів розмірами 150×150×150 мм із фібробетону із різним вмістом волокон. Довжина сталеві фібри із загнутими кінцями становила 50 мм, діаметр – 1 мм, межа міцності при розтязі – 1150 МПа. Було виготовлено 4 серії дослідних зразків (кожна із яких включала 9 кубів): у першу серію додавали 0,32 % , у другу – 0,38 % , у третю – 0,44 % та у четверту – 0,50 % фібри.

Навантаження передавалося в центрі зразка через сталеві пластини двох розмірів 53×53×23 і 30×30×20 мм. Випробування проводили на гідравлічному пресі із регулюванням швидкості прикладання зусилля.

Використання фібри обумовлює збільшення міцності бетону при місцевому стисненні, оскільки вона знижує імовірність крихкого руйнування та спричиняє досить велику залишкову деформацію через пластичність сталі та наявність мікротріщини у бетоні.



Волокна ефективно протидіють утворенню та сприяють обмеженню розвитку як нормальних так і похилих тріщин.

Незалежно від розмірів площадки завантаження і вмісту волокон у межах експерименту, картина руйнування зразків була подібна до руйнування бетонних елементів в умовах місцевого стиснення. Початкові мікротріщини з'являлися поблизу кутів сталевих штампів, котрий вдавлювався в бетон. Надалі утворювалися тріщини розколювання, паралельні сторонам або діагоналям куба (рис. 1). Наявність волокон змінювала характер руйнування на пластичний порівняно із крихким для неармованих бетонів, процес руйнування в цьому випадку був більш тривалим у часі.



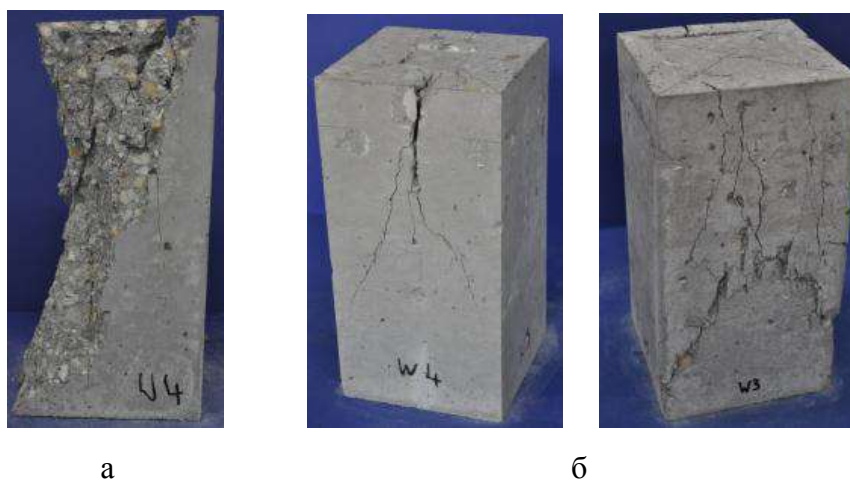
**Рис. 1 – Характер руйнування зразка із площею навантаження 30×30 мм (а) та 53×53 мм (б)**

З'ясовано, що зміна вмісту волокон суттєво не впливає на міцність зразків, навантажених штампом 30×30 мм, але для зразків із штампом 53×53 мм такий вплив є значним і ефективним до величини вмісту фібри 0,44 %, після чого він починає зменшуватися. Опір місцевим напруженням максимально збільшується до 15% у порівнянні зі звичайним бетоном.

Відомі також дослідження несучої здатності сталевібробетону для збірних сегментів тунельного оброблення при зосереджених навантаженнях [2].

Тут для випробувань використовувалися 60 призм розмірами 150×150×300 мм, завантажених центрально через сталеві пластини двох розмірів 50×50 мм і 100×100 мм.

Характер руйнування дослідних зразків відображено на рис. 2. Спочатку утворювалися піраміди під площадкою навантаження, вдавлювання яких в подальшому спричиняло розколювання зразка.



**Рис. 2 – Характер руйнування призм із бетону (а) та сталевібробетону (б) при центральному місцевому завантаженні**

Згідно отриманим результатам опір при місцевому стисненні збільшується за рахунок додавання сталеві фібри, при цьому змінюється характер руйнування з крихкого на пластичний. Зафіксовано зростання опору зі збільшенням відношення площі завантаження до площі поперечного перерізу елемента. На опір можна позитивно вплинути також збільшивши розмір волокна, його міцність на розтяг і вміст. Напрямок бетонування значно впливає на характеристики несучої здатності та тріщиностійкість, і також може вважатися визначальним фактором.

Результати виконаних авторами експериментальних досліджень бетонних та фібробетонних на базальтових волокнах кубів при місцевому центральному стисненні підтверджують відомості про характер руйнування та вплив фібри на несучу здатність, отримані в [1, 2].

Характер руйнування зразків, виготовлених із важкого бетону без та із додаванням фібри при розмірах площадки навантаження  $50 \times 50$  мм представлено на рис. 3. На верхній грані бетонного зразка (рис. 3, а) спостерігаємо тріщину, котра окреслює площадку навантаження за контуром і тріщини, котрі проходять паралельно одній із сторін зразка (або обом граням) та продовжуються на його двох бічних гранях.

При випробуванні фібробетонних елементів реалізувався випадок нерівномірного місцевого стиснення, котрий відображено на рис. 3, б: піраміда ущільнення має трикутну основу, котра дорівнює половині площадки навантаження, тріщина розколювання в цьому випадку на верхній грані проходить під кутом до граней куба.



**Рис. 3 – Характер руйнування бетонного (а) та фібробетонного (б) куба із площею навантаження  $50 \times 50$  мм**

В Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» розроблено варіаційний метод у теорії пластичності для розрахунку міцності бетонних елементів, котрий з нашої точки зору, являється перспективним для створення достатньо загальної методики розрахунку міцності фібробетонних елементів на базальтовій фібрі при місцевому стисненні.

Отримані в експериментальних дослідженнях дані про характер руйнування, слугують базою для створення кінематично можливих схем руйнування варіаційного методу в теорії пластичності.

#### **Література**

1. Keras V. *Research of Local Compression Concrete Reinforced by Steel Fibres* / V. Keras [et al.] // *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*. – 2015. – Vol. 2, No. 11. – P. 72–78.
2. Breitenbücher R. *Experimental and numerical study on the load-bearing behavior of steel fiber reinforced concrete for precast tunnel lining segments under concentrated loads* / R. Breitenbücher [et al.] // *Proceedings of Joint ACI-fib International Workshop : Fibre Reinforced Concrete : from Design to Structural Applications (FRC 2014)*. – P. 431–443.

УДК 624.042

**Махінько Антон**, д.т.н., с.н.с,  
ORCID: 0000-0002-9147-7087, e-mail: pasargada1981@gmail.com,  
ТОВ «Етуаль»

**Махінько Наталія**, д.т.н.,  
ORCID: 0000-0001-8120-6374, e-mail: nataliia.makhinko@npp.nau.edu.ua,  
Національний авіаційний університет

**Воронцов Олег**, к.т.н., доц.  
ORCID: 0000-0001-7339-9196, e-mail: voronoleg6163@gmail.com,  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

## НАДІЙНІСТЬ ТА БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЄМНОСТЕЙ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА

**Анотація.** Дослідження присвячене визначенню мінімально необхідних рівнів надійності, яким мають відповідати будівельні конструкції, зокрема ємності для зберігання зерна. Даний показник є необхідною вимогою, яку потрібно виконувати для досягнення безпечної експлуатації споруди. Представлена формула для вираження функції надійності, в якій присутній ряд безрозмірних коефіцієнтів, що залежать від законів розподілу випадкових величин узагальненої міцності та зусилля. Вона може застосовуватися для навантажень, представлених нормальним законом чи подвійним експоненціальним законом Гумбеля. Також отримані вирази для визначення параметру економічного збитку, які можуть застосовуватися для вирішення інженерних задач. Результати даного дослідження надають інженеру зручний та простий алгоритм розрахунку мінімального рівня надійності елементів силосу в умовах одновісного напружено-деформованого стану з економічних міркувань.

**Ключові слова:** силос, рівень надійності, імовірнісний розрахунок, будівельний ризик, параметр економічного збитку, поперечний переріз.

**Makhinko Anton**, doctor of technical sciences, senior scientist,  
ORCID: 0000-0002-9147-7087, e-mail: pasargada1981@gmail.com,  
ETUAL LLC

**Makhinko Nataliia**, doctor of technical sciences,  
ORCID: 0000-0001-8120-6374, e-mail: nataliia.makhinko@npp.nau.edu.ua,  
National Aviation University

**Vorontsov Oleg**, candidate of technical sciences,  
ORCID: 0000-0001-7339-9196, e-mail: voronoleg6163@gmail.com,  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

## RELIABILITY AND SAFETY MAINTENANCE OF SILOS FOR GRAIN STORAGE

**Abstract.** The study is devoted to determining minimum required level of reliability, which must be achieved by construction design. This indicator is a necessary requirement that must be fulfilled in order to achieve safe operation of the facility. In order to express the reliability function, a formula was used in which there is a series of dimensionless ratios depending on the laws of the

*distribution of random variables generalizing strength and effort. It can be applied to loads represented by the normal law or the double exponential Humbel's law. Also, the expressions obtained can be used to solve engineering problems in determining the parameters of economic loss. The results of this study provide an engineer with a convenient and simple algorithm for calculating the minimum level of reliability of silo elements under uniaxial stress-strain state with regard for economic reasons.*

**Keywords:** silo, level of reliability, stochastic calculation, construction risk, economic loss, cross-section.

Силосні ємності є одними з основних видів споруд елеваторних підприємств та зернових терміналів. Сумні події останніх днів свідчать, що ці об'єкти неодноразово стають цілями ворожих атак країни-агресора. На сьогоднішній день зазнали обстрілів та руйнувань зерновий термінал в м. Миколаїв, зернохочища ряду населених пунктів Дніпропетровської, Донецької, Запорізької та Сумської областей та ін. Блокада морських перевезень і воєнні дії створюють загрозу для нормального функціонування не лише вітчизняного, але і світового зернового ринку, провокуючи загострення глобальної продовольчої кризи [1, 2].

Для України, як аграрної держави, збереження та відновлення силосних парків є одним з найважливіших стратегічних завдань. Певна річ, це актуалізує потребу в розрахунках даних конструкцій. Використання сучасних розрахункових програмних комплексів на базі МСЕ, безумовно збільшує швидкість та точність розрахунків, дозволяє розширити можливості проектувальника та досягнути оптимального економічного рішення, забезпечивши виконання умов міцності та стійкості [3]. Проте успішний розв'язок завжди показує лише виконання граничної нерівності з деяким запасом і аж ніяк не може слугувати характеристикою рівня надійності конструкції. В процесі аналізу рівня надійності актуальним є питання витрат на забезпечення його мінімального значення та збитків від можливої відмови. Цей напрямок є предметом оптимізаційної теорії апріорних ризиків. В рамках даного дослідження головний акцент буде зроблено на ефективному ризику, як найбільш вживаному у технічних дисциплінах [4].

При вирішенні задачі застосовувалися загальні методи теорії надійності будівель і споруд та теорії ризиків. При цьому були задіяні різні імовірнісні моделі навантажень. Випадкова величина узагальненої міцності описувалася нормальним законом розподілу, а дія узагальненого зусилля розглядається в двох варіантах: нормальний розподіл, що використовується для опису тиску сипкого матеріалу на стінки корпусу силосу та подвійний експоненціальний розподіл Гумбеля, що використовується для опису максимумів снігового та вітрового навантаження. Дані характеристики враховуються системою коефіцієнтів, які присутні в результуючій формулі для функції безвідмовної роботи.

Сталеві ємності для зберігання відносяться до об'єктів, біля яких фактично відсутня присутність людини, тобто можуть розглядатися як споруди з виключно економічною відповідальністю. Це дозволяє представити будівельний ризик  $R_Q$ , як величину, що дорівнює добутку імовірності руйнування (відмови)  $Q$  ємності на кількість необхідних фінансових витрат  $C$  для ліквідації наслідків аварії (вартість самої ємності  $C_C$  та вартість продукту, що зберігається в ній  $C_G$ ).

$$R_{\Sigma}(Q) = R_C(Q) + R_Q(Q) = \alpha_C \cdot C_C + (\alpha_C \cdot C_C + C_G) \cdot Q, \quad (1)$$

де  $\alpha_C$  – коефіцієнт, який враховує збитки, що не залежать від розмірів перерізів елементів.

Вартість ємності оцінюється її металоємністю, яка залежить від прийнятих розмірів поперечного перерізу елементів. Чим більші розміри перерізів, тим вища надійність ємності. Фактична імовірність безвідмовної роботи конструкції  $u_F$ , отримана шляхом прямого моделювання, може бути оцінена за формулою [5, 6]

$$y_F = \left[ \sqrt{B_K^2 - 4A_K(C_K - 1/m_K)} - B_K \right] / (2A_K) \quad (2)$$

де  $A_K, B_K$  і  $C_K$  – безрозмірні коефіцієнти, що залежать від законів розподілу випадкових величин узагальненої міцності та зусилля.

При вираженні площі, як функції імовірності відмови та враховуючи, що вартість елемента пропорційна площі його поперечного перерізу з коефіцієнтом пропорційності  $k_C$ , формула для будівельного ризику набуде вигляду

$$R_S(Q) = k_C \frac{m_N}{m_R} (1 + Q\Omega_Q) \cdot \{A_K y_Q^2 - B_K y_Q + C_K\} \quad (3)$$

Умова мінімуму функції ризику  $R_S(Q)$

$$\frac{1 + Q \cdot \Omega_Q}{\ln(1 - Q) \cdot (Q - 1) \cdot \Omega_Q} = \frac{A_K y_Q^2 - B_K y_Q + C_K}{B_K - 2A_K y_Q} \quad (4)$$

Звідси можна отримати параметри економічного збитку представлення навантаження нормальним законом та подвійним експоненціальним законом Гумбеля відповідно

$$\frac{1}{\Omega_Q} = \ln(1 - Q)(1 - Q) \left[ \frac{-\alpha_A y_Q^2 + \alpha_B y_Q + \alpha_C - V_S^{-1}}{\alpha_B - 2\alpha_A y_Q} \right] - Q. \quad (5)$$

$$\frac{1}{\Omega_Q} = \ln(1 - Q) \cdot (1 - Q) \cdot \left[ \frac{\alpha_C - V_S^{-1}}{\alpha_B} + \ln(-\ln(1 - Q)) \right] - Q. \quad (6)$$

Отримані формули пов'язують три безрозмірні величини: параметр економічного збитку  $\Omega_Q$ , оптимальну імовірність відмови  $Q$  та коефіцієнт варіації навантаження  $V_S$  та можуть засовуватися для вирішення інженерних задач.

### Література

1. *The coming food catastrophe* [Електронний ресурс] // *The economist*: – Режим доступа : <https://www.economist.com/leaders/2022/05/19/the-coming-food-catastrophe> (09.06.2022).
2. *Lack of grain exports driving global hunger to famine levels, as War in Ukraine Continues* [Електронний ресурс] : <https://www.un.org/press/en/2022/sc14894.doc.htm> (09.06.2022).
3. Iwicki P./ *Application of linear buckling sensitivity analysis to economic design of cylindrical steel silos composed of corrugated sheets and columns*// P. Iwicki, M. Sondej, J. Tejchman. – *Engineering Failure Analysis*, 2016. – Vol. 70. – P. 105–121.
4. *Naiwei Lu Risk and Reliability in Structural Engineering: Theoretical Basis* // *Naiwei Lu, Mohammad Noori*. – *Momentum Press*, 2019. – 150 p.
5. *A. Makhinko To the calculation of the optimal level of reliability by using economic indicators* / A. Makhinko, N. Makhinko // *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2019. – Vol. 47. – Н. 251-259.
6. *Махінько А. Сталеві ємності для зберігання зерна. Частина 1/ А. Махінько, Н. Махінько*. – К.: Вид-во «Сталь», 2021. – 350 с.

УДК 624.012.35:620.173

*Микитенко Сергій, к.т.н, доцент кафедри будівельних конструкцій  
ORCID: 0000-0003-0569-4091, e-mail: mukutas@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН БЕЗКАПІТЕЛЬНО-БЕЗБАЛКОВОГО КАРКАСУ**

***Анотація:** Розглянуто розрахункову модель переходу напружено-деформованого стану від позацентрового стиску до косоного стискання залізобетонних колон безкапітельно-безбалкового каркасу. Враховуються особливості з'єднання перекриття з колонами в залежності від їх розташування в плані будівлі. Методика розрахунку несучої здатності позацентрово стиснутих та косо стиснутих залізобетонних колон у складі безкапітельно-безбалкового каркасу ґрунтується на використанні деформаційної моделі та нелінійної залежності між деформаціями та напруженнями стиснутої зони бетону. Задачі перевірки несучої здатності та розрахунку необхідної кількості поздовжньої арматури розв'язуються методами оптимізації. В якості цільової функції використовується залежність між деформацією максимально стиснутого бетону та сумою внутрішніх поздовжніх сил. Потреба в розробленні розрахунку базується на факті значного розповсюдження косоного стискання в порівнянні з позацентровим стисканням в практиці експлуатації будівельних конструкцій.*

***Ключові слова:** залізобетонна колона, позацентровий стиск, косо стискання, розрахункова схема, несуча здатність.*

*Mykytenko Serhii, candidate of technical sciences, assistant professor  
ORCID: 0000-0003-0569-4091, e-mail: mukutas@gmail.com  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

## **DESIGN OF CONCRETE COLUMNS OF THE FLAT PLATE FRAME**

***Abstract:** The design model of the transition of the stress-strain state from axial to biaxial bending of reinforced concrete columns of the flat plate frame is considered. Features of connection of overlapping with columns depending on their arrangement in the plan of the building are taken into account. The method of calculating the bearing capacity of axially and biaxially bended reinforced concrete columns in the flat plate frame is based on the use of deformation model and nonlinear strain-stress relationship in the compressed concrete area. The tasks of checking the bearing capacity and calculating the required number of longitudinal reinforcement are solved by optimization methods. The objective function is the relationship between the strain of the most compressed concrete and the sum of internal longitudinal forces. The need to develop a calculation is based on the fact of significant spread of biaxial bending in comparison with axial in the practice of building structures.*

***Key words:** reinforced concrete column, axial bending, biaxial bending, design scheme, bearing capacity.*

В практиці проектування безкапітельно-безбалкового каркасу слід урахувати специфічні відмінності при розв'язанні окремих задач [1, с. 43]. Особливо це стосується відповідності прийнятих моделей відображенню дійсної роботи конструктивної системи, котра розглядається. Аналіз існуючих методів розрахунку показує, що вони не враховують

особливості вузла з'єднання колон з надколонними плитами, а саме, він може спричинити виникнення косоного стискання у колонах каркасу [2, с.172].

Несуча здатність елемента при позацентровому та косому стисканні описується поверхню, котра обмежує деякий об'єм  $\Omega$  (рис. 1). Кожна точка на цій поверхні описується трьома координатами  $N, M_x, M_y$ . Ці координати визначають кут силової площини  $\beta$ . При  $M_x=M_y$  кут силової площини  $\beta = 45^\circ$ . Якщо значення параметрів  $N_i, M_{xi}, M_{yi}$  такі, що точка з такими координатами потрапляє в середину об'єму  $\Omega$ , то несуча здатність такого елемента буде забезпечена.

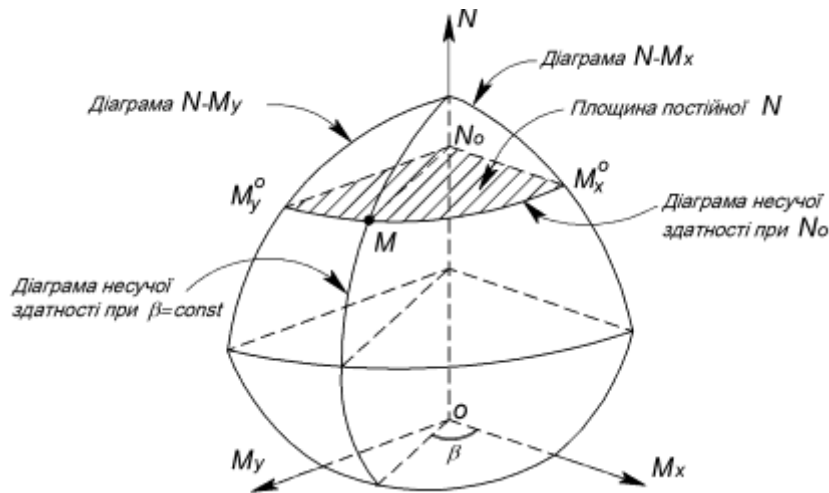


Рис. 1 – Форма поверхні несучої здатності при косому стисканні

Розрахунок колон на косий стиск у загальному випадку, з урахуванням п.4.2 [3, с.20], пропонується виконувати із умови рівноваги стиснутого елемента згідно розрахункової схеми, представленій на малюнку 2. Наведена схема відповідає куту силової площини  $\beta = 45^\circ$ , який є найбільш невідгідний, так як несуча здатність на зовнішній межі площини постійної  $N$  (рис. 1) буде мінімальною ( $M_x=M_y=min$ ). Розрахунок виконується для колон квадратного перерізу з розміром грані  $h$ . Розглядаються колони з симетричним армуванням в обох напрямках.

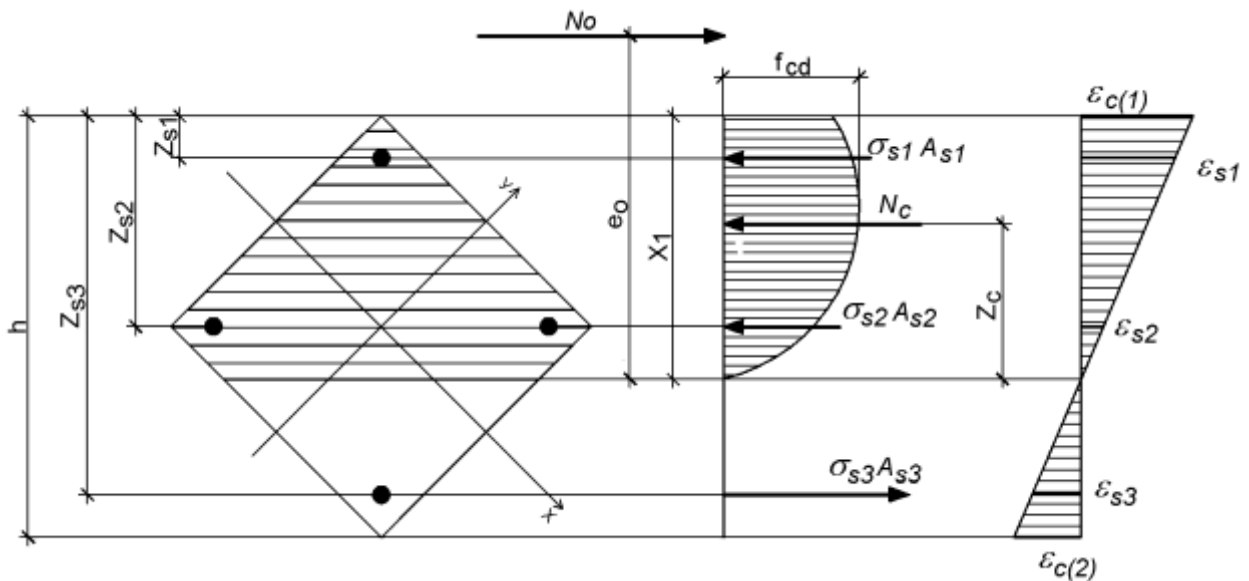


Рис. 2 – Розрахункова схема напружено деформованого стану колони при косому стисканні

Рівновага стиснутого елемента визначається двома рівняннями. Перше рівняння – це сума моментів відносно нейтральної осі

$$N_0 \cdot e_0 = f_{cd} S_c - \sum k_{si} \sigma_{si} S_{si}, \quad (1)$$

де  $e_0$  – відстань від лінії дії прикладеної поздовжньої сили  $N_0$  до осі, котра проходить через нейтральну лінію перерізу;

$S_c$  – статичний момент площі стиснутої зони бетону відповідно до п.3.1.4 [4, с.19] відносно нейтральної лінії,

$$S_c = z_c \int_0^{\varepsilon_{c(1)}} \frac{k\eta - \eta^2}{1 - (k-2)\eta}; \quad (2)$$

$\sigma_{si}$  – напруження в  $i$  – му стержні поздовжньої арматури;

$S_{si}$  – статичний момент  $i$  – го стержня поздовжньої арматури відносно нейтральної лінії;

$z_c$  – відстань від точки прикладання рівнодійної напружень в бетоні стиснутої зони  $N_c$  до нейтральної лінії.

Знак напружень  $\sigma_{si}$  в арматурних стержнях визначається коефіцієнтом  $k_{si} = (x_1 - Z_{si}) / |x_1 - Z_{si}|$ : плюс означає розтяг, а мінус – стиск.

Друге рівняння – це сума внутрішніх та зовнішніх зусиль на поздовжню вісь колони.

$$f_{cd} \int_0^{\varepsilon_{c(1)}} \frac{k\eta - \eta^2}{1 - (k-2)\eta} - \sum k_{si} \sigma_{si} A_{si} - N_0 = 0. \quad (3)$$

Висоту стиснутої зони  $X_1$  і напруження  $\sigma_{si}$  визначають зі спільного розв'язання рівняння (1) та (3)

Задачі перевірки несучої здатності та розрахунку необхідної кількості поздовжньої арматури розв'язуються методами оптимізації. В якості цільової функції використовується залежності (1) та (2), де в змінною є деформація стиснутого бетону  $\varepsilon_{c(1)}$ . Метою розрахунку є також побудова діаграми  $N-M_x-M_y$  при  $\beta = 45^\circ$ .

### Література

1. Сучасні конструктивні системи будівель із залізобетону. Монографія. / А.М. Павліков, Д.К. Балясний, О.В. Гарькава, О.О. Довженко, С.М. Микитенко, Н.М. Пінчук, Д.Ф. Федоров – м. Горішні Плавні : ФОП Олексієнко В.В., 2017. – 156 с.
2. Микитенко С.М. Аналіз основних розрахункових положень збірно-монолітного безбалкового безкапітельного каркаса / С.М. Микитенко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка: – Вип.4(39).- Полтава: ПНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2013. – С.171–178.
3. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 118 с.
4. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. / Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 71 с.



УДК 624.04:41

*Митрофанов Павло, к.т.н., доц.*

*ORCID: 0000-0003-4274-1336, e-mail: Mytrofanov.P@gmail.com*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **АНАЛІЗ ТА АЛГОРИТМІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

***Анотація.** Різні програмні компоненти багатофункціональних систем групуються на три основні блоки. Перші з них призначені для рішення задач технологічної підготовки виробництва, другі для виконання графічних робіт, останні для аналізу та перевірки проектних рішень та інженерних розрахунків. Тези присвячуються розробці програмного комплексу "Балка" з використанням методу скінченних елементів [1 – 4].*

***Ключові слова:** програмний комплекс, результати, дослідження, інженер.*

***MytrofanovPavlo, candidate of technical sciences, assistant professor***

*ORCID: 0000-0003-4274-1336, e-mail: Mytrofanov.P@gmail.com*

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

## **ANALYSIS AND ALGORITHMIZATION OF RESULTS SCIENTIFIC RESEARCH**

***Abstract.** The various software components of multifunction systems are grouped into three main blocks. The first of them are designed to solve problems of technological preparation of production, the second to perform graphic work, the latter to analyze and verify design solutions and engineering calculations. Theses are devoted to the development of the software package "Beam" using the finite element method [1 - 4].*

***Key words:** software package, results, research, engineer.*

У Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» постійно ведуться розробки за різними напрямками наукової діяльності, зокрема на кафедрі будівельних конструкцій. Як приклад, наведемо кафедральну розробку: програмну утиліту «Балка», яка дозволяє оцінити напружено-деформований стан балочних систем на основі методу скінченних елементів. Ця програма розроблена з метою популяризації серед студентів такого потужного методу як метод скінченних елементів для розрахунків будівельних конструкцій.

Розглянемо взаємодію між основними пунктами програмної системи «Балка» Робота з програмною утилітою «Балка» розпочинається із опису вихідних даних для задачі. Процес опису супроводжується візуальним аналізом правильності уведених даних, після чого дані зберігаються у файл для подальшої роботи з ними.

Початком роботи з програмою є використання утиліти для опису параметрів вихідних даних, яка дозволяє водночас візуально контролювати правильність опису вихідних даних та контролем правильності розташування навантажень та опор у прольоті конструкції. Після збереження розрахункової схеми балочної конструкції у файл можна переходити до різного роду розрахунків, зокрема до визначення внутрішніх зусиль, вузлових переміщень, обчислення фібрових напружень прокатного перерізу тощо. Зберігання результатів розрахунків передбачено у вигляді текстових файлів. Для епюр внутрішніх зусиль та переміщень результати відображаються у форматі графічних файлів. Для аналізу конструкції за критерієм міцності користувач може скористатись утилітою, яка визначає головні

напруження на основі співвідношення нормальних та дотичних напружень. Для прикладу на малюнках 1–5 наведені діалогові форми модуля програми «Балка».

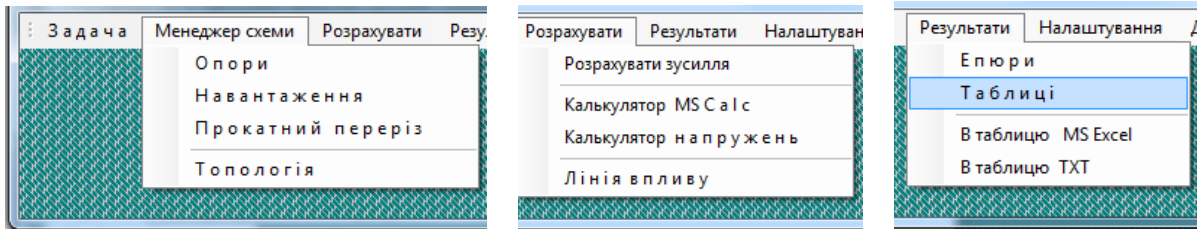


Рис. 1 – Головне меню програми «Балка». Інтерфейс пунктів

Інтерфейс програми для опису параметрів розрахункової схеми балки:

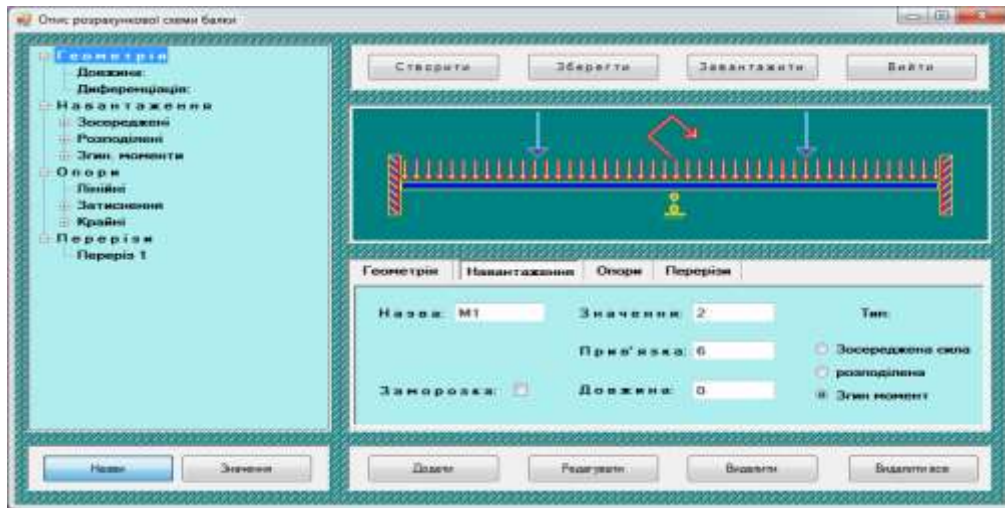


Рис. 2 – Програма «Балка». Інтерфейс її головного меню

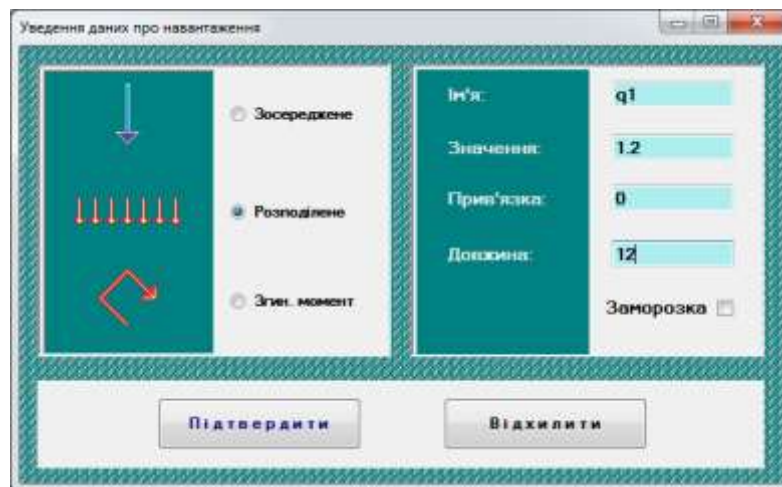


Рис. 3 – Введення вхідних даних

Утиліта для перегляду результатів розрахунку у вигляді епюр:

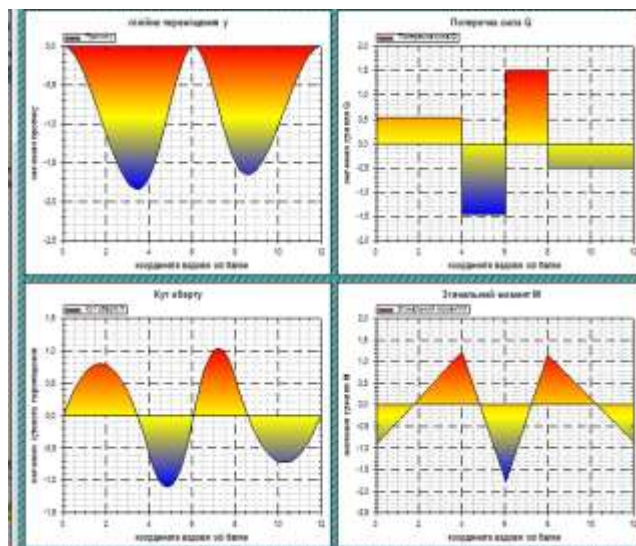


Рис. 4 – Епюри Q та M

х, м	прогин	кут оберту	зусилля Q	зусилля M
0.000	0.0000	0	0	0
			10.175	-22.04444
0.600	-3.6017	11.395	10.175	-15.93944
			10.175	-15.93944
1.200	-12.9416	19.127	10.175	-9.83444
			10.175	-9.83444
1.800	-25.8219	23.197	10.175	-3.72944
			10.175	-3.72944

Рис. 5 – Таблиця з результатами розрахунку

Як бачимо, програма «Балка» представляє собою досить просту як для інженера-конструктора програму із дружнім інтуїтивним та зрозумілим інтерфейсом, меню та набором утиліт із полями для введення числових даних та подальшою програмною перевіркою їх коректності.

**Висновки.** Виконано проектування програмної системи «Балка» на основі інженерних вимог проектувальників елементів будівельних конструкцій. Розроблені тести контрольних розрахункових схем та проведено тестування системи «Балка» за контрольними прикладами розрахунку. З метою популяризації наукових розробок кафедри будівельних конструкцій проводиться поширення розробок, використання їх в навчальному процесі під час практичних занять зі студентами.

#### Література

1. Нортрон Т. Основи розробки додатків на платформі Microsoft .NET Framework: іспит-536 MCTS / Тоні Нортрон, Шон Вілдермьюс, Білл Райан; [Пер. з англ. О. Є. Соловченко]. – М., 2007. – 842 с.
2. Лаптев В.В. С++. Об'єктно-орієнтоване програмування: [навчальний посібник для вузів]/В.В. Лаптев. - СПб. [та ін], 2008. – 457 с.
3. Крилов Є.В. Техніка розробки програм. У 2 кн.. Кн.. 1: [підручник для вузів за напрямками "Інформатика та обчислювальна техніка" та "Техніка та технології"] / Є.В. Крилов, В.А. Острейковський, Н.Г. Тінікін. – М., 2007. – 364 с.
4. Хорєв П.Б. Об'єктно-орієнтоване програмування: [навчальний посібник за напрямом "Інформатика та обчислювальна техніка"]. – М., 2011. – 325 с.

УДК 666.9.033

*Назаренко Іван, д.т.н., професор кафедри машини і обладнання технологічних процесів  
ORCID ID: 0000-0002-1888-3687, e-mail: ii\_nazar@ukr.net,  
Київський національний університет будівництва та архітектури*

*Нестеренко Микола, к.т.н., доцент будівельних машин і обладнання  
ORCID ID: 0000-0002-4073-1233, e-mail: nesterenkonikola@gmail.com,  
Нестеренко Тетяна, к.т.н., доцент кафедри нафтогазової інженерії та технологій,  
ORCID ID: 0000-0002-2387-8575  
Ведмідь Василь, аспірант,  
ORCID ID: 0000-0003-1514-1212,  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ЛАБОРАТОРНИЙ ВІБРОМАЙДАНЧИК ЗІ ЗМІННО НАПРАВЛЕНИМИ КОЛИВАННЯМИ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ**

*Анотація.* Проведено дослідження конструктивних особливостей основних типів лабораторних вібромайданчиків. Розроблена конструкція лабораторного вібромайданчика зі змінно направленими коливаннями для ущільнення бетонних сумішей. Запропонований вібромайданчик можна використовувати для дослідження ущільнення бетонних виробів при різних режимах роботи.

*Ключові слова:* лабораторний вібромайданчик, ущільнення бетонних сумішей, віброзбуджувач, вібрація.

*Nazarenko Ivan, Dr. of Technical Sciences, professor,  
ORCID ID: 0000-0002-1888-3687, e-mail: ii\_nazar@ukr.net,  
Kyiv National University of Construction and Architecture*

*Nesterenko Mykola, Ph.D., associate professor,  
ORCID ID: 0000-0002-4073-1233, e-mail: nesterenkonikola@gmail.com,  
Nesterenko Tetiana. Ph.D., associate professor,  
ORCID ID: 0000-0002-2387-8575  
Vedmid Vasil, graduate student,  
ORCID ID: 0000-0003-1514-1212,  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

## **LABORATORY VIBRATION MACHINE WITH VARIABLE DIRECTIONAL VIBRATIONS FOR COMPACTING CONCRETE MIXES**

*Abstract.* A study of the design features of the main types of laboratory vibrating machines. The design of a laboratory vibrating platform with variable directional oscillations for compaction of concrete mixtures has been developed. The proposed vibrating platform can be used to study the compaction of concrete products in different modes of operation.

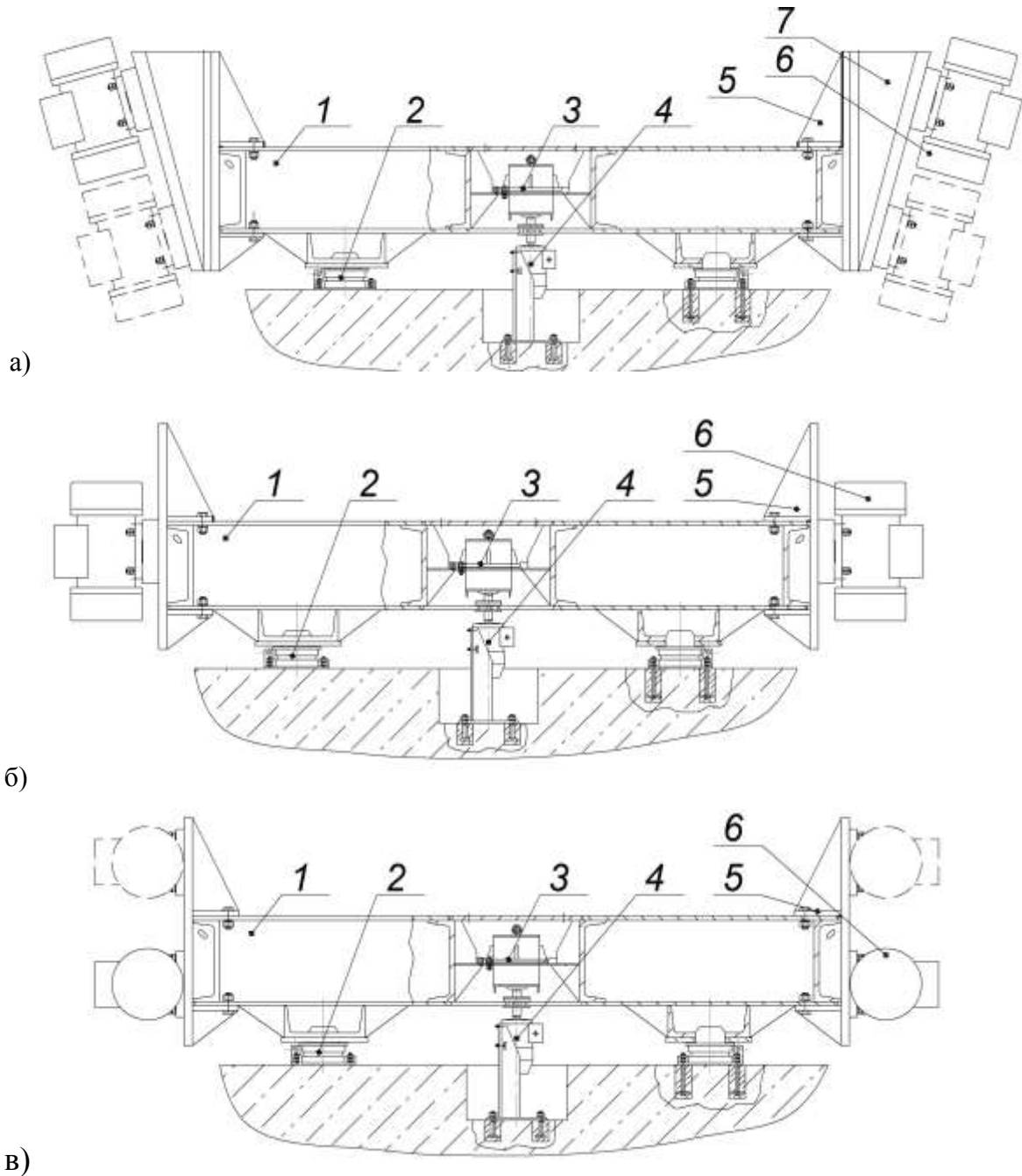
*Keywords:* laboratory vibrating machine, compaction of concrete mixtures, vibration exciter, vibration.

**Постановка проблеми.** В роботах [1–3] наведено основні типи лабораторних вібромайданчиків з для ущільнення бетонних сумішей в основному це установки з вертикально, або горизонтально направленими коливаннями. Для проведення досліджень ущільнення бетонних сумішей підчас лабораторних досліджень виникає потреба в

універсальній машині, на якій можливо буде змінювати напрямлення коливань та місця кріплення вібробуджувачів на рухомій рамі.

**Виклад основного матеріалу.** Запропоновано конструкцію (рис. 1), яка може бути оснащена вібробуджувачем зі змінним статичним моментом [4] та одночастотними вібробуджувачами коливань.

Лабораторний вібромайданчик дозволяє моделювати такі просторові коливання, які створюють віброплощадки з просторовими коливаннями із різним розташуванням вібробуджувачів на рухомій рамі, а також відтворює прийнятну конструктивну схему промислових віброплощадок із підвищеною технологічною ефективністю.



**Рис. 1 – Конструктивна схема лабораторного вібромайданчика для формування бетонних виробів з вертикально спрямованими коливаннями:**

1 – рама рухома, 2 – гумометалева опора, 3 вібробуджувач зі змінним статичним моментом, 4 – електропривід, 5 – вібробуджувач типу ИВ.

До складу лабораторного вібромайданчика входить рухома рама з габаритними розмірами в плані 2,4x1,5. На торцях рухома рама має підвібраторні плити 5 із віброзбуджувачами 6 для зміни кута нахилу віброзбуджувачів використовується клин 7.

Віброзбуджувачі коливальні 5 кріпляться до рухомої рами болтами. Віброзбуджувач зі змінним статичним моментом розміщений в центрі рами та приводиться в дію через пружну муфту від електродвигуна потужністю 0,25 кВт, встановленого на вертикальній підмоторній рамі.

Рухома рама спирається на 4 гумовометалеві опори 2, прикріплених безпосередньо до фундаменту віброплощадки. До рухомої рами опори кріпляться за допомогою виступів на опорах, що входять в посадочні отвори в рухомій рамі. Це дозволяє при необхідності швидко зняти рухома раму для огляду та очищення пружних опор та приямків фундаменту, що дуже зручно в процесі експлуатації.

**Висновки.** В якості моделей «віброплощадка – ущільнюване середовище» для намічених досліджень запропоновано лабораторний вібраційний майданчик спроектований таким чином, що дозволяє моделювати рух робочих органів реальних вібраційних машин для формування залізобетонних виробів, а також у необхідних межах змінювати характер та параметри їх коливальних.

При проведенні експериментальних досліджень можливо буде порівняти характер розподілу амплітуд складових віброприскорень по висоті шару бетонної суміші в залежності від значення змушуючої сили віброзбуджувача та місця встановлення, висоти шару бетонної суміші та зміни її пластичності бетонної суміші у процесі ущільнення.

#### *Література*

1. Назаренко І.І. Дослідження режимів і параметрів лабораторного вібромайданчика для формування контрольних зразків бетону / І. І. Назаренко, І. Ю. Мартинюк // Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Сер. : Галузеве машинобудування, будівництво. – 2013. – Вип. 1(1). – С. 135 – 140.
2. Nazarenko I., Diachenko O., Pryhotskyi V., Nesterenko M. (2021). Structural analysis of vibration platform for panel units forming and consideration of its utilizing options. *Academic Journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 1(56). 37-42
3. Сердюк Л.И. Основы теории, расчеты конструирование управляемых вибрационных машин с дебалансными возбудителями: дис. .докт. техн. наук / Сердюк Л.И.– Полтава, 1991. – 301 с
4. Назаренко І.І. Аналіз роботи дебалансного віброзбуджувача кругових коливальних зі змінним статичним моментом для будівельних та нафтогазових машин та обладнання / Назаренко І.І., Нестеренко М.М., Нестеренко Т.М., Заруба Д.А. // Збірник наукових праць II Міжнародної українсько-азербайджанської конференції «BUILDING INNOVATIONS – 2019», 23 – 24 травня 2019 року. – Полтава: ПолтНТУ, 2019. – С. 148 – 150.

УДК 528.016.1:692.9

*Нестеренко Світлана, к.т.н., доцент,*

*ORCID: 0000-0002-2288-3524, e-mail: NesterenkoS2208@gmail.com*

*Міщенко Роман, к.т.н., доцент,*

*ORCID: 0000-0003-1027-0541, e-mail: rom2014rom2014@gmail.com*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ АНТЕН GNSS–СТАНЦІЙ**

**Анотація.** Для встановлення антен GNSS–станцій глобальної навігаційної супутникової системи виникає потреба у пошуку об'єктів, які можуть бути місцем розташування. Одним із основних факторів впливу на розміщення є стан зовнішніх конструкцій будівель і споруд, до яких будуть кріпитися елементи GNSS–станції. Таким чином, виникає потреба у обстеженні конструкції щодо їх стійкості в умовах дії зовнішніх чинників гідротермічного походження, що можуть впливати на їх рух.

Досліджені різні способи установаження GNSS–станцій. Зазначено переважні умови вибору місця для закріплення приймальної антени GNSS–станції. Виділено групи місць установаження приймальних антен на опорних частинах дахів будівель. Доведена необхідність попереднього обстеження місць розміщення геодезичних пунктів перманентних мереж, конструктивної можливості кріплення приймальної антени.

**Ключові слова:** надійність, обстеження, будівлі і споруди, зовнішні конструкції, GNSS–станція, встановлення приймальних антен.

*Nesterenko Svitlana, PhD, Associate Professor,*

*ORCID: 0000-0002-2288-3524, e-mail: NesterenkoS2208@gmail.com*

*Mishchenko Roman, PhD, Associate Professor,*

*ORCID: 0000-0003-1027-0541, e-mail: rom2014rom2014@gmail.com*

*National university «Yuri Kondratyuk Poltava polytechnic»*

## **RELIABILITY OF STRUCTURES FOR INSTALLATION OF GNSS-STATION ANTENNAS**

**Abstract.** To install GNSS antennas from global navigation satellite systems, there is a need to search for objects that may be locations. One of the main factors influencing the location is the condition of the external structures of buildings and structures to which the elements of the GNSS station will be attached. Thus, there is a need to study the structure of their real estate under the influence of external factors of hydrothermal origin, which may affect their movement. Various ways of installing GNSS stations have been studied. The preferred conditions for choosing the location for mounting the receiving antenna of the GNSS station are indicated. Preferential conditions for choosing the location for installation and operation of the GNSS receiving antenna are specified. Groups of places for installation of receiving antennas on bearing parts of constructions of buildings and constructions are defined. The necessity of preliminary inspection of the locations of geodetic points of permanent networks, constructive possibility of mounting the receiving antenna is proved.

**Keywords:** reliability, inspection, buildings and structures, external structures, GNSS-station, installation of receiving antennas.

Високоточне координатно-часове забезпечення значної частки геодезичних, землепорядних та інших робіт із застосуванням GNSS–технологій суттєво підвищує ефективність та темпи їх виконання. Наявність у будь-якому регіоні мережі GNSS–станцій дозволяє забезпечити централізовану інформаційну підтримку геодезичних робіт користувачів на всій території регіону. Приймальні антени GNSS–апаратури розташовують на спорудах, будівлях, спеціальних постаментях, фундаменти яких часто перебувають у зоні значних деформацій ґрунту під дією варіації гідротермічних чинників. Це може спотворювати отримані результати моніторингу земної поверхні і поставити під сумнів достовірність їх інтерпретації [1].

На даний час близько 200 організацій, що займаються збором GNSS–даних з базових станцій по всьому світу, об'єднані в IGS (International GNSS Service), яка, в свою чергу, входить до Міжнародної асоціації геодезії.

В Європі існують кілька сотень інших регіональних перманентних (референцних) GNSS–станцій спостереження власних регіональних мереж згущення EPN. Для проведення досліджень розглянемо деякі з цих мереж.

До складу Чеської GNSS–мережі CZEPOS входить 28 постійних станцій, рівномірно розташованих по території на відстані приблизно 60 км. На території Чеської Республіки знаходяться 23 станції CZEPOS, які розташовані на будівлях кадастрових відділень Управління землепорядного бюро, і 5 зовнішніх станцій, що беруть участь у дослідницькій мережі VESOG [2]. Приймальні антени кріпляться до нерухомих частин будівель. Вони розташовані так, щоб забезпечити постійний якісний прийом сигналів супутників GNSS (кут маскування –  $5^\circ$ ). Конструкція антен – Dorne & Margolin: дросельне кільце антени пригнічує багатопроменевий ефект і забезпечує стабільність фазового центру антени. Антени обладнані захисним кожухом (обтічником). Структура антени з'єднана з громовідведенням будівлі, провід антени між антеною і приймачем закріплений громозахисником, з'єднаним з еквіпотенціальною системою будівлі.

Опорні станції, розташовані на території Словаччини, встановлюються здебільшого на опорних частинах дахів будівель переважно кадастрових відділів районних рад, або, залежно від обставин, вони монументовані залізобетонним стовпом. LatPos – глобальна навігаційна супутникова система, яка постійно працює в Латвії, включає 25 базових станцій GNSS, які постійно експлуатуються і рівномірно розподілені на території Латвії. Станції оснащені геодезичними кільцевими антенами з дроселем з куполом над ними, які зменшують багатопроменевий ефект відбитого сигналу, що може заважати точності вимірювань. Усі антени розташовані таким чином, щоб мати максимальну експозицію до неба, що дозволяє їм приймати сигнали з усіх можливих супутників.

Для порівняння із закордонним досвідом охарактеризовано процес встановлення GNSS–станції в Україні. Перманентна (постійна) станція системи позиціонування GNSS «Прилуки» PRYL розміщена у місті Прилуки Чернігівської області [3]. З метою визначення місця встановлення станції було досліджено різні висотні споруди у Прилуках – Прилуцький агротехнічний коледж, Прилуцький професійний ліцей, Прилуцьке районне управління земельних ресурсів. Обрано споруду Прилуцької районної державної адміністрації. У процесі виконання рекогносцивальних робіт 4–х поверхової споруди було досліджено конструкцію даху, бетонних плит перекриття та технічного поверху, технічну можливість встановлення опори антени GNSS–приймача над приміщенням, де буде розташований програмно-апаратний комплекс, визначена видимість горизонту  $\pm 5^\circ$ . З урахуванням таких вимог була запроєктована опора антени з примусовим центруванням. Стабільність планово-висотного положення антени забезпечується невеликими розмірами опори (1 м) та надійним її кріпленням (4 анкерні болти) крізь бетонну плиту перекриття даху. У верхній частині опора захищена гофрованою трубою та скріплена хомутами для запобігання проникнення вологи усередину опори. Для забезпечення антикорозійних процесів спеціально



виготовлений становий гвинт з латуні. Знайдено рішення під'єднання автономного кабелю мережі Інтернет, забезпечено автономне живлення 220 В.

Досліджуючи постійнодіючі перманентні мережі, можна виділити переважні умови вибору місця для встановлення і експлуатації приймальної антени GNSS-станції: 1 – забезпечення відкритості небесної сфери для отримання якісного прийому сигналу при кутах елевації супутників  $5^{\circ}$ – $90^{\circ}$ ; 2 – повна відсутність (за окремими виключеннями) поряд зі станцією кабелів і дротів, а також металевих конструкцій; 3 – бажана наявність блискавковідводу на цьому ж даху; 4 – можливість кріплення до нерухомих частин будівель і споруд для уникнення горизонтальних і вертикальних рухів станції (металева зварна конструкція складається з вертикальної труби і елементів закріплення, попередньо фарбується і закріплюється анкерними гвинтами, на кінець труби встановлюється накінецьник з різьбою 5/8 дюйма або трегер); 5 – віддаленість від станцій мобільних операторів не менше 400 м, так як антени стільникового зв'язку і антени GNSS-станцій працюють в одному діапазоні частот (близько 1800 MHz); 6 – забезпечення безперебійного електроживлення базової станції (встановлення джерела безперебійного живлення), віддаленість від потужних електричних приладів (котлів, насосів, водонагрівачів, кондиціонерів тощо); 7 – дотримання чинних нормативів з питань санітарного та епідеміологічного благополуччя населення, екології, охорони праці, енергозбереження, пожежної безпеки, міцності, надійності та необхідної довговічності будинків і споруд, а також архітектурних вимог. Антена може бути встановлена на споруді або на даху будівлі, бажано без скатів, висотою не більше 4-6 поверхів. При цьому будівля має бути розташована на твердому ґрунті з мінімальними зрушеннями (не більше 10–15 мм на рік). Приймальна антена встановлюється на спеціальному сталевому репері заввишки 1–1,5 метра, який кріпиться до конструкцій за допомогою анкерних болтів. Довжина кабелю від приймальної антени до приймача, обмежена виробником апаратури, не повинна перевищувати 30 м-коду. Місце встановлення антени має бути захищене від проникнення сторонніх осіб. Станція має бути розташована в максимально захищеному від вандалізму місці – будинках адміністрацій, муніципальних утворень та ін.

Згідно вищенаведених умов можна виділити групи місць спеціального установаження приймальних антен: безпосередньо на даху будівлі, на парпетних стінках, до вентиляційних шахт споруд, до зовнішніх стін будівель і споруд, на спеціальних постаментах. Приймальні антени GNSS-станцій влаштовують на відкритій ділянці місцевості (даху) з максимально відкритим горизонтом, щоб отримувати безперешкодний радіонавігаційний сигнал із супутників.

### *Література*

1. Павлик В.Г., Кутний А.М., Нестеренко С.В. *Визначення локальних вертикальних рухів перманентної GPS – станції у Полтаві. XIII Міжнародна науково-практична конференція «Академічна й університетська наука: результати та перспективи», НУПП, 10-11.12.2020. С. 141-145.*
2. *Офіційний сайт Чеської GNSS мережі. URL: <http://czepos.cuzk.cz/>.*
3. *Ishchenko M., Khoda O. On GNSS Activity at the Main Astronomical Observatory NASU // International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2020», Lviv (Ukraine). 2020. URL: <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper-2020/gnss-activity-main-astronomical-observatory-nasu>*

УДК 624.042.4

*Пашинський Микола, к.т.н.,  
ORCID: 0000-0002-2669-523X, e-mail filonalone@gmail.com*

*Пашинський Віктор, д.т.н., проф.,  
ORCID: 0000-0002-5474-6399, e-mail pva.kntu@gmail.com*

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький*

## **ДО ВИБОРУ СПОСОБУ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РАЙОНУВАННЯ КЛІМАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ**

*Анотація.* Виконане порівняння відомих способів територіального районування кліматичних дій на будівлі та будівельні конструкції. Обґрунтована доцільність упровадження адміністративно-територіального районування характеристичних значень кліматичних навантажень в ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи".

**Ключові слова:** кліматичні навантаження, територіальне районування.

*Pashynskyi Mykola, PhD,  
ORCID: 0000-0002-2669-523X, e-mail filonalone@gmail.com*

*Pashynskyi Victor, Sc. D., prof.  
ORCID: /0000-0002-5474-6399, e-mail pva.kntu@gmail.com  
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi*

## **ON THE CHOICE OF THE METHOD OF TERRITORIAL DISTRIBUTION OF CLIMATE LOADS ON STRUCTURES**

*Abstract.* The comparison of known methods of territorial zoning of climatic actions on buildings and structures is performed. The expediency of introduction of administrative-territorial zoning of characteristic values of climate loads in DBN B.1.2-2: 2006 "Loads and impacts" is substantiated.

**Keywords:** climatic loads, territorial zoning.

Завершальним етапом дослідження та нормування кліматичних навантажень і впливів на будівельні конструкції є територіальне районування характеристичних значень. Сучасні норми [1..4] зазвичай використовують табличний чи картографічний спосіб районування кліматичних параметрів. У статтях [5, 6] коротко описані розрахунковий спосіб та спосіб адміністративно-територіального районування. Нижче виконане порівняння картографічного та адміністративного способів районування.

Картографічний спосіб територіального районування полягає в поділі території країни на кілька зон, для кожної з яких з певним запасом надійності встановлюється зональне значення кліматичного параметра. Розроблені в [8] карти територіального районування наведені на малюнках 1 і 2. Недоліками цього способу є необхідність побудови та включення до норм карт територіального районування кожного з параметрів, невизначеність вибору поблизу меж територіальних районів, а також складність урахування нової метеорологічної інформації при перегляді норм.

Адміністративно-територіальне районування кліматичних параметрів [7, 8, 9] полягає у тому, що для кожної адміністративної одиниці країни в запас надійності встановлюється обласне значення кліматичного параметра. Результатом районування є таблиця з переліком областей та відповідних значень кліматичних параметрів, яка замінює кілька карт районування. Це робить норми навантажень компактнішими та виключає помилки від

неточного визначення положення будівельного об'єкта на карті районування. Для порівняння з результатами картографічного районування замість таблиці з [8] на малюнках 3 і 4 наведені схематичні карти території України.



Рис. 1 – Характеристичні значення ваги снігового покриття

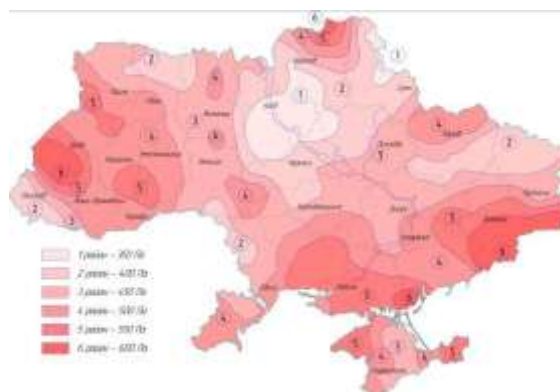


Рис. 2 – Характеристичні значення вітрового тиску



Рис. 3 – Характеристичні значення ваги снігового покриття



Рис. 4 – Характеристичні значення вітрового тиску

З малюнків 1...4 видно, що загальний характер змін снігового та вітрового навантаження по території України близький до карт ДБН [1]. Якість територіального районування оцінена за відсотками відхилень встановленого зонального чи обласного значення навантаження від характеристичних значень для окремих метеостанцій. За результатами статистичної обробки відхилень для 172 метеостанцій визначені такі показники якості районування: забезпеченість районування  $\beta$  (частка метеостанцій, для яких районування дає запас надійності), середнє значення  $M_{\Delta}$  і стандарт  $S_{\Delta}$  відхилень. Значення  $\beta$  й  $M_{\Delta}$  характеризують запаси районування, а стандарт  $S_{\Delta}$  – точність районування, пропорційну до розкиду даних в межах області та можливої величини надмірних запасів. Ці показники для карт територіального районування з ДБН [1] та для картографічного й адміністративного районування з [8] наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники якості територіального районування кліматичних навантажень

Навантаження	Показники якості районування	За картами ДБН [1]	Картографічне за рис. 1, 2	Адміністративне за рис. 3, 4
Вага снігу	Забезпеченість районування $\beta$	0,70	0,94	0,94
	Середній запас $M_{\Delta}$ , %	5,3	21,7	23,6
	Стандарт запасу $S_{\Delta}$ , %	17,4	12,8	15,2
	Середньозважене навантаження, Па	1425	1687	1745
Тиск вітру	Забезпеченість районування $\beta$	0,83	0,93	0,95
	Середній запас $M_{\Delta}$ , %	17,4	15,3	23,9
	Стандарт запасу $S_{\Delta}$ , %	16,9	11,3	15,5
	Середньозважене навантаження, Па	483	468	530

З таблиці 1 видно, що нові карти з малюнків 1, 2 та результати адміністративно-територіального районування, представлені на малюнках 3, 4, дають більші запаси визначення характеристичних значень порівняно з картами ДБН [1]. Середньозважені по території характеристичні значення навантажень також перевищують відповідні значення з карт ДБН [1]. При цьому стандарти  $S_{\Delta}$  є меншими порівняно з картами [1], що вказує на більшу детальність і вищу точність запропонованого районування.

#### **Висновки:**

1. Як нові карти, так і адміністративно-територіальне районування розроблені із забезпеченістю районування 0,93...0,95 і гарантують більші запаси при визначенні кліматичних навантажень, ніж карти районування чинних ДБН В.1.2-2:2006.

2. При досить близьких кінцевих результатах адміністративно-територіальне районування істотно спрощує користування нормами порівняно з традиційним картографічним районуванням і при цьому гарантує безпомилкове визначення характеристичних значень кліматичних навантажень.

3. Виконаний аналіз дозволяє рекомендувати результати адміністративно-територіального районування до включення в ДБН В.1.2-2 "Навантаження і впливи" замість карт, які використовуються в даний час.

#### *Література*

1. ДБН В.1.2-2:2006. Система надійності та безпеки в будівництві. Навантаження і впливи. – К.: Мінбуд України, 2006. – 59 с.
2. EN 1991-1-3. Eurocode 1. Actions on Structures. – Part 1-3: General Actions. Snow Loads. – Brussels : CEN, 2003. – 56 p.
3. ENV 1991-1-4. Eurocode 1: Actions on structures — Part 1-4: General actions - Wind actions. - CEN, 2002.
4. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – К., 2011. – 101 с.
5. Пашинський В.А. Способи територіального районування кліматичних навантажень / В.А.Пашинський, М.В.Пашинський, В.В.Пашинський // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Атлант, 2016. – Випуск № 64. – С. 103-109.
6. Željko Kos. Analysis of Methods for Determining Climate Loads at a Specified Territory Point by Meteorological Data / Željko Kos\*, Viktor Pashynskiy, Yevhenii Klymenko, Mykola Pashynskiy // Tehnički glasnik (Technical Journal), Vol. 14, No. 2, June 2020. – p. 206-211. ISSN 1846-6168 (Print), ISSN 1848-5588 (Online) <https://doi.org/10.31803/tg-20191125075805>
7. Пашинський В.А. Методика адміністративно-територіального районування кліматичних навантажень на будівельні конструкції // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : Збірник наукових праць. – Рівне, 2016. – Випуск 32. – С. 387-393.
8. Пашинський В.А., Філімоніхін Г.Б., Пашинський М.В. Районування характеристичних значень кліматичних навантажень на території України. Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського / Під загальною редакцією О.В. Шимановського. – К. : Вид-во «Сталь», 2018. – Вип. 19 – С. 88-100.
9. Pashynskiy, V., Pashynskiy, M., Pushkar, N., Skrynnik, I.: Method of administrative-territorial zoning of the design parameters of air temperature, Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS, 2019, 19, pp. 50-57, <https://doi.org/10.13167/2019.19.5>

UDC 624.012

*Pavlikov Andrii, ScD, Professor,  
ORCID: 0000-0002-5654-5849, e-mail: am.pavlikov@gmail.com  
Harkava Olha, PhD, Associate Professor,  
ORCID: 0000-0003-2214-3128, e-mail: olgaboiko@ukr.net  
Atembemoh Kelvis, Post-graduate student,  
ORCID: 0000-0002-2154-1012, e-mail: kelvis.atem@yahoo.com  
National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

## **USE OF THE DESIGN REINFORCED CONCRETE STRENGTH IN SOLVING PRACTICAL STRENGTH PROBLEMS**

***Abstract.** The paper presents a generalized deformation model for the calculation of reinforced concrete structures, which is considered as composite material formed of reinforcement and concrete. On this basis, it is proposed to use the concept of the design strength of reinforced concrete into solving practical strength problems. This allows us to reduce the structural analysis of reinforced concrete members to the methodology of calculations introduced in the classical strength of materials, which contributes to a significant simplification and acceleration of the design process of both single members and structures in general.*

***Keywords:** concrete, reinforcement, strength, analysis.*

*Павліков Андрій, д.т.н., професор,  
ORCID: 0000-0002-5654-5849, e-mail: am.pavlikov@gmail.com  
Гаркава Ольга, к.т.н., доцент,  
ORCID: 0000-0003-2214-3128, e-mail: olgaboiko@ukr.net  
Атембемах Келвіс, аспірант,  
ORCID: 0000-0002-2154-1012, e-mail: kelvis.atem@yahoo.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ВИКОРИСТАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОНУ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ ПРАКТИЧНИХ ЗАДАЧ МІЦНОСТІ**

***Анотація.** У роботі представлена узагальнена деформаційна модель для розрахунку залізобетонних конструкцій, в якій залізобетон розглядається як композиційний матеріал, утворений з арматури та бетону. На цій основі пропонується використовувати при розв'язанні практичних задач міцності поняття розрахункової міцності залізобетону. Це дозволяє звести розрахунок залізобетонних елементів до методики розрахунків, запровадженої в класичному опорі матеріалів, що сприяє значному спрощенню та прискоренню процесу проектування як окремих елементів, так і конструкцій в цілому.*

***Ключові слова:** бетон, арматура, міцність, аналіз.*

The first methods of flexural reinforced concrete members' strength determination were based on the method of structural analysis. This method was used for members of elastic materials. The first mention of reinforced concrete occurs in the middle of the eighteenth century. The main prerequisites of the method included the following: the validity of Hooke's law for materials and the hypothesis of plane sections, the cross-section was reduced to a conditional homogeneous, the ratio of elasticity modules was assumed constant [1]. The essence of the method was to determine the stresses in structures caused by the action of external loads and compare them with allowable stresses for the structure material.

Modern methods of reinforced concrete member's structural analysis [2 – 4] provide using of nonlinear stress-strain diagrams for materials subject to validity of the linearity of longitudinal strains in the section of the members. This leads to necessity of iterative methods introduction for designing structures using computational techniques.

**Problem statement.** The main ideal of the presented method is to improve and simplify the structural analysis of reinforced concrete members by introducing the synthesized concept of the design reinforced concrete strength, taking into account the strength characteristics of concrete and reinforcement, the reinforcement ratio and the location of reinforcement in the cross-section.

**Basic material and results.** The following prerequisites for structural analysis are accepted [2]:

- 1) Concrete stress-strain diagram  $\sigma_c = f(\varepsilon_c)$  is used in the form of nonlinear dependencies that conformed by generally accepted deformation criteria.
- 2) Reinforcing steel stress-strain diagram  $\sigma_s = f(\varepsilon_s)$  is described by bi-linear Prandtl diagram with corresponding values of the limiting points.
- 3) Hypothesis of plane cross sections is used.
- 4) The tensile strength of concrete is ignored.

As destruction criteria for nonlinear stress-strain diagrams of materials, the following are accepted:

- 1) The ultimate concrete compressive strains  $\varepsilon_{cu}$  and the yield strength of the tensile reinforcement in the absence of the extremum of the load-bearing capacity are achieved in the cross-section.
- 2) The tensile reinforcement strains reach  $\varepsilon_{ud}$ .

In order to use the concept of reinforced concrete strength in calculations of reinforced concrete members bearing capacity, tables of its values are compiled depending on the reinforcement ratio, concrete and reinforcement classes [Tables 1, 2]. In calculating these values, the rectangular stress distribution in the compressed concrete area was adopted.

The general condition of flexural reinforced concrete members bearing capacity has the form

$$f_{zM} \geq \frac{M_{Ed}}{W}, \quad (1)$$

where  $f_{zM} = f(C, \rho_b, f_{yd})$  – the design value of reinforced concrete strength in flexural members, is taken in table 1;  $W$  – elastic moment of resistance of the effective concrete section.

Table 1 – Design strength values of reinforced concrete  $f_{zM1}$  for flexural members with single reinforcement, MPa

Strength classes for concrete	Longitudinal reinforcement ratio $\rho_l$							
	0.05	0.5	1	1.25	1.75	2	2.5	3
	$f_{yd} = 364 \text{ MPa (A400C)}$							
C8/10	1.075	9.263	15.215	16.948	17.29	17.29	17.29	17.29
C12/15	1.080	9.750	17.163	19.993	23.898	24.49	24.49	24.49
C16/20	1.083	10.055	18.385	21.899	27.634	29.854	33.13	33.13
C20/25	1.085	10.234	19.098	23.016	29.824	32.714	37.466	40.848
C25/30	1.086	10.335	19.501	23.646	31.059	34.327	39.986	44.476
C30/35	1.086	10.410	19.801	24.115	31.977	35.526	41.86	47.174
C32/40	1.087	10.468	20.033	24.476	32.686	36.452	43.307	49.259
C35/45	1.088	10.522	20.250	24.815	33.350	37.320	44.662	51.210
C40/50	1.088	10.558	20.394	25.041	33.793	37.898	45.566	52.511
C45/55	1.088	10.588	20.515	25.229	34.162	38.380	46.319	53.595
C50/60	1.088	10.618	20.635	25.417	34.531	38.861	47.071	54.679

Table 2 – Design strength values of reinforced concrete  $f_{z_{M1}}$  for flexural members with single reinforcement, MPa

Strength classes for concrete	Longitudinal reinforcement ratio $\rho_l$							
	0.05	0.5	1	1.25	1.75	2	2.5	3
	$f_{yd} = 435 \text{ MPa (A500C)}$							
C8/10	1.281	10.684	16.638	17.841	17.28	17.28	17.28	17.28
C12/15	1.288	11.380	19.421	22.189	24.49	24.49	24.49	24.49
C16/20	1.292	11.815	21.163	24.912	30.557	32.454	33.13	33.13
C20/25	1.295	12.071	22.185	26.507	33.685	36.54	40.781	43.065
C25/30	1.296	12.215	22.760	27.407	35.448	38.842	44.379	48.246
C30/35	1.297	12.322	23.188	28.076	36.759	40.555	47.055	52.099
C32/40	1.298	12.404	23.519	28.593	37.772	41.878	49.122	55.076
C35/45	1.299	12.482	23.829	29.077	38.720	43.117	51.058	57.863
C40/50	1.299	12.533	24.035	29.399	39.353	43.942	52.348	59.721
C45/55	1.300	12.576	24.207	29.668	39.879	44.631	53.423	61.269
C50/60	1.300	12.619	24.379	29.937	40.406	45.319	54.498	62.817

Condition (1) allows solving all problems of designing reinforced concrete members: check and determine the strength of the cross-section, calculate the reinforcement area. This method permits to reduce the calculation of reinforced concrete members to the method of classical strength of materials, but taking into account nonlinear deformation of materials. The proposed method of calculation is not simplified. After all, at the values of the corresponding reinforcement ratios given in the table, the cross section strength calculated by (3) completely coincides with the strength defined by Eurocode 2 in the software complexes.

### Conclusions.

The strength characteristic of reinforced concrete is used, which using substantially simplifies the practical method of structural analysis of flexural reinforced concrete members based on the deformation model. Using the developed method, the tables have been constructed for easily and quickly performing the calculation of the bearing capacity of reinforced concrete beams according to the non-linear analysis method without the use of computer programs. Similar tables are developed for the calculation of reinforced concrete members in other deformation modes. In order to simplify the work of designers, engineers and students of Civil Engineering specialties it is expedient to include tables into the reinforced concrete members design rules. The proposed method gives the opportunity to teach it in the Strength of Materials base course for the calculation of reinforced concrete members.

### References

1. *Design of concrete structures. Eurocode 2: Part 1. General rules and rules for buildings. – prEN 1992-1 (October 2001). – 230 p.*
2. *Kochkarev D.V. Nonlinear resistance of reinforced concrete elements and structures to force: Monograph – D.V. Kochkarev. – Rivne: O. Zen, 2015. - 384 p.: Ill.: 139; table 48; bibliography: 326 - ISBN 978-617-601-125-5.*
3. *Pavlikov A.M. Nonlinear model of stress-strain state of biaxially loaded reinforced concrete elements in the critical stage: Monograph / A.M. Pavlikov. – Poltava: PoltNTU, 2007. - 259 p.*

UDC 69.059

*Pichugin Sergiy, Ph.D., professor,  
ORCID: 0000-8505-2130, e-mail: pichugin.sf@gmail.com  
Klochko Lina, Post-graduate student,  
ORCID: 0000-0002-6064-2887, e-mail: lina.dmitrenko@gmail.com  
National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

## **ALGORITHM FOR MODELING POSSIBLE FAILURES AT THE CONSTRUCTION SITE**

***Abstract.** This work is devoted to the prerequisites, development stages and the results of creating an algorithm for modeling the accident possibility at a construction site. The main analysis results of statistical processing of the buildings and structures accidents database are considered. Based on the collected information a possible variant of the algorithm was developed with taking into account the most probable risks and failures at the construction site. Each level of algorithm implementation is presented depending on the building type, structure operation stage and the modelling accident type.*

***Keywords:** statistics, modelling, accident, building, probability of an accident, destruction, consequences, systematization, algorithm.*

*Пічугін Сергій, д.т.н., професор  
ORCID: 0000-8505-2130, e-mail: pichugin.sf@gmail.com  
Клочко Ліна, аспірантка,  
ORCID: 0000-0002-6064-2887, e-mail: lina.dmitrenko@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **АЛГОРИТМ МОДЕЛЮВАННЯ МОЖЛИВИХ ВІДМОВ НА БУДІВЕЛЬНОМУ ОБ'ЄКТІ**

***Анотація.** Дана робота присвячена передумовам, етапам розробки та результатам створення алгоритму моделювання можливості виникнення аварії на будівельному об'єкті. Розглянуті основні результати статистичної обробки бази даних аварій будівель та споруд. На основі проведеного аналізу та отриманої інформації було розроблено можливий варіант алгоритму, із врахуванням найбільш вірогідних ризиків та відмов на будівельному об'єкті залежно від типу будівлі, етапу роботи конструкції та виду аварії, що моделюється.*

***Keywords:** статистика, моделювання, аварія, будівля, імовірність аварії, руйнування, наслідки, систематизація, алгоритм.*

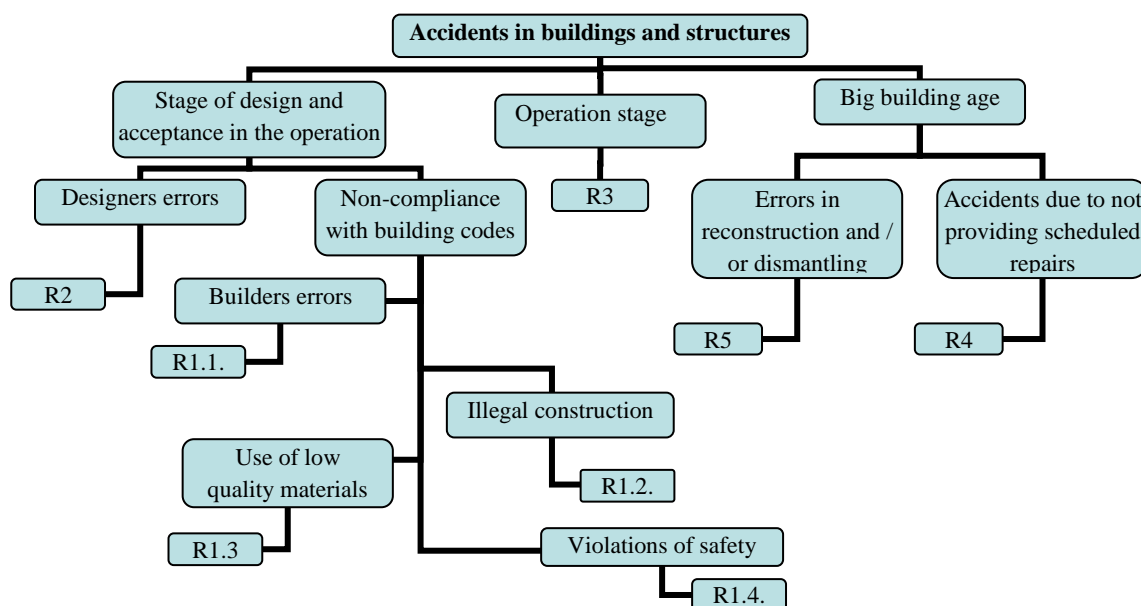
At the present stage of building industry development, issues of further progressive destruction study have been raised with increased frequency up. Nowadays, this term is a topic for a lot of research and scientific works. Each developed country presents the results of such research at world-famous universities with the one main purpose of improving the construction site reliability.

Based on the tragic experience of accidents such as Seveso, Italy [1], directives, codes and laws on methods of conducting hazard and performance analysis, such as HAZOP [2], were developed and implemented. At present, such methods and algorithms need to be implemented in civil engineering as well. This is evidenced by the realities of construction projects, their uniqueness, scale and use of the latest architectural forms and materials, should ensure the structures reliability as much as possible.



Thus, in the case of scientific research, the issue of developing an algorithm that could give design engineers a clear methodology for modeling the possible accident occurrence at a construction site has been raised and resolved.

The algorithm is based on the statistical material systematization and processing of buildings and structures accidents in 2000-2022. Thus, it is possible to distinguish three main stages at which accidents occur: design and acceptance in operation, operation and a big age of the building. These stages presented in Fig.1 are the basis of the algorithm and have subclasses of the accidents' distribution by cause. For systematic modeling, all errors types have been marked R<sub>1</sub>-R<sub>5</sub> for each type of building (Fig.1).



**Figure 1 – Block diagram of buildings and structures accidents types to perform the algorithm for modeling the possible accident occurrence at a construction site**

This algorithm should be used by design engineers at the stage of design documentation development for the construction site.

The buildings included in this algorithm can and must be supplemented based on the practice of modern construction in Ukraine (special design solutions, materials, construction systems, etc.).

The purpose of the algorithm is to study the progressive destruction possibility at the construction site, to identify the most vulnerable areas of the project and general verification, which avoids mechanical errors in the calculations. The result of the modelling is the conclusions of the engineer based on the visualization of the building structure accident.

To perform the algorithm, it is necessary to use three-dimensional visualization of the designed building using a software package that meets the project requirements.

Based on the analysis, you can make changes to the project if necessary. After that, the condition of re-checking for individual points of the algorithm is mandatory.

The created algorithm allows conducting a complete building analysis, but also takes into account the level of significance and complexity of the frame, thus highlighting the main priority stages. This system allows engineers to earn only the necessary models of destruction, without considering the minor failures of structures.

The algorithm is presented in the form of a sequence depending on the level (stage) of its implementation. This gradation allows design engineers to perform only the necessary modeling stages, without overloading the project with additional calculations. Each stage of modeling

depends on the type of building being designed and the construction complexity. Thus, the first modeling stage is the primary and basic for all structure's types. Execution of all subsequent modeling stages are based on the level of designed building complexity, the frame type and individual design features.

It should be noted that depending on the structure type, the first modeling stage is different. This approach is due to the results of statistical information processing. The distribution by levels (stages) from 1 to 3 is presented in decreasing order of this accident type probability.

Accident modeling types are presented based on many years of research and analysis of the buildings and structures accidents causes all around the world, different frames types and class of responsibility [3,4,5], which is the main factor in developing this methodology.

**Conclusions.** The obtained algorithm is quite practical for further use and aims to implement it in the project documentation. The implementation of such an algorithm will allow engineers to check the progressive destruction possibility on the construction site most effectively, as the algorithm focuses on the development of the most vulnerable areas of different building frames.

### References

1. *Major Industrial Accidents. Tosco Refinery fire Flawed Management Supervision* [(accessed on 17 January 2018)]; Available online: <http://accidentsoilandgas.blogspot.com/2013/01/seveso-disaster-dioxin-crisis-icmesa.html>
2. *International Electrotechnical Commission (IEC) Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies)—Application Guide*. IEC; Geneva, Switzerland: 2016. IEC 61882:2001.
3. Pichugin S.F., Klochko L.A. *Building Accident Causes at a Stage of Construction and Acceptance in Operation-International Journal of Engineering & Technology – Vol 7, No 3.2 (2018) – P. 311–315. Наукометрична база SCOPUS (за кордоном) DOI: 10.14419/ijet.v7i3.2.14426*
4. Pichugin S.F., Klochko L.A. *Accidents analysis of steel vertical tanks. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations. ICBI 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 73. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_21) Наукометрична база SCOPUS (за кордоном) С. 193-204*
5. Pichugin S.F., Klochko L.A. *Forecasting the possible accident scenario on the example of Self-framing metal buildings In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, 181, стр. 331–342 Наукометрична база SCOPUS (за кордоном) DOI:10.1007/978-3-030-85043-2\_31*

УДК 624.954

*Пічугін Сергій, д.т.н., професор*  
*ORCID: 0000-0001-8505-2130, e-mail pichugin.sf@gmail.com*  
*Оксененко Катерина, аспірант*  
*ORCID: 0000-0002-5171-3583, e-mail shvadchenkokate@gmail.com*  
*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ СТАЛЕВИХ СИЛОСІВ

***Анотація.** Наведені переваги металевих силосів у порівнянні з залізобетонними. Розглянуто види силосів в залежності від конструкції стінки. Перераховані основні навантаження та впливи, які приймаються при розрахунку силосів. Проаналізовані нормативні документи, що регламентують питання проектування сталевих силосних ємностей на території України. Зроблено порівняння розрахунків горизонтальних та вертикальних тисків від дії сипучих матеріалів на стіни силосів за двома нормативними документами. Розгорнуто функцію резерву міцності для сталевих силосів.*

***Ключові слова:** металевий силос, горизонтальний тиск сипучого матеріалу, вертикальний тиск від сил тертя сипучого, міцність конструкції силосу, надійність силосу.*

*Pichugin Sergiy, Ph.D., professor,*  
*ORCID: 0000-8505-2130, e-mail: pichugin.sf@gmail.com*  
*Oksenenko Kateryna, graduate student*  
*ORCID: 0000-0002-5171-3583, e-mail shvadchenkokate@gmail.com*  
*National University " Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic "*

## CALCULATION OF STRENGTH AND RELIABILITY OF STEEL SILOS

***Abstract.** The advantages of metal silos in comparison with reinforced concrete are given. Types of silos depending on a wall design are considered. The main loads and influences which are accepted at calculation of silos are listed. The standard documents which regulates the design of steel silo tanks on the territory of Ukraine are analyzed. The calculations of horizontal and vertical pressures caused by the action of bulk materials on the walls of the silos were compared according to two normative documents. The strength reserve function for steel silo is given.*

***Keywords:** metal silo, horizontal pressure due to bulk material, vertical pressure (due to friction forces), strength of the silo structure, silo reliability.*

Довгий час для зберігання матеріалу використовували в основному залізобетонні конструкції. До них відносяться бункери та силоси, які використовуються в усіх галузях промисловості, сільськогосподарської та транспортної сфери. Металеві силоси для зберігання сипучих матеріалів почали використовувати відносно недавно, і вони вже підтвердили свою здатність задовольняти всі вимоги, які висуваються до складів такого типу. В порівнянні з залізобетонними силосами, вони мають такі переваги: можливість заводського виготовлення конструкцій; менша маса; простота транспортування; швидкість проведення монтажних робіт; менша вартість. На даний час металеві ємнісні конструкції для зберігання різних видів сипучих матеріалів є одними з найбільш розповсюджених типів будівельних конструкцій. Це підтверджує їх конструктивна різноманітність, що включає суцільні зварні, збірні та спіральні силоси. Одним з найбільш прогресивних типів тонкостінних просторових конструкцій є високо індустріальні та економічні металеві силоси

спірально-фальцевого типу. Циліндричний корпус такого силосу являє собою систему спірального з'єднання сталеві стрічки шляхом подвійного вальцювання [1].

Основними навантаженнями та впливами на силос є: горизонтальні та вертикальні (за рахунок тертя) навантаження від тиску сипких матеріалів з врахуванням центрального вивантаження силосу; власна вага конструкції; навантаження від снігу на покриття; вплив температури; навантаження від термопідвісок, навантаження від тиску вітру (для незаповненого силосу). Перераховані навантаження, за виключенням власної ваги, відносяться до тимчасових (довготривалим, та короткочасним) [2].

Основним нормативним документом в Україні, що регламентує питання проектування металевих конструкцій, в тому числі тонкостінних оболонок є ДБН В.2.6-198:2014 [3]. Цей документ містить загальні рекомендації щодо оцінки міцності та стійкості оболонок кручення. Іншими нормативними документами в Україні є ДБН В.2.2-8-98 [4], який регламентує питання проектування силосних ємностей, класифікацію їх конструкцій, визначення навантажень та зусиль в елементах, та ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012 [5], який визначає лише дії на ці конструкції. Ці два документи регламентують правила розрахунку навантажень від сипких матеріалів, які виникають в середині ємностей.

Для порівняння цих будівельних норм були визначені нормативні горизонтальні та вертикальні (за рахунок тертя) навантаження від тиску сипких матеріалів, що діють на стіни силосної ємності за обома стандартами. Для розрахунку був вибраний силос з наступними геометричними параметрами: діаметр 6, висота 15 м. Розміри силосу були вибрані з міркувань зведення розрахунків горизонтальних та вертикальних тисків за однією формулою.

В результаті порівняння двох нормативних документів, було виявлено, що розрахунок горизонтальних та вертикальних тисків на стіни силосів за ДБН В.2.2-8-98 має такі відмінності від ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012: не враховуються форми потоку в процесі вивантаження, не виконується поділ силосних конструкцій за гнучкістю, а отже розрахунок горизонтального та вертикального тисків для всіх типів конструкцій виконується за однією формулою. Також не враховується статистичний розкид характеристик сипких матеріалів, характеристичне значення питомої ваги для всіх зернових культур прийняте  $\gamma = 8 \text{ kH} / \text{м}^3$ , кут природного укосу та кут внутрішнього тертя відповідають одному значенню  $\varphi = 25^\circ$ . Також варто відзначити, що в ДБН В.2.2-8-98 наведений в таб. А.1 коефіцієнт тертя об стіни як для металевих, так і для бетонних силосів відповідає значенню  $\mu = 0,4$ .

Аналіз отриманих порівняльних розрахунків, з врахуванням всіх відмінностей, показав, що саме розкид характеристик сипких матеріалів значно впливає на величини горизонтального та вертикального тисків, які виникають в гнучкому бункері.

Одним з важливих техніко-економічних параметрів конструкцій є їхня надійність. Треба відмітити, що на сьогодні розрахунок надійності конструкцій сталевих силосів залишається актуальною областю досліджень. Враховуючи отримані результати розрахунків тисків сипкого матеріалу на ємність, проведено оцінювання надійності силосів на основі аналізу резерву міцності. В цьому випадку, основним навантаженням для силосу є випадковий тиск сипкого матеріалу. У роботі розглядалася осесиметрична задача, для силосу, який знаходиться в безмоментному напруженому стані, тому дотичні напруження не враховувалися. Імовірнісна природа тиску обумовлена статистичним розкидом характеристик сипкого матеріалу при лабораторних випробувань. До числа таких характеристик відносять: питому вагу  $\tilde{\gamma}$ , кут внутрішнього тертя  $\tilde{\varphi}$ , коефіцієнт бокового тиску  $\tilde{\lambda}$  і коефіцієнт тертя об стіну  $\tilde{\mu}$ .

Функція резерву міцності для сталевих силосів має вигляд

$$\tilde{Y}(\tilde{\sigma}_y, \tilde{\gamma}, \tilde{\mu}, \tilde{\lambda}) = \tilde{R} - \tilde{S} = \tilde{\sigma}_y - \tilde{\sigma}_i \geq 0; \quad \tilde{\sigma}_i = \sqrt{\tilde{\sigma}_x^2 - \tilde{\sigma}_x \tilde{\sigma}_z + \tilde{\sigma}_z^2}. \quad (1)$$

Випадковими величинами у поставленій задачі оцінювання надійності є:  $\tilde{\sigma}_y$  – випадкова величина межі текучості сталі,  $\tilde{\sigma}_i$  – функція випадкової величини приведених напружень від зовнішнього навантаження і впливів об’ємного напружено-деформованого стану силосу,  $\tilde{\sigma}_x$  – випадкова величина кільцевих напружень,  $\tilde{\sigma}_z$  – випадкова величина повздовжніх напружень,

**Висновки:** Наведені переваги металевих силосів у порівнянні з залізобетонними. Розглянуто види силосів в залежності від конструкції стінки. Проаналізовані нормативні документи, що регламентують питання проектування сталевих силосних ємностей на території України. В результаті порівняння двох нормативних документів, було виявлено, що розрахунок горизонтальних та вертикальних тисків на стіни силосів за ДБН В.2.2-8-98 має ряд відмінностей від ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012. На основі формул (1) були проведені розрахунки надійності силосів. Вони показали, що сталеві силоси, розраховані за діючими нормами, мають достатню надійність

#### Література

1. Pichugin S., Oksenenko K. (2019). *Comparative analysis of design solutions of metal silos*// *Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 2019. 53 (2). p.53. DOI: <https://doi.org/10.26906/znp.2019.53.1890>.
2. S. Pichugin, K Oksenenko, M. Hajiyeu, M. Sulewska, *Features of structures and calculation of steel spiral-fold silos. ICSF 2021 Second international conference on sustainable futures: environmental, technological, social and economic matters*
3. *Сталеві конструкції. Норми проектування: ДБН В.2.6-198:2014 – Видання офіційне.* – Київ, Мінрегіон України, 2014. – 199 с.
4. *Підприємства, будівлі та споруди по зберіганню та переробці зерна: ДБН В.2.2-8-98.* – Офіц. видання. – К.: Держбуд України, 1998. – 41 с.
5. *ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012. Єврокод 1. Дії на конструкції. Ч. 4. Бункери і резервуари.* – К.: Мінбуд України, 2012. – 168 с.

УДК 624.012.2:539.4

**Погрібний Володимир**, к.т.н., с.н.с.,

ORCID: 0000-0001-7531-2912, e-mail: v.v.pogrebnoy1960@gmail.com

**Довженко Оксана**, к.т.н., професор,

ORCID: 0000-0002-2266-2588, e-mail: o.o.dovzhenko@gmail.com

**Усенко Дмитро**, аспірант,

ORCID: 0000-0001-7133-0638, e-mail: dcc\_nl\_ne@ukr.net

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

## МІЦНІСТЬ КАМ'ЯНОЇ КЛАДКИ ПРИ ОСЬОВОМУ СТИСНЕННІ

**Анотація.** Одним із першочергових питань при розробленні методики розрахунку кам'яної кладки, котра базується на загальній теоретичній основі, є визначення міцності кладки при стискові. Проаналізовано характер руйнування та величина граничного навантаження дослідних зразків, котрі використовуються для експериментального визначення міцності кладки на стиск. Запропоновані розв'язки задач міцності для характерних випадків руйнування кладки при стискові варіаційним методом у теорії пластичності.

**Ключові слова:** стиск, випробування, міцність, зріз, відрив.

**Pohribnyi Volodymyr**, Phd, Senior Researcher,

ORCID: 0000-0001-7531-2912, e-mail: v.v.pogrebnoy1960@gmail.com

**Dovzhenko Oksana**, Phd, Professor,

ORCID: 0000-0002-2266-2588, e-mail: o.o.dovzhenko@gmail.com

**Usenko Dmytro**, Phd student,

ORCID: 0000-0002-0566-9999, e-mail: dcc\_nl\_ne@ukr.net

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

## STRENGTH OF MASONRY UNDER AXIAL COMPRESSION

**Abstract.** One of the primary issues in the development of methods for design the masonry, which is based on a general theoretical basis, is to determine the compressive strength of masonry. The nature of destruction and value of ultimate load of experimental specimens used for experimental determination of compressive strength of masonry are analyzed. Solutions of strength problems for typical cases of destruction of masonry under compression by the variational method in the theory of plasticity are proposed.

**Keywords:** compression, testing, strength, shear, tearing-off.

Кам'яні конструкції мають давню історію, однак поглиблене вивчення їх поведінки відбувається лише останнім часом. Перспективним, із нашої точки зору, являється розроблення методики розрахунку кам'яної кладки, котра б базувалася на загальній теоретичній основі. Для цього необхідно розв'язати питання визначення міцності кладки при стискові. Це можливо зробити шляхом випробування дослідних зразків (стовпів з квадратним і прямокутним поперечним перерізом та пластин) на осьовий стиск. Однак, зараз відсутні єдині вимоги до розмірів контрольних зразків. Міцність при стискові також можна визначити за формулою Л.І. Оніщика, або формулами, котрі базуються на степеневому добутку міцності каменя та розчина, як основних компонентів кладки [1].

В процесі випробування в дослідних зразках першими утворюються вертикальні тріщини в середній за висотою їх частині при навантаженні 0,6 від руйнівного, котрі

перетинають як камінь, так і розчин. Зі збільшенням навантаження спостерігається розвиток перших тріщин, утворення і розповсюдження нових. Руйнування відбувається після появи похилих тріщин у цеглинах верхніх та нижніх рядів з подальшим їх роздробленням. Вигляд стовпчиків після випробування авторами представлений на рис.1, а. Схожа картина тріщоутворення зафіксована при випробуванні призм [1], рис. 1, б: спочатку з'являлися вертикальні тріщини в середині зразка за висотою, потім біля навантажувальних пристроїв – похилі.

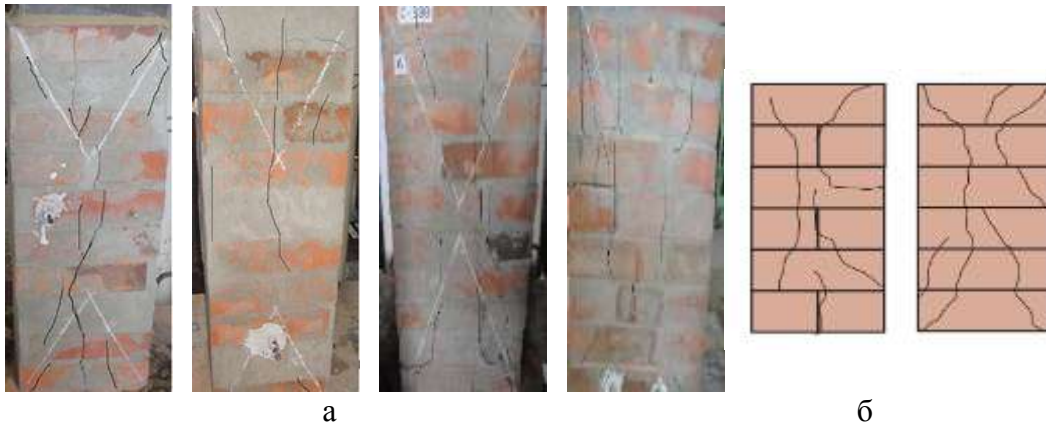


Рис. 1 – Характер руйнування дослідних стовпів з поперечним перерізом 250x250 мм і 380x380 мм (а) та призм (б)

Рис. 2, а демонструє етапи випробування цегляних стовпів із керамічних каменів: утворення першої тріщини в середній за висотою зоні елемента, розділення стоппа вертикальними тріщинами, утворення «клина» під штампам, вдавлювання «клина» в тіло стовпчика [2].

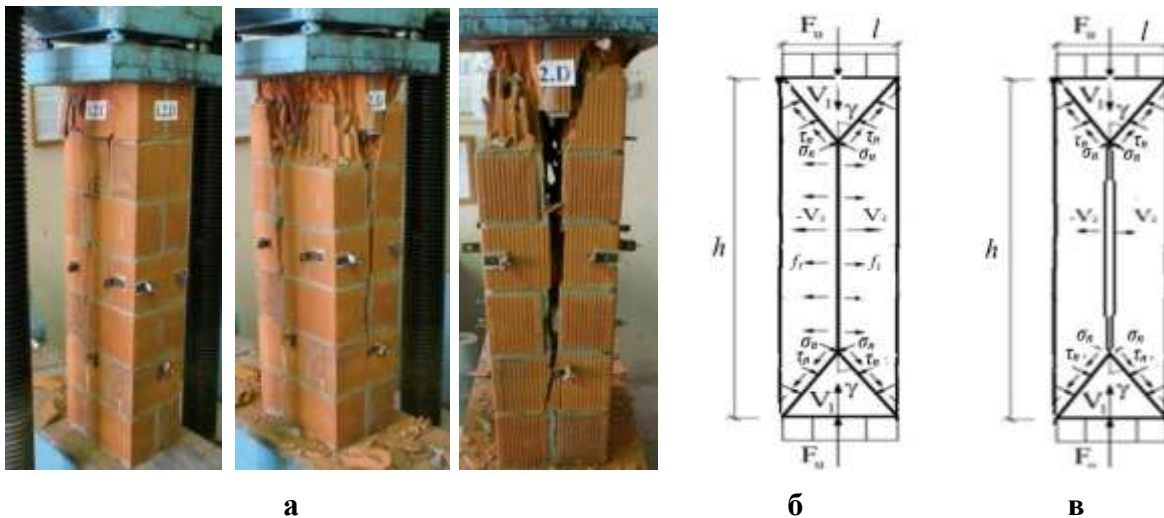


Рис. 2 – Характер руйнування дослідних стовпів при двосторонньому розколюванні (а), кінематично можливі схеми руйнування (б, в)

Часто руйнування крихких матеріалів при стисковій відбувається від зсуву. Зсувні тріщини розповсюджуються практично миттєво та процес носить лавиноподібний характер. Коли зсувна тріщина перетинає весь зразок, обидві його частини починають ковзати одна відносно іншої. На рис. 3, а представлений характер руйнування цегляних простінків при стисковій у вигляді зсуву за похилою площиною.

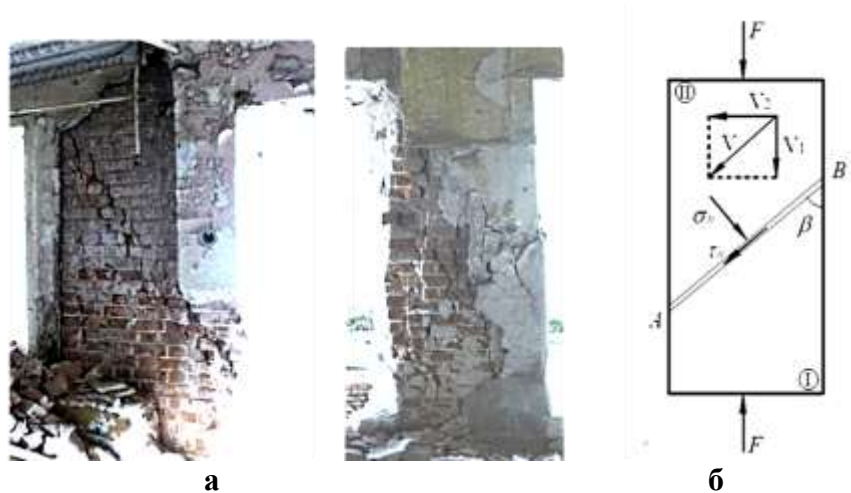


Рис. 3 – Характер руйнування цегляних простінків від зрізу за похилою площиною (а) та кінематично можлива схема (б)

Авторами на основі теорії пластичності розв'язана задача міцності цегляної призми при руйнуванні від зрізу в умовах плоского напруженого стану. Кінематична схема, котра лежить в основі розрахунку, представлена на рис. 3, б. Формула для визначення граничного навантаження має вигляд

$$F_u = m \left[ 2B \sqrt{(k - tg\beta)^2 + 0,25(ktg\beta + 1)^2} - (k - tg\beta) \right] A / tg\beta, \quad (1)$$

тут  $m = f_d - f_t$ ;  $B^2 = (1 + \chi / (1 - \chi)^2) / 3$ ;  $\chi = f_t / f_d$ ;  $k = V_2 / V_1$  – співвідношення швидкостей руху жорстких дисків на кінематичній схемі;  $A$  – площа поперечного перерізу.

У разі двостороннього розколювання стовпів кінематична схема руйнування наведена на рис. 2, б, а формула для визначення граничного навантаження має вигляд

$$\frac{F_u}{mA} = \left[ 2B \sqrt{(k - tg\gamma)^2 + 0,25(ktg\gamma + 1)^2} - (k - tg\gamma) \right] / tg\gamma + \frac{f_t k (atg\gamma - 1)}{tg\gamma m}, \quad (2)$$

де  $\alpha = h / 2l$ . У разі використання передумови про стадійність утворення тріщин схему рис. 2, б можна трансформувати в схему рис. 2, в. При цьому формула (2) перетвориться в (1).

**Висновки.** На основі аналізу характеру руйнування цегляних стовпів і призм, які використовуються для визначення міцності цегляної кладки при стисковій, варіаційним методом у теорії пластичності отримані рішення задач міцності призми при зсувові за однією площиною та за гранями клину ущільнення. Отримані результати співпадають за величиною граничного навантаження. На тепер відсутні вимоги щодо розмірів і форми контрольних зразків для визначення міцності кладки при стиску, що потребує подальших досліджень.

#### Література

1. Thaickavil N. N. Behavior and strength assessment of masonry prisms // N. N. Thaickavil, J. Thomas // Case Studies in Construction Materials. – 2018. – Vol. 8. – P. 23–38.
2. Соколов Б.С. Результаты исследований каменных и армокаменных кладок / Б.С.Соколов, А.Б. Антаков // Вестник МГСУ. – 2014. – № 3. – С. 99–106.



УДК 624.012.45:539.415

*Погрібний Володимир, к.т.н., с.н.с.,*

*ORCID: 0000-0001-7531-2912, e-mail: v.v.pogrebnoy1960@gmail.com*

*Довженко Оксана, к.т.н., професор,*

*ORCID: 0000-0002-2266-2588, e-mail: o.o.dovzhenko@gmail.com*

*Швайковський Володимир, аспірант,*

*ORCID: 0000-0002-0566-9999, e-mail: vova\_avk@ukr.net*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## ОПІР БЕТОННОГО КЛИНУ ПРИ ЗРІЗІ НАД НЕБЕЗПЕЧНОЮ ПОХИЛОЮ ТРІЩИНОЮ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

*Анотація.* На несучу здатність залізобетонних конструкцій суттєво впливає опір бетону над небезпечною похилою тріщиною. Прю це свідчить і характер їх руйнування шляхом зрізу бетону стиснутої зони. Однак, з питання оцінювання вкладу опору бетонного клину в несучу здатність конструкції на даний час немає єдиної думки. Варіаційним методом у теорії пластичності встановлено вплив на опір бетонної клиноподібної зони кутів клину та напрямку дії рівнодійного зусилля на його зрізану грань. Наведені результати експериментальних досліджень зрізаного клину як моделі стиснутої зони.

*Ключові слова:* кут клину, варіаційний метод, поперечне зусилля.

*Pohribnyi Volodymyr, Phd, Senior Researcher,*

*ORCID: 0000-0001-7531-2912, e-mail: v.v.pogrebnoy1960@gmail.com*

*Dovzhenko Oksana, Phd, Professor,*

*ORCID: 0000-0002-2266-2588, e-mail: o.o.dovzhenko@gmail.com*

*Shvaikovskyi Volodymyr, Phd student,*

*ORCID: 0000-0002-0566-9999, e-mail: vova\_avk@ukr.net*

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

## RESISTANCE OF THE CONCRETE WEDGE WHEN CUTTING OVER A DANGEROUS SLOPE CRACK OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

*Abstract.* The bearing capacity of reinforced concrete structures is significantly affected by the resistance of concrete over a dangerous inclined crack. This is evidenced by the nature of their destruction by shear the concrete of the compressed zone. However, there is currently no consensus on the assessment of the contribution of the resistance of the concrete wedge to the bearing capacity of the structure. The variational method in the theory of plasticity establishes the influence on the resistance of the concrete wedge-shaped zone of the wedge angles and the direction of action of the equivalent force on its shear face. The results of experimental studies of the truncated wedge as a model of the compressed zone are presented.

*Keywords:* wedge angle, variational method, shear force.

Досягнення рівномірності залізобетонних конструкцій, що згинаються, за нормальними та похили перерізами є одним із основних напрямків їх проектування та забезпеченні надійної експлуатації. Виконання вказаного завдання дозволить оптимізувати конструктивні рішення, уникнути зайвих витрат матеріалів та підвищити їх ефективність. При цьому важливе значення мають питання обґрунтованого уточнення розрахунків їх несучої здатності.

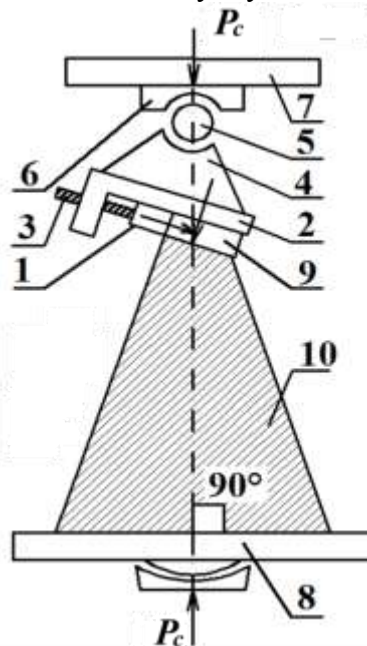
Слід зазначити, що несуча здатність залізобетонних конструкцій при згині в значній мірі залежить від опору дії поперечної сили на ділянках біля опор. Одним із визначальних факторів впливу та складовою сумарного поперечного зусилля, що сприймається конструкцією, є зусилля в бетоні стиснутої зони над похилою тріщиною. В чинних нормах [1] застосовується модель «фермової аналогії», котра взагалі не враховує роботу бетону клиноподібної стиснутої зони над небезпечною похилою тріщиною, а робота бетону розглядається лише у межах умовної стиснутої смуги. При цьому в якості величини поперечного зусилля, котре сприймає конструкція, приймається більше із значень зусиль у бетоні або арматурі.

Між тим, аналіз експериментального дослідження напружено-деформованого стану стиснутого бетону та поперечної арматури засвідчує, що вони сумісно працюють на сприйняття поперечної сили.

Проведено аналіз результатів експериментальних досліджень роботи клиноподібної стиснутої зони бетону над небезпечною похилою тріщиною на моделях клинів.

Випробовувалися бетонні зразки-клини із важкого бетону та керамзитобетону з різними кутами клину  $\alpha$  від  $15^\circ$  до  $45^\circ$ , кутами  $\beta$  від  $0$  до  $\alpha+10^\circ$  між напрямком дії рівнодійної зусилля  $P_c$ . Міцність бетону на стиск змінювалася в широкому інтервалі.

Для їх випробувань виготовлено спеціальний пристрій [2, 3], якій наведено га рис. 1. Передача навантаження здійснювалась через сталеву пластину, котра наклеювалася на зрізану грань за допомогою епоксидного компаунду.



**Рис. 1 – Схема випробування зрізаного бетонного клину:**

**1, 2 – вантажні пластини; 3 – гвинти; 4 – корпус випробувального пристрою;  
5 – шарнір; 6 – опорна плита; 7, 8 – плити пресу; 9 – плита; 10 – зразок**

Експериментально встановлено, що за умові збільшення кута клину  $\alpha$  опір дослідних зразків зрізу зростає, при підвищенні кута дії рівнодійної навантаження  $\beta$  – величина  $P_c$  зменшувався.

У Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» на основі варіаційного методу в теорії пластичності розв'язана задача опору бетонного зрізаного клину [3].

Кінематична схема руйнування клину представлена на рис. 2.

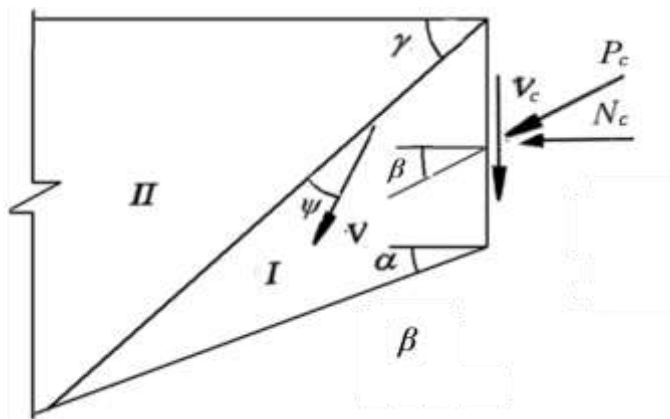


Рис. 2 – Кінематична схема руйнування клиноподібної бетонної зони над небезпечною похилою тріщиною

Дана кінематична схема реалізується за умови  $\beta > \alpha/1,5$ . У разі зменшення значення кута  $\beta$  поверхня руйнування проходить від низу зрізаної грані до верхньої поверхні клину.

Граничне значення навантаження відповідає мінімуму потужності пластичної деформації на поверхні зрізу.

Поперечне зусилля, що сприймає клиноподібний елемент, відповідає мінімуму потужності локалізованої у тонкому шарі на поверхні руйнування пластичної деформації та визначається за формулою:

$$\frac{V_c}{f_c A_c} = \frac{\tan(\gamma' + \psi') - \tan \gamma'}{\tan \gamma' - \tan \alpha} \left( \frac{\bar{d} \sqrt{1 + 4 \tan^2 \psi'}}{\tan \psi'} - \bar{m} \right) \frac{\tan \beta}{1 + \tan(\gamma' + \psi') \tan \beta}, \quad (1)$$

де  $A_c = bx$  – площа зрізаної грані клину, тут  $b$  – товщина клину (ширина поперечного перерізу стиснутої зони),  $x$  – висота зрізаної грані (стиснутої зони);  $\bar{m} = 1 - \chi$ ,  $\bar{d} = \sqrt{(1 - \chi + \chi^2)}/3$ , тут  $\chi = f_{ct}/f_c$ ,  $f_c$  і  $f_{ct}$  – міцність бетону при осьовому стиску та розтязі.

В правій частині рівняння (1) варіюються кут  $\psi'$  між напрямком руху жорсткого диска  $I$  відносно диска  $II$  і кут  $\gamma'$  поверхні руйнування до горизонтальної грані, котрі визначають напруження на ділянці зрізу.

Зусилля стиску підраховуються із рівнянь

$$N_c = V_c / \tan \beta. \quad (2)$$

Рівнодійна зусиль, прикладених на зрізаній грані бетонного клину дорівнює

$$P_c = \sqrt{V_c^2 + N_c^2}. \quad (3)$$

Результати розрахунку зусиль, що сприймає бетонний клин, нормальних та дотичних зусиль на поверхні зрізу, параметрів  $\psi$  і  $\gamma$ , встановлені варіаційним методом, наведені в табл. 1.

При визначенні опору зрізу враховується напрямок дії нормальних напружень.

Висота стиснутої зони  $x$  для підрахунку опору стиснутої зони встановлюється за обрисом небезпечної похилої тріщини.

Параметри-характеристики бетонних клинів при  $f_{ct}/f_c = 0,1$ 

За умови $N_c = f_c b x$								
$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	$\psi, ^\circ$	$\gamma, ^\circ$	$\sigma_n/f_c$	$\tau_n/f_c$	$P_c/\sigma_c b x$	$N_c/\sigma_c b x$	$V_c/\sigma_c b x$
5	4,69	15,33	42,18	0,370	0,483	1,003	1	0,082
10	8,82	14,95	46,94	0,381	0,486	1,012		0,155
15	12,48	14,35	51,56	0,398	0,490	1,024		0,221
20	15,72	13,55	56,08	0,422	0,496	1,039		0,281
30	21,11	11,35	64,88	0,490	0,511	1,072		0,386
За умови $P_c = f_c b x$								
0	0	15,47	37,27	0,367	0,482	1	1	0
5	4,83	15,39	42,22	0,369	0,482		0,997	0,084
10	9,33	15,17	47,08	0,375	0,484		0,987	0,162
15	13,50	14,81	51,85	0,385	0,487		0,972	0,233
20	17,33	14,28	56,52	0,400	0,491		0,954	0,298
30	23,92	12,71	65,60	0,447	0,502		0,914	0,405
За умови $\alpha = \beta$								
5	5	15,47	42,27	0,367	0,482	0,996	0,992	0,087
10	10	15,47	47,27	0,367	0,482	0,985	0,970	0,171
15	15	15,47	52,27	0,367	0,482	0,940	0,933	0,25
20	20	15,47	57,26	0,367	0,482	0,955	0,883	0,321
30	30	15,47	67,25	0,367	0,482	0,866	0,750	0,433

Дані табл. 1 вказують на залежність зусиль  $P_c$ ,  $N_c$  та  $V_c$  від кута клину  $\alpha$  і кута напрямку дії рівнодійної навантаження  $\beta$ .

**Висновки.** На несучу здатність залізобетонної конструкції при згині на ділянка біля опор, наряду з поперечною арматурою впливає опір бетону над небезпечною тріщиною. Величина поперечного зусилля, котре сприймає бетонний клин, визначена варіаційним методом суттєво зростає при збільшенні кута клину, що підтверджено експериментально. Складова опору бетону стиснутої зони дії поперечної сили значно підвищується з наближенням до опор, так як і висота стиснутої зони також значно зростає.

**Література**

1. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування / Мінрегіонбуд України. – К., 2011. – 118 с.
2. Довженко О.О. Експериментальні дослідження роботи бетону стиснутої зони над небезпечною похилою тріщиною / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Т.Ю. Качан, О.О. Куриленко // Збірник наукових праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди). – Рівне, 2009. – Вип. 18. – С. 186 – 193.
3. Довженко О.О. Про можливість застосування теорії пластичності до розрахунку міцності елементів із високоміцного бетону / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, О.О. Куриленко // Научно-технический сборник: Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка, 2012. – Вып. 105. – С. 74 – 82.

УДК 624

*Руденко Віктор, к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0001-7821-8147, e-mail: arhimbpntu@gmail.com*

*Земцов Роман, аспірант, ORCID: 0000-0002-0103-4603, e-mail: arhimbpntu@gmail.com*

*Льченко Тетяна, н.с. наукової групи кафедри будівництва та цивільної інженерії  
ORCID: 0000-0002-5034-3955, e-mail: arhimbpntu@gmail.com*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## УНІФІКАЦІЯ І ТИПІЗАЦІЯ В АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ. ПЕРЕВАГИ. НЕДОЛІКИ. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ

*Анотація.* Уніфікація і типізація архітектурно-будівельних рішень не є поверненням до планової економіки, але є перспективним напрямком розвитку архітектурно-будівельного бізнесу і швидкого забезпечення житлом населення України.

*Ключові слова:* будівництво, уніфікація, типізація.

*Rudenko Victor, Phd, Associate Professor, ORCID: 0000-0001-7821-8147*

*Zemtsov Roman, postgraduate, ORCID: 0000-0002-0103-4603, e-mail: arhimbpntu@gmail.com*

*Ilchenko Tetiana, Researcher, ORCID: 0000-0002-5034-3955, e-mail: arhimbpntu@gmail.com*

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

## UNIFICATION AND TYPIZATION IN ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTION ACTIVITY. BENEFITS. DISADVANTAGES. PERSPECTIVES OF USE

*Abstract.* Unification and typification of architectural and construction solutions is not a return to the planned economy, but is a promising area of development of architectural and construction business and rapid housing for the population of Ukraine.

*Keywords:* construction, unification, typification.

Уніфікація архітектурно-будівельних рішень як напрямок формування ідеології архітектурно-будівельної діяльності в Україні використовувалася з другої половини 50-х років минулого століття. З 60-х років процес уніфікації набув свого найвищого стану розвитку – типізації архітектурно-будівельних рішень. Якщо уніфікація дозволила створити фіксовані параметричні ряди конструкційних компонентів будівель так і окремих елементів цих конструкцій. Це знайшло відображення у створенні сортаментів виробів з металу, каталогів залізобетонних виробів. Типізація дозволила формувати параметричні ряди будівель різного типу. Це житлові будинки різної поверховості, громадські будинки різного функціонального призначення, виробничі будинки та інше.

До переваг процесів уніфікації і типізації варто віднести створення умов для індустріалізації архітектурно-будівельної діяльності. Адже скорочуються терміни проектування, виробництва будівельних конструкцій, будівництва об'єктів. Тобто в одиницю часу може бути виготовлено більше продукції. Доказом цьому твердженню є обсяг новобудов у містах України за період з початку 60-х років по 90-ті роки минулого століття. У цей час процеси уніфікації і типізації набули найбільшого обсягу впровадження в архітектурно-будівельну діяльність.

Усі недоліки у процесах, що розглядаються, пов'язані з мінімізацією кількості типорозмірів у параметричних рядах типових проектів будинків різного функціонального призначення та їх конструкційних елементів. У архітектурно-будівельній практиці це приводило до одноманітності об'ємно-планувальних рішень будинків, та малої кількості

типорозмірів конструкційних елементів цих будинків, бо створювалися вони тільки з дотриманням правила модульної координації розмірів на основі збільшеного планувального модуля 300 мм. До недоліків також можна віднести максимальне спрощення архітектурно-композиційних форм будинків, бо уніфіковані і типізовані конструкційні елементи розроблялися, як правило, для будинків з прямокутними планами.

Перспективи використання уніфікації і типізації в архітектурно-будівельній діяльності безпосередньо залежать від подолання недоліків, вище згаданих. Одним з таких напрямків є збільшення кідкості варіантів об'ємно-планувальних і конструкційних рішень типових проектів будинків різного функціонального призначення. Таке твердження не є закликом до повернення у часи планової економіки, коли держава планувала, і будувала більше 90% об'єктів за типовими проектами, які також розроблялися державними науково-дослідними і проектно-експериментальними інститутами. Як типові приймалися тільки ті проекти, що мали найменші вартісні показники і терміни будівництва та задовольняли мінімальні функціональні потреби людей.

У сучасних умовах існують можливості уніфікації і типізації рішень у межах окремих проектних бюро на основі авторських розробок. Тобто в окремій приватній проектній установі можуть створюватися параметричні ряди будівель з характерними ознаками авторських рішень як об'ємно-планувальних, так і конструкційних. Авторські конструкційні рішення повинні базуватися на використанні результатів наукових досліджень у цій галузі. Наприклад, використання результатів досліджень сталезалізобетонних конструкцій (наукова школа професора Л.І. Стороженка) створює можливість проектування будинків зі складними архітектурно-композиційними формами. Для формування уніфікованих рішень каркасів зі сталезалізобетону є потреба напрацювання варіантів сіток каркасів для будівель з різною поверховістю і різними формами планів, або їх елементів. Для цього потрібне встановлення відповідної мети та визначення задач, що повинні вирішуватися у плановому порядку, що відповідає меті. [1].

Особливим напрямком формування параметричних рядів уніфікованих і типізованих рішень будівель і споруд є використання у межах системного підходу принципу ієрархічності структури. Суть якого полягає в уніфікації і типізації функціонально-просторових елементів будівель різного рівня ієрархії. [2]. Для будівель виробничого призначення такий підхід був напрацьований у вигляді наукових досліджень з апробацією його в експериментальному проектуванні та обговоренні його фахівцями-практиками. Це було наприкінці 80-х років ХХ століття та на початку 2000 –х років. У теперішній час є потреба напрацювання уніфікованих і типізованих функціонально-просторових елементів малоповерхових житлових будинків для забезпечення функціонально-просторової адаптації таких будинків відповідно до змін факторних впливів у часі. Житлові будинки можуть проектуватися і будуватися як 1 – 2 кімнатні на певний період часу з можливістю нарощування у майбутньому. Якщо таке нарощування буде відбуватися уніфікованими функціонально-просторовими елементами (функціональними блоками) у вигляді приміщень різного призначення, воно відбуватиметься у найкоротший час, що відповідає потребам населення. У межах формування будинків адаптивного типу будуть напрацьовуватись уніфіковані відповідні конструкційні рішення та їх елементи.

**Висновок.** Уніфікація і типізація архітектурно-будівельних рішень не є поверненням до планової економіки, але є перспективним напрямком розвитку архітектурно-будівельного бізнесу і швидкого забезпечення житлом населення України.

#### *Література*

1. *Організація будівництва С.А. Ушацький, Ю.П.Шейко, Г.М.Тригерта ін.; За редакцією С.А.Ушацького. Підручник. – К.: Кондор, 2007 – 521 с.*
2. *Руденко Т.В. Поняття «модуль» в промисловій архітектурі:[текст] /Т.В.Руденко //Сучасні проблеми архітектури та містобудування: наук.- техн. збірник. К.: КНУБА. 2012. – Вип.29. – С. 411- 415.*

УДК 624.016.004.15

*Слюсар Володимир, аспірант кафедри машини і обладнання технологічних процесів  
ORCID ID: 0000-0003-4332-3144 e-mail: slusarvolodimir150@gmail.com  
Київський національний університет будівництва та архітектури*

## ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ БАШТОВИХ КРАНІВ

*Анотація.* Проведено оцінку взаємозв'язку показників надійності баштових кранів. Застосовано комплексні показники надійності: коефіцієнтами готовності, технічного використання баштових кранів. Визначена низка факторів, які тим чи іншим чином впливають та визначають надійність роботи, як деталей так і баштового крану в цілому.

*Ключові слова:* баштовий кран, надійність, показники, коефіцієнти, фактори впливу, навантаження, закони розподілу.

*Slyusar Volodymyr graduate student,  
ORCID ID: 0000-0003-4332-3144, e-mail: slusarvolodimir150@gmail.com  
Kyiv National University of Construction and Architecture*

## EVALUATION OF RELIABILITY INDICATORS OF TOWER CRANES

*Abstract.* An assessment of the relationship between the reliability of tower cranes. Complex indicators of reliability are applied: coefficients of readiness, technical use of tower cranes. A number of factors have been identified that in one way or another affect and determine the reliability of both parts and the tower crane as a whole.

*Keywords:* tower crane, reliability, indicators, coefficients, factors of influence, loading, distribution laws.

**Постановка проблеми.** Основними умовами надійної роботи кранів є повна справність всіх механізмів та виконання вказівок, щодо засобів безпечної роботи крана при його експлуатації. Справність механізмів крана визначається суворим дотриманням положень, визначених в паспорті крана, документах по експлуатації, правил і т.п. на всіх етапах «життєвого циклу» крана – проектуванні, виготовленні, випробуванні, транспортуванні, монтажу, експлуатації, демонтажу [1-3]. Кран, як і будь-яка інша будівельна техніка, характеризується такою загальновідомою властивістю, як надійність – здатність зберігати у часі у встановлених межах значення всіх параметрів і режимів роботи на згаданих вище етапах «життєвого циклу» крана. Основні характеристики надійності мають великі відхилення від середнього значення величини, тобто являються випадковими величинами і при багатократному повторенні підкорюються певним закономірностям [4]. Знання цих законів дозволяє розраховувати і прогнозувати надійність баштових кранів та дозволить прогнозувати технічні обслуговування, ремонти, запас матеріалів і частин.

**Виклад основного матеріалу.** Несучі металоконструкції баштових кранів працюють в умовах випадкового режиму навантаження змінних частот, температур і агресивності навколишнього середовища. Для прогнозування надійності дорожньо - будівельної техніки найчастіше використовують експоненціальний, нормальний та закон розподілу Вейбулла. Рідше зустрічаються закони Релея, біноміальний та гамма-розподілу. Експлуатація техніки характеризується такими періодами роботи: а) період припрацювання; б) нормальної експлуатації; в) зношування (старіння).

Очевидно, що ці періоди підкорюються різним законам розподілу та кожен період має різну інтенсивність відмов. Випадкового процесу навантаження цих конструкцій властиві: нерегулярність, перевантаження, мінлива швидкість деформування і часті зупинки. Зварні

металоконструкції баштових кранів з ребрами жорсткості містять залишкові напруження і тріщини подібні дефекти. Відрізняються конструкції різноманітністю перетинів і габаритних розмірів. Існує низка факторів, які тим чи іншим чином впливають та визначають надійність роботи як деталей так і баштового крану в цілому. До таких факторів відносяться: асиметрія циклів навантаження; частота і форма циклів навантаження; форма циклу навантаження; нерегулярність навантаження; перевантаження; агресивність навколишнього середовища; температура; швидкість деформування; наявність ребер жорсткості; властивості матеріалу; залишкові напруження; дефекти зварювання; форма і розміри дефекту; технологічна обробка; розміри конструкції; форма перетину прокатних елементів.

Чисельною характеристикою режиму навантаження є коефіцієнт розподілу навантажень  $K_p$  ():

$$K_p = \sum \left[ \frac{C_i}{C_T} \left( \frac{P_i}{P_{max}} \right)^m \right] \quad (1)$$

$$C_i - \text{середнє число циклів: } C_i = C_1, C_2, C_3, \dots, C_n \quad (2)$$

$C_T$  - сумарне число робочих циклів з усіма вантажами:

$$C_T = \sum C_i \quad (3)$$

$P_i$  - значення мас окремих вантажів при типовому застосування даного крану:

$$P_i = P_1, P_2, P_3, \dots, P_n \quad (4)$$

$P_{max}$  - маса найбільшого вантажу (номінальний вантаж), які дозволено піднімати краном,  $m=3$

Коефіцієнт розподілу навантаження для певного механізму:

$$K_p = \sum \left[ \frac{t_i}{t_T} \left( \frac{P_i}{P_{max}} \right)^m \right] \quad (5)$$

де  $t_i$  - середня тривалість використання механізму;

$t_T$  - загальна тривалість використання механізму при всіх рівнях навантаження:

$$t_T = \sum t_i \quad (6)$$

$P_i$  - значення навантаження, які характерні для застосування даного механізму:

$$P_i = P_1, P_2, P_3, \dots, P_n \quad (7)$$

$P_{max}$  - значення найбільшого навантаження, прикладеного до механізму,  $m=3$ .

Для практичного застосування наведених залежностей, складена програма виконання досліджень та встановлення закономірностей зміни впливу навантажень, їх врахування для ефективного використання баштового крану.

#### Список літератури

1. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних і транспортувальних машин: підручник для студентів вищих навчальних закладів. В. С. Бондарєв, О. І. Дубинець, М. П. Колісник та ін. – Київ : Вища школа, 2009.
2. Справочник по кранам: В 2т. Т1. Характеристики механізмів и нагрузок. Основы расчетов кранов и их приводов и металлических конструкций / В. И. Брауде, М. М. Гохберг, и др.; Под общ.ред. М. М. Гохберга Л.: Машиностроение, Ленинград от-ние, 1988-519с.
3. Справочник по кранам: В 2т. Т2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов / М. П. Александров, М. М. Гохберг, А. А. Ковин и др. Под общ.ред. М. М. Гохберга Л.: Машиностроение, Ленинград от-ние, 1988-559с.
4. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів. – К: Основа, П68. 2007-312с.



UDC 69.059.7

*Sukhanova Svetlana, PhD, assistant professor,  
ORCID: 0000-0003-3142-8790, e-mail: sukhanova372@gmail.com  
Vyrovoy Valeriy, doctor of technical sciences, professor,  
ORCID: 0000-0001-8818-4112, e-mail: vyrovoy@ukr.net  
Sukhanov Volodymyr, doctor of technical sciences, professor,  
ORCID: 0000-0003-2371-181X, e-mail: Vl.g.sukhanov@gmail.com  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*

## THE ABILITY OF EXISTING TO EXIST

***Abstract.** Building objects, regardless of the type of materials used for their construction, as a rule, have a long service life under the influence of the environment and various kinds of loads. This largely depends on how the active elements (interfaces, cracks, technological deformations) mutually influence each other and interact with each other, ensuring the unity of the discrete system. The ability of abiotic systems (concrete, reinforced concrete) to adapt to operating conditions is explained by the emergence of new phase products, the main work of which is to perceive a complex of various influences. The result of this work is the redistribution of critical deformations, and sometimes their reduction, i.e. the integrity of the building object and its individual structures.*

***Key words:** multifocal structure formation, interfaces, cracks, deformations, structure.*

*Суханова Світлана, к.т.н., доцент,  
ORCID: 0000-0003-3142-8790, e-mail: sukhanova372@gmail.com  
Вировий Валерій, д.т.н., професор,  
ORCID: 0000-0001-8818-4112, e-mail: vyrovoy@ukr.net  
Суханов Володимир, д.т.н., професор,  
ORCID: 0000-0003-2371-181X, e-mail: Vl.g.sukhanov@gmail.com  
Одеська державна академія будівництва і архітектури*

## ЗДАТНІСТЬ ІСНУЮЧОГО ІСНУВАТИ

***Анотація.** Будівельні об'єкти незалежно від виду матеріалів, використаних для їх зведення, зазвичай мають тривалий термін служби в умовах впливу навколишнього середовища та різного роду навантажень. Це великою мірою залежить від того, як активні елементи (поверхні розділу, тріщини, технологічні деформації) взаємовпливають один на одного і взаємодіють між собою, забезпечуючи єдність дискретної системи. Здатність абіотичних систем (бетону, залізобетону) адаптуватися до умов експлуатації пояснюється виникненням продуктів нової фази, основна робота яких полягає в тому, щоб сприймати комплекс різноманітних впливів. Результатом цієї роботи є перерозподіл критичних деформацій, а іноді їх зменшення (скорочення), тобто забезпечення цілісності будівельного об'єкта та його окремих конструкцій.*

***Ключові слова:** багатоосередкове структуроутворення, межі розділу, тріщини, деформації, структура, дискретна система.*

The accumulated experience in the operation of construction objects allows specialists to explain in sufficient detail how and why building materials degrade and structures collapse. At the same time, many buildings and structures exceed their lifetime by many times. How and why, under the conditions of an incalculable number of repetitive power loads and climatic influences, do they continue to perform their functions? The answer to these questions will make it possible to more fully realize the potential of materials and reveal their role in ensuring the safe operation of structures in the face of ongoing external adverse effects.

According to Professor V. L. Chernyavsky, concrete and reinforced concrete are abiotic systems that can adapt to operating conditions. The manifestation of the adaptation properties is mainly associated with the appearance of new phase products resulting from the hydration of the relict areas of the cement grains, which “opened up” under the action of external loads on the concrete. For materials based on inorganic binders, this is one of the rather powerful mechanisms for replenishing the material component, which helps to restore or maintain the required level of properties. Experience shows that ceramic and polymer materials, metals and their alloys, etc., also have an amazing ability to self-preserve under different conditions. It can be concluded that all the objects around us, regardless of their purpose, material, shape, etc., exist due to the ability to adequately respond to the whole range of influences. This allows us to conclude that despite the fundamental dissimilarity of objects, they have a common feature - structure [1, p. 4]. In the absence of a generalized definition of the concept of "structure", it is possible to single out the characteristic elements of the structure that are capable of forming an adaptive landscape of the material and, consequently, of products and structures. These elements include a whole class of active elements, which consist of internal interfaces and cracks that are present at all levels of inhomogeneities, as well as local and integral technological (residual, initial, hereditary) deformations.

An analysis of the basic models of multifocal structure formation made it possible to conclude that the processes in materials with different qualitative and quantitative compositions proceed according to the same scheme - centers spontaneously appear in the system, around which local structures are formed. As a result of the implementation of multifocal structure formation, new elements and relationships appear in the system [2, p. 5]. Due to the fact that such phenomena occur at all levels of structural inhomogeneities, fundamentally new elements in the form of interfaces appear in the system at different time intervals. The development of processes leads to the modification of interfaces into other structural elements - pores, capillaries and cracks. The formation of new elements capable of discrediting the ideas of continuity leads to the irreducibility of averaged parameters to the manifestation of unique individual properties. This is manifested in the interaction of new elements both with each other and with their environment. It is known that almost any system behaves as active elements allow it to behave. They can concentrate deformations and relax the critical values of deformation energy, localize and form energy transfer flows and promote its dissipation; they create an extensive network of interfaces at each level, which leads to a redistribution and a decrease in the critical values of deformations [3, p. 36].

The dynamics of their "life" at each level of structural heterogeneity creates a kind of eclectic picture of the dissimilarity of individual structures, which contributes to an increase in the level of diversity. With each stage of intrastructural transformations, the principle of development “from what has been achieved” is implemented with the beginning of the next stage of structural transformations. The complex of experimental studies carried out confirmed the influence of the structure parameters, which were indirectly estimated using the damage coefficients, on the resistance of various types of composite materials under the action of climatic loads. Thus, the ability of building objects to exist for a long time under adverse environmental conditions largely depends on the design of their structure and, in fact, on the ability of active elements to ensure its unity through mutual influence and interactions in the existing discrete system.

#### **References**

1. Vyrovoy V., Sukhanov V., Ielkin A., Sukhanova S. *Models of co-evolution of structural elements of building composites (IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering) 1162 (2021) 012020. doi:10.1088/1757-899X/1162/1/012020.*
2. Vyrovoy V., Korobko O., Pishchev O., Varych H. *Structural organization and operation of the structure-system (IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering) 1164 (2021) 012088. doi:10.1088/1757-899X/1164/1/012088.*
3. Pranghishvili I. V., Burkov V. N., Gorghidze I. A., Dzhavakhadze G. S., Khurodze R. A. *System patterns and system optimization (Sinteg, 2004).*

УДК 620.172.225:691.11

**Фенко Олексій**, к.т.н., доцент кафедри будівельних конструкцій,  
ORCID: 0000-0002-3175-2892, e-mail:fenko.aleksey@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОЧАТКОВОГО МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ СКЛОПЛАСТИКУ ЕКСТРАПОЛЯЦІЙНИМ МЕТОДОМ

**Анотація.** Враховуючи довготривалі терміни експлуатації будівельних конструкцій, які можуть досягати десятків років та те, що пластмаси є старіючим матеріалом, виконані дослідження над старим склопластиком, вік якого перевищує сорок років. Експериментальні значення початкового модуля пружності старого склопластику отримані із застосуванням екстраполяційного методу визначення модуля пружності при деформації розтягу. Проаналізовані особливості деформування пружно-пластичних матеріалів, обґрунтована доцільність застосування екстраполяційного методу визначення початкового модуля пружності склопластику. Наводяться результати експериментального визначення модуля пружності склопластику віком більше сорока років.

**Ключові слова:** модуль пружності, склопластик, екстраполяційний метод.

*Fenko Oleksiy, PhD, Associate professor of the Department of Building Structures,  
ORCID: 0000-0002-3175-2892, e-mail:fenko.aleksey@gmail.com  
National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

## DETERMINATION OF THE INITIAL MODULUS OF ELASTICITY OF GLASS-REINFORCED PLASTIC BY EXTRAPOLATION METHOD

**Abstract.** Given the long service life of building structures, which can reach decades, and the fact that plastics are an aging material, experiments were performed on old glass-reinforced plastic, which is more than forty years old. Experimental values of the initial modulus of elasticity of old glass-reinforced plastic were obtained using the extrapolation method for determining the modulus of elasticity in tensile deformation. Deformation peculiarities of elastic-plastic materials are analyzed, application expediency of extrapolation method of determination of initial elastic modulus of glass-reinforced plastic is substantiated. The results of experimental determination of the modulus of elasticity of glass-reinforced plastic older than forty years are given.

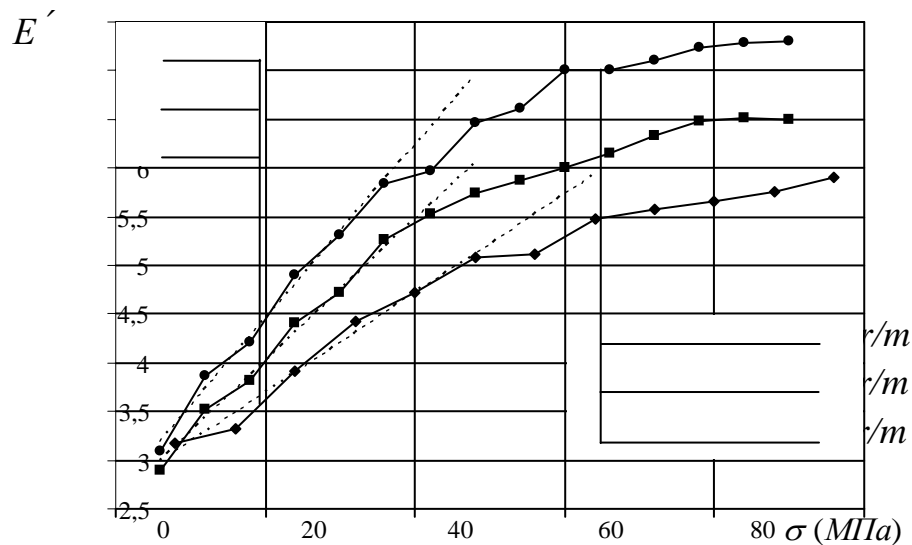
**Keywords:** modulus of elasticity, glass-reinforced plastic, extrapolation method.

**Вступ.** У зв'язку з тим, що діаграма «напруження – деформації» пружно-пластичних матеріалів криволінійна, існує проблема визначення початкового модуля пружності. Величина модуля деформацій таких матеріалів залежить від швидкості навантаження зразка та від рівня напруження, при якому визначається модуль.

**Аналіз останніх досліджень і виділення не розв'язаних раніше частин проблеми.** Експериментально доведено, що залежність «січний модуль деформацій – напруження» з достатньою ймовірністю можна прийняти лінійною (кореляційною) при постійній середній швидкості навантаження зразків таких матеріалів, як бетон [1], деревина [2] вініпласт, гетинакс, текстоліт, деревопластик [3]. При різних середніх швидкостях навантаження зразків прямі лінії діаграми мають різні кути нахилу до координатної осі, але при екстраполяції до нульових напружень перетинаються в одній точці, яка відповідає величині початкового модуля пружності [1].

**Виклад основного матеріалу.** Зразки з поперечним перерізом 5×10 мм випробовувалися при розтязі на розривній машині РМП-500 із максимальним навантаженням 5 кН. Зразки навантажувалися ступінчасто при постійній швидкості навантаження з вимірюванням деформацій на кожному етапі навантаження. Випробувано три групи зразків (по три зразки у кожній групі). У групах зразків СП-1, СП-2 і СП-3 швидкості навантаження

відповідно були 1,33; 2,0; і 3,0 МПа/хв. Деформації вимірювалися тензометрами ТА-2 на базі 100 мм та вимірювачем деформацій АИД-2М з тензодатчиками з базою 20 мм. Результати випробувань наведені на рис. 1.



**Рис. 1 – Залежність “січний модуль деформацій – напруження” при різних швидкостях навантаження ( $r$  – коефіцієнт кореляції;  $r/m$  – відношення коефіцієнта кореляції до похибки;  $V$  – швидкість навантаження, МПа/хв)**

Як видно з рис.1, чим менша швидкість навантаження, тим менший кут нахилу діаграм до осі напружень, тобто явно проявляються пластичні деформації склопластику. Позитивним є те, що діаграми на початку деформування (близько 40 % від руйнуючого навантаження) мають лінійну кореляційну залежність (на рисунку ці прямі лінії позначені пунктиром). При більшому навантаженні діаграми викривляються. Характерним є й те, що всі діаграми (незалежно від швидкості навантаження) мають тенденцію перетинатися в одній точці на початку координат (при нульових напруженнях), що дає змогу визначити величину початкового модуля пружності. Слід також відмітити, що величина січного модуля деформацій на порядок менша, ніж у склопластиках у ранньому віці.

**Висновки.** За результатами випробувань, величина січного модуля деформацій значно менша, ніж у склопластиках у ранньому віці. Січний модуль пружно-пластичних деформацій зростає при збільшенні навантаження. Для остаточного підтвердження зроблених висновків доцільно провести досліді над таким же склопластиком при стиску.

#### Література

1. Макаренко Л. П., Фенко Г. А. Практический способ определения модуля упругости и упруго-пластических характеристик бетона при сжатии. Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура. 1970. № 10. С. 141 -147.
2. Фенко Г.А. К вопросу определения начального модуля упругости древесины. Тез. докл. 42-й науч. конф. проф., преподавателей, науч. работников, асп. и студ. ин-та. – Полтава, 1990. – С.188.
3. Фенко Г.А. Некоторые особенности деформирования пластмасс. Тез. док. обл. конф. Черкаassy. Изд-во Черкаского фил. КПИ, 1989. – С.68–69.

UDC 691.618.92

*Firsov Pavlo, PhD (Tech.), Associate Professor of Building Structures Department, ORCID: 0000-0001-9119-3968, e-mail: pavelfirsov1991@gmail.com*  
*Kaafarani Bachar Ali, post-graduate student of Building Structures Department, ORCID: 0000-0001-7165-7825, e-mail: kaafaranibachar@gmail.com*  
*O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv*

## EXPERIMENTAL EVALUATION OF MODIFIED COMPOSITE REINFORCEMENT ADHESION WITH CONCRETE IN BENT ELEMENTS

**Abstract.** *The research contains the results of experiments of determination of the level of adhesion to concrete for both composite and metal reinforcement. The object of the study is the slip value of modified fiberglass composite reinforcement with additional sand coating and without it, as well as standard metal reinforcement of class A400. The research of the level of adhesion between reinforcement and concrete were carried out by the beam method, which involves testing of concrete beam special samples for bending in the laboratory conditions.*

**Keywords:** *adhesion, fiberglass reinforcement, concrete, bending.*

**Фірсов Павло, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівельних конструкцій, ORCID: 0000-0001-9119-3968, e-mail: pavelfirsov1991@gmail.com**  
**Каафарані Башар Алі, аспірант кафедри будівельних конструкцій, ORCID: 0000-0001-7165-7825, e-mail: kaafaranibachar@gmail.com**  
*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова*

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЗЧЕПЛЕННЯ МОДИФІКОВАНОЇ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ З БЕТОНОМ В ЗГИНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

**Анотація.** *Дослідження містить результати експериментів з визначення рівня зчеплення з бетоном як для композитної, так і для металевої арматури. Об'єктом дослідження є величина проковзування модифікованої склопластикової композитної арматури з додатковим піщаним покриттям та без нього, а також стандартної металевої арматури класу А400. Дослідження рівня зчеплення між арматурою та бетоном проводились за балочним методом, який передбачає випробування спеціальних зразків бетонних балочок на згин в лабораторних умовах.*

**Ключові слова:** *зчеплення, склопластикової арматура, бетон, згин.*

Fiberglass is made from raw materials based on silicon dioxide in combination with metal oxides and is available in several versions to fulfill industrial requirements for further application. Fiberglass reinforcement (also known as fiberglass-reinforced plastic or composite reinforcement) is steadily replacing traditional steel reinforcement in construction around the world. FRP reinforcement is made of a mixture of high-strength glass or basalt fiber and binder resin, which leads to a number of potential advantages over steel. Synthetic resins are used as a binder for the fiber, protecting the fiber from mechanical harmful effects of the environment during the manufacture of the product and its operation. Building structures, such as beams, manufactured with fiberglass reinforcement, provide an excellent balance of cost and reliability [1, p. 395]. At the same time, the specifics of the manufacture of such reinforcement impose additional requirements on designers in terms of the absence of relevant building codes and standards.

Modified composite periodic reinforcement is made of fiberglass based on standard epoxy binders. In the manufacture process, a special layer of abrasive or sand is applied to increase adhesion to concrete, which improves the efficiency of interaction between concrete and reinforcement. Wherein, the periodic cross-sectional profile is formed by pressing the wrapping harness in the bearing rod, or by ledges spiral wrapping.

Beam test method [2, p. 311] for adhesion of reinforcement to concrete involves testing special samples of concrete beams for bending. The beam consists of two halves connected to each other in the tensioned zone by the tested reinforcing rod, and in the compressed zone through embedded details - by the steel cylinder. The tested reinforcing rod in the middle section of the beam halves with  $10d$  length ( $d$  - is the diameter of the reinforcing rod) has adhesion to concrete, and in other areas of the halves of the beams is placed in special polyvinyl chloride (PVC) tubes and has no adhesion to concrete. After installation of the beam on the press and its centering in the upper zone, two concentrated forces are applied to it (simulation of biaxial bending).

During the test process, the displacement of the free end of the investigated rod located on the end face of a beam is measured. The tangential stresses of adhesion to concrete at a length of  $10d$  are calculated depending on the axial force in the rod in the cross-section of the connection of the halves of the beam. The axial force in the investigated reinforcing rod, in this case, is calculated by the formula:

$$N_s = \frac{M}{z}$$

where  $M$  - is the bending moment in the cross-section that divides the beam into two halves;  
 $z$  - is the shoulder of the inner pair in the cross-section that divides the beam into two halves, which is equal to the distance from the axis of the investigated rod to the axis of the cylinder in the compressed zone.

The tangential stresses between the investigated rod and concrete are determined by the formula proposed by prof. Yu. Klimov [3, p. 457]:

$$\tau = 0,25 \frac{N_s d}{A_s l}$$

where  $A_s$  - is the cross-sectional area of the reinforcement;

$l$  - is the length of the anchoring of the reinforcing rod in concrete, which is equal to  $10d$ .

As test specimens of reinforcement, for testing fiberglass, were used rods with a diameter of 12 mm of periodic profile (with and without sand coating) and metal rods of class A400 of similar diameter. The experimental beams for testing have a rectangular cross-section  $120 \times 220$  mm, the total length of the beam - 1230 mm, the length of the halves - 600 mm, the gap between the beam halves - 30 mm. The shoulder of the inner pair (distance from the axis of the investigated rod to the axis of the cylinder in the compressed zone) - 157 mm. In areas without adhesion to concrete, test rod was securely located in PVC tubes. In both halves of the beams, transverse reinforcement was also installed in the form of spatial frames with reinforcement of 6 diameter of class A240.

Samples of experimental beams were made of concrete class C25/30 with a fraction of coarse aggregate 10-20 mm. Tests were conducted in the branch research laboratory on the hydraulic press with compressive capacity 250 tons. The displacement of the free ends of the investigated reinforcing rod was measured by clock-type indicators (Figure 1).



**Figure 1 – General view of the experimental installation with location of indicators**

The imperfection of Ukrainian building codes, on the topic of FRP reinforcement operation with concrete, requires consideration of foreign building regulations. So, as a compliance criterion were accepted requirements of EN 1992-1-1 [4, p. 206] and ACI 440.1R-06 [5, p. 9] codes. After processing the results of experimental data, the average tangential stresses and the corresponding normalized values were calculated.

Analysis of the obtained information leads to the following conclusions:

- the type of dependences of adhesion-displacement tangential stresses of the modified composite reinforcement rod free end corresponds to similar dependences for metal rods;
- the obtained values of tangential stresses in the moment of destruction, during testing by the beam method, for the investigated composite fiberglass and metal rods generally fulfill the regulatory requirements of EN 1992-1-1 and ACI 440.1R-06;
- during experimental tests, it was determined that the slip value of modified fiberglass reinforcement with sand coating, in the moment of destruction, correlates with similar values for metal reinforcement, providing required adhesion level with concrete;

### **References**

1. Bogusław J. *The examination of the glass fiber reinforced polymer composite rods in terms of the application for concrete reinforcement* / Jarek Bogusław, Aleksandra Kubik // *Procedia Engineering*, 2015. – Vol. 108. – pp. 394-401.
2. *Effective reinforced concrete structures: a monograph* / V.N. Babaev, Yu.A. Klimov, A.I. Lantuh-Lyaschenko, V.S. Shmukler, A.I. Adilhodzhaev, V.I. Kondraschenko // Tashkent: “INFO CAPITAL GROUP”, 2019. – 416 p (In Russian).
3. Klimov Yu.A. *Research of reinforcement adhesion with high corrosion resistance to concrete* / Yu.A. Klimov, P.S. Bodenчук, O.S. Soldatchenko // *Scientific and Technical Journal “Urban and Spatial Planning”*. – Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture, 2011. – Vol. 40(1). – pp. 454-460 (In Ukrainian).
4. EN 1992-1-1. *Eurocode 2: Design of concrete structures. - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*. - Brussels: European Committee for Standardization, 2004. - 225 p.
5. ACI 440.1R-06. *Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars*. – Farmington Hills: American Concrete Institute, 2006. – 44 p.

UDC 691.618.92:624.012.25

*Firsov Pavlo, PhD (Tech.), Associate Professor of Building Structures Department,  
ORCID: 0000-0001-9119-3968, e-mail: pavelfirsov1991@gmail.com*

*Kosenko Kostyantyn, post-graduate student of Building Structures Department,  
ORCID: 0000-0003-2410-5600, e-mail: kon.kosenko@gmail.com  
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,*

## **RESEARCH OF BEARING CAPACITY OF BRICK COLUMNS, REINFORCED WITH COMPOSITE FIBERGLASS MESH**

***Abstract.** Research is devoted to the analysis of the stress-strain state of masonry samples, reinforced with composite fiberglass mesh and metal reinforcing mesh, under static load. Twelve samples of a masonry columns, of silicate one-and-a-half M150 bricks on cement-sand mortar, with reinforcement through 2 and 3 rows, were made. It is determined that the composite fiberglass mesh increases the strength of brick columns by 27,5% and 35% respectively (depending on the frequency of reinforcement). Comparison and analysis of the obtained results allowed to evaluate the type and the method of reinforcement influence on the value of the actual masonry strength.*

***Keywords:** composite fiberglass mesh, strength, brick masonry.*

***Фірсов Павло, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівельних конструкцій,  
ORCID: 0000-0001-9119-3968, e-mail: pavelfirsov1991@gmail.com***

***Косенко Костянтин, аспірант кафедри будівельних конструкцій,  
ORCID: 0000-0003-2410-5600, e-mail: kon.kosenko@gmail.com***

*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЦЕГЛЯНИХ СТОВПІВ, ПІДСИЛЕНИХ КОМПОЗИТНОЮ СКЛОПЛАСТИКОВОЮ СІТКОЮ**

***Анотація.** Дослідження присвячене аналізу напружено-деформованого стану зразків кам'яної кладки, підсилених композитною склопластиковою сіткою та металевією армувальною сіткою, при статичному навантаженні. Було виготовлено дванадцять зразків цегляних стовпів, які виконані з силікатної полуторної цегли M150 на цементно-піщаному розчині, з армуванням через 2 та 3 ряди. Визначено, що композитна склопластикові сітка підвищує міцність цегляних стовпів на 27,5% та 35% відповідно (в залежності від частоти армування). Порівняння та аналіз отриманих результатів дозволили оцінити вплив виду та способу армування на величину фактичної міцності кладки.*

***Ключові слова:** композитна склопластикові сітка, міцність, цегляна кладка.*

A large number of buildings and structures for various purposes are erected from stone materials (bricks, ceramic and concrete stones, large blocks, etc.). In residential construction of Ukraine, for example, more than 40% of buildings are made of small-unit stone materials (bricks, stones, blocks). Aging of buildings and structures, or their inconsistency with the new functional purpose, due to technical progress, leads to the necessity for a large number of reconstruction processes. The current state of the economy puts forward new requirements for construction products, where in conditions of fierce competition, in the first place are such indicators as: economy, durability, reliability and aesthetics.

Reinforced stone structures - stone structures reinforced with steel (reinforcement) or other modern reinforcing materials in order to increase their strength. Reinforcement, in this case, increases the strength of compressive structures, such as partitions and columns. Reinforcement in



the form of individual rods or meshes is laid in cement joints or in special grooves and channels of masonry.

Fiberglass is made from raw materials based on silicon dioxide in combination with metal oxides and is available in several versions to fulfill industrial requirements for further application. Fiberglass reinforcement (also known as fiberglass-reinforced plastic or composite reinforcement) is steadily replacing traditional steel reinforcement in construction around the world [1, p. 329].

Composite fiberglass mesh - a reinforcing mesh based on fiberglass, with advanced technology of double weaving (eliminates the problem of stratification of rods) to increase its self-strength [2, p. 3]. It is made of rods with a diameter of 2, 3 or 4 mm, with cells of 50×50 mm or 100×100 mm. Width of one roll is up to 1,2 m, length - 50 m, usable area - 60 m<sup>2</sup>.

Therefore, the lack of appropriate regulatory base and methods of calculation in the field of reinforcement of brick masonry with composite materials [3, p. 5] poses to engineers and scientists a difficult task to assess the reliability of applied solutions.

As part of the research, experimental tests of brick masonry samples (with different types and frequency of reinforcement) were performed with the determination of their actual strength by the destructive method. This list of measures is implemented in order to establish the load-bearing capacity and deformability of brick masonry columns.

Samples of composite fiberglass reinforcement were used as test specimens for testing meshes with a diameter of 2 mm with a cell of 50×50 mm and a metal reinforcing mesh of wire with a diameter of 3 mm class B500 with a cell of 50×50 mm. A total of 6 samples of each specimens were tested. Samples of brick masonry for testing had a rectangular cross section of 380×380 mm, the total height of the sample - 600 mm. Bricks are silicate, one-and-a-half, with dimensions of 250×120×88 mm, without chips, correct shape.

A total of 13 masonry samples were made:

- the first batch with the application of reinforcing mesh through three rows of bricks: 3 samples of brick masonry using composite fiberglass mesh and 3 samples of brick masonry using metal mesh;

- the second batch with the application of reinforcing mesh through two rows of bricks: 3 samples of brick masonry using composite fiberglass mesh and 3 samples of brick masonry using metal mesh.

One control sample without application of reinforcing mesh was also made.

Using provisions of DSTU B V.2.6-207:2015 [4, p. 21], it was previously determined that brick masonry of one-and-a-half silicate bricks of the M150 brand and cement-sand mortar of the M100 brand, reinforced with a metal mesh from a wire with a diameter of 3 mm of the B500 class with a cell 50×50 mm, should provide increase in magnitude of compressive strength on 38,4% during installation of the reinforcing mesh through 3 rows of masonry (21,7% for rods of the 2nd diameter), and on 50% during installation through 2 rows of masonry (32,3% for rods of the 2nd diameter).

The tests were performed in branch research laboratory of Building Structures Department of O.M. Beketov NUUE in Kharkiv on hydraulic press. Loading of masonry samples was carried out in steps of 10 kN (5-6% of the total strength of the samples). Deformations were measured with clock-type indicators with an accuracy of 0.01 mm. At each load stage 15 seconds were maintained, during which the indications were taken. In the process of testing the samples were also recorded "quality" indicators, namely: the disposition, length and width of the cracks, their density (Figure 1).



**Figure 1 – General view of the experimental installation, the disposition of cracks formation and their density**

Analysis of the obtained information leads to the following conclusions:

- during research it was evaluated that the strength of masonry with reinforcement of metal mesh and reinforcement with composite fiberglass mesh corresponds to the values obtained by the method of DSTU B V.2.6-207:2015 (error does not exceed 5-6%);
- the recorded character of the stages and nature of the destruction of samples of non-reinforced masonry, masonry reinforced with metal mesh and masonry reinforced with composite fiberglass mesh coincides with the qualitative classical character of the resistance of brick masonry;
- it was determined that composite fiberglass mesh increases the strength of brick columns by 27,5% and 35%, respectively (depending on the frequency of reinforcement) and can be used for reinforcement of non-load-bearing structures;
- for industrial application of fiberglass reinforcing mesh in reinforcement of stone load-bearing structures further statistically valid confirmation is required.

### **References**

1. *Martins Andreia. Experimental assessment of an innovative strengthening material for brick masonry infills / Andreia Martins, Graca Vasconcelos, Raul Fanguero, Fabiana Da Cunha // Composites. Part B. Engineering. – Vol. 80. - 2015. – pp. 328-342.*
2. *Righetti Luca. Fiberglass grids as sustainable reinforcement of historic masonry / Luca Righetti, Vikki Edmondson, Marco Corradi, Antonio Borri // Materials (MDPI). – Vol. 9(7). – 2016. – 17 p.*
3. *Hernoune Houria. Strengthening of masonry walls with CFRP composite: experiments and numerical modeling / Houria Hernoune, Benabed Benchaa, Alshugaa Madyan, Rajab Abousnina // Journal of Silicate Based and Composite Materials. - Vol. 72(1). - 2020. – pp. 2-11.*
4. *DSTU B V.2.6-207:2015 [National Standard of Ukraine]. Calculation and construction of masonry and reinforced masonry structures of buildings and facilities. – Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2016. – 264 p (In Ukrainian).*

УДК 624.012.8

*Чайка Ольга, аспірантка,  
ORCID: 0000-0003-0725-409X, e-mail: oliachayka@gmail.com  
Павліков Андрій, д.т.н., професор,  
ORCID: 0000-0002-5654-5849, e-mail: am.pavlikov@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЗРАЗКИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КЛАДКИ КАМ'ЯНИХ СТОВПІВ НА КОСИЙ СТИСК**

***Анотація.** Аналіз сучасних досліджень свідчить, що до вивчення несучої здатності та розроблення розрахунків будівельних конструкцій з каменю, зокрема з цегли, прикладені зусилля багатьох учених [1-5]. Але теоретичних і експериментальних робіт, присвячених вивченню роботи кладки армокам'яних елементів в умовах косоного стиснення, на сьогодні ще недостатньо, особливо це стосується розрахунків несучої здатності таких елементів. Це пов'язано з тим, що наразі не існує достатньо узагальненої теорії, яка б відображала повну картину напружено-деформованого стану та роботу у таких умовах кам'яних та армокам'яних конструкцій в момент їх руйнування. Даних експериментально-теоретичних досліджень, на основі яких можна розробити методіку розрахунку міцності при косому стиску кам'яних конструкцій, замало.*

*Тому, з метою усунення відмічених прогалин, необхідно продовжувати дослідження несучої здатності кам'яних елементів на косий стиск з метою вдосконалення моделі оцінки несучої здатності кам'яних стовпів в умовах косоного стиску.*

***Ключові слова:** косий стиск, кам'яна кладка, несуча здатність, експериментальні зразки.*

***Chaika Olha, Postgraduate student,  
ORCID: 0000-0003-0725-409X, e-mail: oliachayka@gmail.com  
Pavlikov Andrii, ScD, Professor,  
ORCID: 0000-0002-5654-5849, e-mail: am.pavlikov@gmail.com  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»***

## **EXPERIMENTAL SAMPLES FOR STUDYING THE WORK OF BRICKWORK OF STONE PILLARS UNDER BIAXIAL BENDING**

***Abstract.** Analysis of modern research shows that many scientists have studied the load-bearing capacity and the development of calculations of building structures made of stone, in particular brick [1-5]. But theoretical and experimental work devoted to the study of the masonry of reinforced stone elements under biaxial bending is still insufficient, especially in the calculations of the bearing capacity of such elements. This is due to the fact that currently there is no sufficiently generalized theory that would reflect the full picture of the stress-strain state and the work in such conditions of stone and reinforced stone structures at the time of their destruction. There are not enough experimental and theoretical data on the basis of which it is possible to develop a method of calculating the strength of stone structures under biaxial bending. Therefore, in order to eliminate the marked gaps, it is necessary to continue the study of the load-bearing capacity of stone elements under biaxial bending in order to improve the model for estimating the load-bearing capacity of stone pillars under biaxial bending.*

***Key words:** biaxial bending, masonry, load-bearing capacity, experimental samples.*

Для досягнення поставленої мети на кафедрі будівельних конструкцій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» проводяться наукові роботи. Зокрема, виготовлено 10 експериментальних зразків кам'яних стовпів для визначення механічних характеристик цегляної кладки у найбільш стиснутій фібрі.

Стовпи мають такі розміри: півтори цеглини на півтори цеглини – в поперечному перерізі та 14 рядів за висотою (рис. 1, 2).



Рис. 1 – Схема порядового укладання цегли

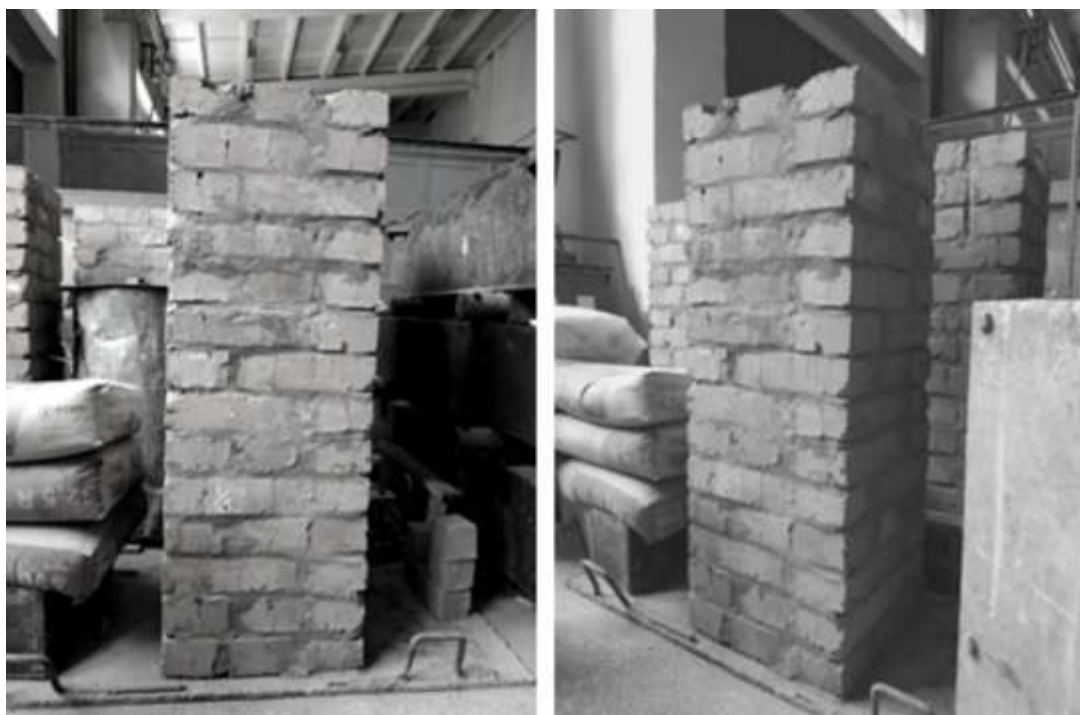
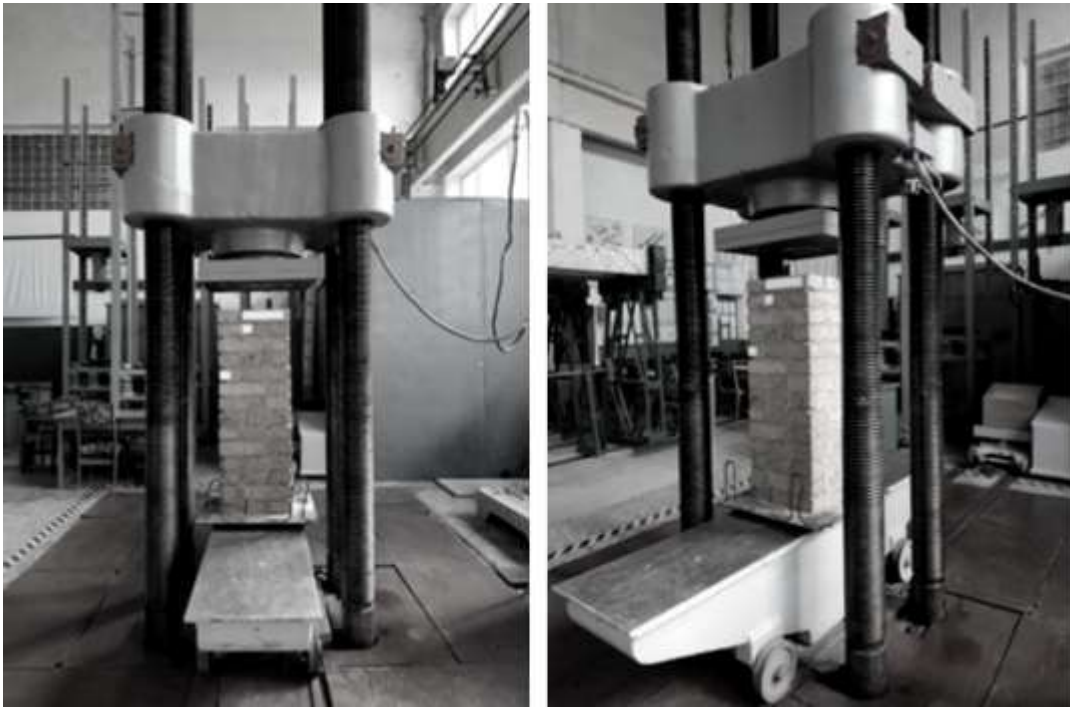


Рис. 2 – Вигляд експериментальних зразків

Виготовлення зразків виконувалося на піддонах. Транспортування стовпів до місця випробовування здійснюється спеціальними пристроями.

Для виготовлення зразків використано цеглу керамічну глиняну повнотілу марки М75 та розчин марки М50.



**Рис. 3 – Розташування зразків цегляних стовпів у випробувальному пресі ПММ-500**

Експериментальні дослідження планується виконувати на косий стиск у пресі типу ПММ-500 (рис. 3). Навантаження на зразок передбачено прикладати з постійною швидкістю деформування найбільш стиснутого ребра кладки  $d\varepsilon/dt$ , що максимально забезпечить визначення граничного значення її деформування у момент руйнування.

**Висновки.** Проведення запланованих експериментальних досліджень напружено-деформованого стану цегляних стовпів при косому стиску дозволить отримати граничні значення кладки при їх руйнуванні та створити на основі деформаційної моделі методику розрахунку несучої здатності таких елементів.

#### *Література*

1. Вахненко П. Ф. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Київ : ІСДО, 1993. 260 с.
2. Міценко Р. А. Міцність цегляної кладки. Коммунальное хозяйство городов. 2000. №23. С.34 – 37.
3. Онищик Л. И. Каменные конструкции промышленных и гражданских зданий. Москва : Стройиздат, 1939. 83с.
4. Павліков А. М., Лаврінець О. Г. Розрахунок міцності центрально завантажених стовпів із цегляної кладки з урахуванням її нелінійних властивостей. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). Полтава, 2011. Вип. 1 (29). С. 71-74.
5. Стороженко Л. І. Експериментальні дослідження міцності кам'яних конструкцій, армованих прокатними профілями. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). Полтава, 2002. Вип. 8. С. 38 – 41.

УДК 624

**Шарій Григорій**, д.е.н., професор,  
ORCID: 0000-0002-9073-5355, e-mail: shariy.grigoriy61@gmail.com  
**Ільченко Тетяна**, н.с. наукової групи кафедри будівництва та цивільної інженерії  
ORCID: 0000-0002-5034-3955, e-mail: arhimbpntu@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

## БУДІВНИЧІ АСПЕКТИ ГЕОПОЛІТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ УКРАЇНИ

**Анотація.** Приведено науково-обґрунтовану систему планування та розвитку територій для розв'язання проблеми безпеки людей в часи воєнної агресії, вказані основні напрямки посилення обороноздатності України невійськовими шляхами.

**Ключові слова:** оборонна здатність, національна безпека, сховища, сталезалізобетонні конструкції.

**Sharyi Grygorii**, Dr. Sci. (Econ.), Professor,  
ORCID: 0000-0002-9073-5355, e-mail: shariy.grigoriy61@gmail.com  
**Ilchenko Tetiana**, Researcher  
ORCID: 0000-0002-5034-3955, e-mail: arhimbpntu@gmail.com  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

## BUILDING ASPECTS OF GEOPOLITICAL SUSTAINABILITY OF UKRAINE

**Abstract.** The scientifically substantiated system of planning and development of territories for the decision of a problem of safety of people in times of military aggression is resulted, the basic directions of strengthening of defense capability of Ukraine by non-military ways are specified.

**Keywords:** defense capability, national security, storage facilities, reinforced concrete structures.

Народна війна України і Військова агресія за незалежність вимагає переосмислення внутрішньої економічної політики держави, зміни системи національної безпеки та прийняття критично-важливих рішень щодо формування жорсткої державної регуляторної політики, особливо в сфері будівництва і просторового розвитку.

З метою підтримки високої військової стійкості територій та збереження життєздатних безпекових елементів критичної інфраструктури, держава повинна врегулювати систему розселення та порядок забудови територій, розміщення продуктивних сил, особливо розвиток крупних міських агломерацій.

Більше шестидесяти відсотків жителів міст країн Європи проживають у котеджній забудові, що скоріше нагадує сільську місцевість, та визначає високу, соціально-економічну, екологічну та військово-оборонну стійкість до зовнішніх загроз і ризиків військової агресії. Особливий розвиток будівельної сфери визначився в унікально-військово-стійкій країні – Ізраїль, де з 1951 року, вимагалось, щоб усі будівлі, мали бомбосховища.

В період агресивних військових дій на території України виявлено деякі проблеми в системі забудови і розміщенні критичної інфраструктури, зокрема низька стійкість багатоповерхової житлової забудови та безсистемна забудова перенаселених центрів міст та приміських територій.

Тридцять років хаотичної забудови багатоповерхівками як центрів міст, так і сільських приміських зон, розміщення житлових масивів та будинків в зонах аеропортів, біля об'єктів критичної інфраструктури, промислових підприємств, нафтобаз, військових об'єктів,

понижили стійкість територій до військової агресії прямо загрожуючи життю людей і унеможливаючи не тільки якісне проживання населення, а загрожуючи і самому існуванню поселень.

Доцільно винести урядові структури та військову інфраструктуру за межі столиці, що суттєво змінило б якість життя в столиці, поліпшило безпекові характеристики міського середовища.

В нинішній ситуації потрібно оцінити існуючі резерви будівель і споруд, а при спорудженні нових будинків передбачати облаштування сховищ, бомбосховищ, (укриттів). При проектуванні вбудованих і відокремлених захисних споруд цивільної оборони доцільно дотримуватися сталезалізобетонних рішень. Основні конструктивні елементи сховищ рекомендуємо виготовляти зі сталезалізобетону, який об'єднує в собі кращі переваги сталевих і залізобетонних будівництва.

Застосування сталезалізобетонних перекриттів і колон дозволяє максимально зменшити вартість опалубки при збереженні більшості переваг будівництва з металоконструкцій. В сталезалізобетонних перекриттях сталеві профільовані листи спочатку використовуються в якості незнімної опалубки, а потім працюють спільно з бетоном у якості зовнішньої розтягнутої арматури.

Серед переваг сталезалізобетонних перекриттів, слід відзначити: скорочення трудовитрат на зведення перекриттів на 25-40%, зниження металоемності перекриттів до 40%, зменшення загальної маси перекриттів на 30-50%, зменшення будівельної висоти перекриттів до 40%, збільшення прольотів в кілька разів, підвищення жорсткості завдяки утворенню дисків перекриттів, можливість облаштування комунікацій на стулку конструкції.

Сталезалізобетонні колони являють собою конструкції зі сталевих профілів і армованого бетону, а також з'єднувальних елементів, які забезпечують сумісну роботу сталі і бетону. Перевагами сталезалізобетонних колон є: підвищення несучої здатності зі зменшенням габаритів колон, підвищення жорсткості конструкції, збільшення несучої здатності в кілька разів, виконання бетоном функції конструктивного вогнезахисту.

В сталезалізобетонних конструкціях, тобто конструкціях із застосуванням сталевих прокатів та монолітного залізобетону, порівняно із залізобетонними конструкціями повністю відсутнє крихке руйнування, особливо при динамічних навантаженнях і впливах, таких як вибухи, снаряди, що дуже актуально в сучасних реаліях.

Завдяки своїм перевагам сталезалізобетонні рішення масово застосовуються при будівництві на ринках Європи, США, Канади та Австралії.

Також доцільно проаналізувати використання, баз відпочинку, освітніх закладів, в яких контингент здобувачів за останні роки скоротився в рази. В багатьох бюджетних закладах приміщення використовують нераціонально і неефективно. Також, для проживання переселених осіб потрібно задіяти готельні комплекси незалежно від форми власності.

Тільки відійшовши від відомчих інтересів і зацікавленості ми забезпечимо раціональне використання кожного квадратного метра існуючих будівель і споруд в Україні, а відбудову знищеного війною проводимо не «ударними» темпами, а розважливо і мудро виправляючи допущені прорахунки і містобудівні помилки. Необхідно винести за межі поселень і військову і критичну інфраструктуру не тільки відновлюючи, а і будуючи новітню. В Україні давно на часі будівництво сучасної військової інфраструктури, захищеної від будь-яких спроб знищення і не пов'язаної з поселеннями.

Проаналізувавши зміни, які внесені Урядом України, за останні 5 років в державних будівельних нормах можливо відмітити пониження санітарних норм і норм санітарної, пожежної охорони та цивільної безпеки, коли допустимі відстані промислової забудови щодо житла і об'єктів інфраструктури, логістики і промислових підприємств із тисячі метрів переросли в сотні метрів, а будинки не тільки будуть один біля одного, а і не вбудовують бомбосховища.

Ми визначили, що посилення захисної та оборонної стійкості країни засобами будівництва України вимагає конкретних заходів:

- зберігаючи військово-адміністративний обласний устрій України, посилюючи органи місцевого самоврядування і демократичні засоби народного контролю, необхідно ввести військово-адміністративні управлінські структури в містах та в громадах, як тимчасову, але важливу військово-цивільну структурну одиницю державних органів влади;

- посилити і в той же час спростити державне-регулярне законодавство і державні органи управління, особливо у промисловості та сільському господарстві в сфері обігу сільської нерухомості та земельних ділянок, забезпечивши цільове використання земель у життєво-важливих для країни галузях і особливо в сільгосп підприємствах;

- відновити роботу підприємств і організацій, діяльність яких припинена бізнесом країни агресора, націоналізувавши підприємства, та їх частини що належать громадянам країни агресора, особливо які критично необхідні для економіки країни і оборонного комплексу;

- припинити відтік з України сировини, заборонити експорт критично важливих для країни ресурсів, контролюючи валюту балансу від експорту та валютні надходження в Україну;

- детінізувати економіку і з допомогою правових інститутів забезпечити повернення фінансових ресурсів з офшорних зон, оголосивши податкову амністію на тлі послаблення податкового тиску, але взяти під державний контроль та детінізувати митні кордони, стимулюючи виключно інвестиції в будівництво;

- в будівництві, корупцію поставити поза суспільством першочергово та ліквідувати схеми, які її породжують, посиливши антикорупційні правові наслідки та відповідальність в умовах військового часу, продовживши військовій час аж до поновлення критичної інфраструктури.

#### *Література*

1. Шарий Г.І. Як невійськовим шляхом посилити обороноздатність України. Урядовий кур'єр, 17.05.2022.
2. Стороженко Л.І. Сталезалізобетонні конструкції. Дослідження, проектування, будівництво, експлуатація [Текст] / Л.І. Стороженко, В.М. Сурдій, В.І. Єфіменко, В.І. Вербицький. – Кривий Ріг, 2007. – 444 с.
3. Семко О.В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій [Текст] : монографія / О.В. Семко, О.П. Воскобійник. – Донецьк: Донбас, 2014. – 394 с.
4. Сталезалізобетон. Continiance: Збірник наукових праць: За редакцією Л.І. Стороженко. – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – 358 с.



УДК 624.014.2.04(02)

*Шимановський Олександр*, член-кореспондент НАН України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор, генеральний директор,  
ORCID: 0000-0002-7253-6707, e-mail: niiprsk@webber.kiev.ua  
ТОВ «Укрінсталькон імені В. М. Шимановського»

*Гоголь Мирон*, д.т.н., професор кафедри будівельного виробництва,  
ORCID: 0000-0002-7637-336X, e-mail: gogolmyron@i.ua

*Сидорак Дмитро*, аспірант кафедри будівельного виробництва,  
ORCID: 0000-0002-1227-4397, e-mail: dmytro.p.sydorak@lpnu.ua  
Національний університет «Львівська політехніка»

## ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ КОМБІНОВАНИХ СТАЛЕВИХ ФЕРМ НОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

**Анотація.** Показано загальні підходи щодо розробки нової генерації сталевих конструкцій. Такі конструкції дозволяють заощаджувати 17-32% від вартості їх виготовлення. Вказаний результат досягається за рахунок використання високоміцних сталей та нових конструктивних форм. Наведено схеми раціональних конструкцій. Запропоновано використання високоміцної арматури у розтягнутих елементах ферми. Запроектовано модель ферми прольотом 30м із такими елементами для випробувань. Наведено способи економії матеріалу у конструкціях. Серед таких методів зазначена розробка малоелементних конструкцій, а також використання сучасних розрахункових методів.

**Ключові слова:** комбіновані сталеві конструкції, напружено-деформований стан, малоелементна ферма.

*Shimanovsky Oleksandr*, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Laureate of the State Prize of Ukraine in the field of science and technology, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director,  
ORCID: 0000-0002-7253-6707, e-mail: ashim@urdisc.com.ua  
«Ukrinstalkon V.M.Szymanowski»

*Hohol Myron*, D.Sc., Professor of the Department of Construction Production,  
ORCID: 0000-0002-7637-336X, e-mail: gogolmyron@i.ua

*Sydorak Dmytro*, postgraduate student of the Department of Construction Production,  
ORCID: 0000-0002-1227-4397, e-mail: dmytro.p.sydorak@lpnu.ua  
Lviv Polytechnic National University

## TRENDS OF DEVELOPMENT OF COMBINED STEEL TRUSSES OF THE NEW GENERATION

**Abstract.** There are shown general approaches of new generation steel structure design. Such structures allow to reduce its production cost up to 17-32%. The result mentioned in notes can be achieved by applying high strength steel and new structure forms. Drawings of rational structures are shown. It is proposed the usage of high strength rebar in stretched rods. Steel truss model of 30m span with such rods was designed for stress test. It is shown the ways of material saving in

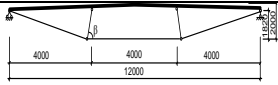
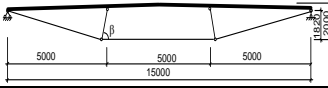
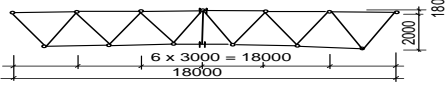
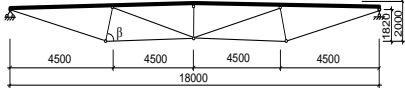
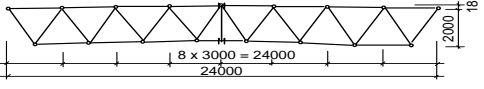
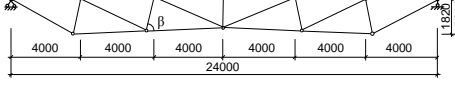
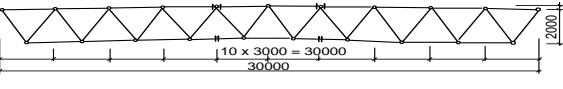
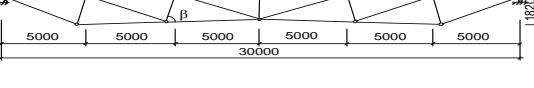
structures. Among these ways are design of low-element structures and applying of modern calculating methods.

**Keywords:** combined steel structures, stress-strain state, low-element truss.

Одним із ефективних напрямків підвищення технічного рівня будівельних конструкцій, в тому числі і комбінованих сталевих ферм, є розробка нових конструктивних форм, вдосконалення їх розрахунків і методів проектування. Нагромадженим досвідом застосування раціональних сталевих конструкцій виявлені їх безперечні переваги, які в особливій мірі проявляються в комбінованих конструкціях (балкових, шпренгельних, фермових, висячих та вантових). Розроблені нами нові раціональні конструктивні комбіновані форми систем покриттів, з меншими габаритами і матеріаломісткістю в порівнянні з існуючими аналогами (табл. 1, б).

Комбіновані сталеві конструкції [1,3] з конструктивними формами адаптованими до дійсного їх НДС за рахунок розрахункового регулювання, раціонального проектування можуть досягати на 17-32% меншу вартість і матеріаломісткість порівняно з типовими. Але в даний час не має чіткої програми їх розвитку, удосконалення, щоб значно підвищити їх ефективність.

**Таблиця 1. Схеми раціональних комбінованих ферм для прольотів 12-30 м**

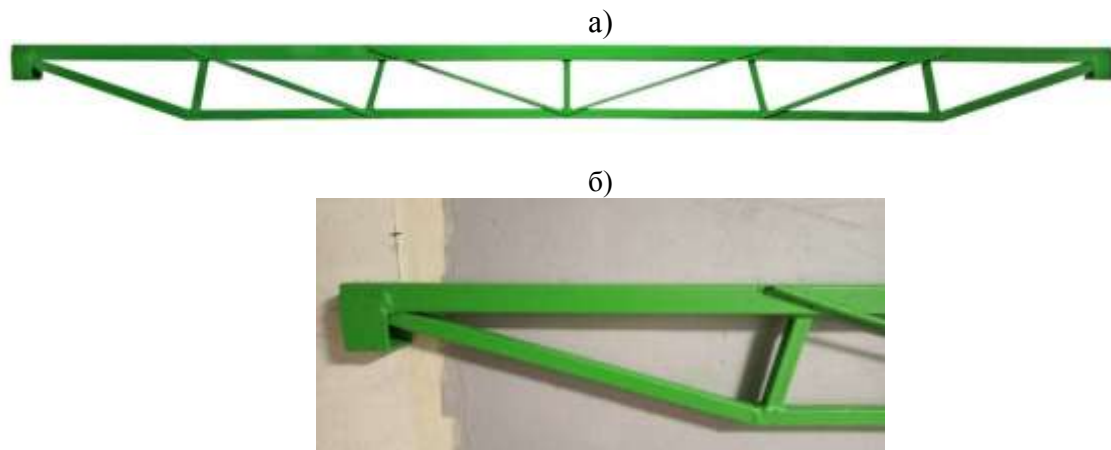
а) по ДСТУ [2]	б) запропоновані і розроблені
Не передбачається	
Не передбачається	
	
	
	

Головними задачами науково-технічного прогресу в області сталевих конструкцій є економія сталі, використання високоякісних сталі і профілів, підвищення продуктивності і ефективності [3]. Шляхів економії сталі є декілька.

По-перше, більш широке використання сталей підвищеної міцності і високоміцних для розтягнутих елементів, арматурних стержнів А300С, А400С і т.д., що також викликано їх дефіцитом в умовах воєнного стану. Наприклад, сталеві ферми замінюються комбінованими сталевими фермами з розтягнутими стержнями класу А400С (рис. 1).

По – друге, розробка нових малоелементних конструктивних форм і з концентрацією матеріалу у верхньому поясі (балці жорсткості) до 60-70 % всієї маси системи (табл. 1, б).

По-третє, шляхом використання мінімальної висоти несучих конструкцій для зменшення будівельного об'єму і зменшення об'єму опалення.



**Рис. 1 – Модель комбінованої ферми прольотом 30 м із раціональними параметрами і розтягнутими елементами із арматурних стержнів: а) модель; б) вузол**

По – четверте, економія сталі досягається шляхом використання науково обґрунтованої доцільності розрахункового методу регулювання напружено-деформованого стану (НДС) комбінованих сталевих конструкцій. Забезпечити основну задачу при проектуванні комбінованих будівельних конструкцій, з якою зустрічається інженер, це одержання рівномірної конструкції, тобто найбільш раціональної системи. При цьому основний критерій раціональності можна сформулювати так: формоутворення комбінованої сталеві конструкції буде раціональним лише тоді, коли ця конструкція матиме найменшу вартість "у ділі" від усіх можливих форм відомих конструкцій за однакового навантаження і прольоту та забезпечення потрібної міцності та жорсткості конструкцій.

По – п'яте, економію сталі одержують в результаті удосконалення інженерних розрахунків несучої здатності комбінованих систем на основі енерговаріаційного принципу (принципу Лагранжа), розробки нових положень проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій. З метою надання процесу раціонального проектування комбінованих сталевих конструкцій необхідної наукової обґрунтованості і зведення до мінімуму елементу суб'єктивності при виборі проектних рішень необхідно визначені основні методологічні принципи такого проектування і його послідовність.

По – шосте, результати досліджень відкриють широкі можливості цілеспрямованого проектування раціональних комбінованих сталевих конструкцій, дадуть приймати всебічно обґрунтовані рішення, що забезпечить якісніше проектування і реалізацію конкурентоздатних вирішень, більш широкому використанню в будівлях і спорудах, що спричинить загальний економічний ефект.

#### **Література**

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 гнотозварних профілів прямокутного перерізу. Київ, 2009. 33 с.
3. Шимановський О. В. Оптимізація просторових комбінованих систем. За редакцією Шимановського О. В. / О. В. Шимановський, В. К. Цихановський, С. М. Талах. – К.: Вид-во «Сталь», 2012. – 462 с.

## СЕКЦІЯ №3. СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ В ГЕОТЕХНІЦІ ТА ЦИВІЛЬНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

УДК 624.1

*Корзаченко Микола, к.т.н.,  
ORCID: 0000-0002-5674-8662, e-mail: korzachenko\_87@meta.ua  
Національний університет «Чернігівська політехніка»*

### ЗБЕРЕЖЕННЯ ІСТОРИЧНИХ ПІДЗЕМНИХ КОМПЛЕКСІВ

*Анотація.* Робота присвячена аналізу печерних комплексів та підземних приміщень історичного призначення. Розглянуто як загальновідомі печерні комплекси, так і ті, які невідомі та потребують обстеження. Наведені методи обстеження підземних приміщень, зокрема приділено увагу створенню 3D-моделей за допомогою 3D-сканер CR-Scan 01 на прикладі Антонієвих печер в Чернігові. Придільено увагу способам підсилення пошкоджених конструкцій в умовах експлуатації сучасними композитними матеріалами на базі базальтових і вуглецевих волокон.

*Ключові слова:* печери, підземні споруди, обстеження, підсилення.

*Korzachenko Mykola, PhD in Technical Sciences,  
ORCID: 0000-0002-5674-8662, e-mail: korzachenko\_87@meta.ua  
Chernihiv Polytechnic National University*

### PRESERVATION OF HISTORICAL UNDERGROUND COMPLEXES

*Abstract.* The work is devoted to the analysis of cave complexes and underground premises for historical purposes. Both well-known cave complexes and those that are unknown and need to be surveyed are considered. Methods of the survey of underground premises are given, in particular, attention is paid to the creation of 3D models using the 3D-scanner CR-Scan 01 on the example of Anthony's Caves in Chernihiv. Attention is paid to the methods of strengthening damaged structures in the conditions of operation with modern composite materials based on basalt and carbon fibers.

*Keywords:* caves, underground structures, investigation, strengthening.

Дослідження штучних печер та підземних комплексів, а також їх захист та збереження залишається актуальною проблемою сучасних наукових досліджень [1].

Печерні комплекси та підземелля існують не лише на територіях великих міст, але такі споруди виявляються і у малих містах, містечках та селах [2, 3].

Антонієві печери в м. Чернігові є досить відомими, проте на території як Чернігова так і Чернігівщині існує ще чимало підземних споруд, які малодосліджені або взагалі не досліджувалися та знаходяться в незадовільному а іноді і в зруйнованому стані. Після утворення провалля в 2002 році неподалік храму Всіх Святих в Ніжині було виявлено підземні тунелі та приміщення (деякі заввишки чотири метри), які мають площу близько 200 квадратних метрів [4, ст. 23]. Археолог Володимир Руденок у своїх працях також згадує про підземні ходи та підземні споруди у різних містах та селах [3, ст. 28]. Окрім даного переліку існує ще багато інших стародавніх підземель, більшість з яких не досліджені та не виявлені, такі об'єкти стають відомими лише після часткового їх обвалення та утворення провалля на територіях.

Необхідно зазначити, що виявити підземну споруду, це лише частина клопіткої роботи. Головне завдання це дослідити та зберегти пам'ятку. Проте існують певні проблеми по

збереженню даних об'єктів. Більшість з них розташовані на схилах, що періодично піддаються зсувами. Вітчизняне законодавство не містить матеріалів щодо дослідження, збереження та використання таких комплексів та споруд.

Метою роботи є виявлення та узагальнення печерних комплексів та підземних приміщень історичного значення Чернігівщини, розробка методів їх обстеження та заходів по збереженню.

До підземних споруд, окрім печер, можна віднести галереї, підземні ходи, приміщення, церкви, гробниці, склепи, льохи, погребі.

Підземні комплекси знаходяться у складних інженерно-геологічних умовах, що обумовлюються: розташуванням у зсувних та зсувонебезпечних зонах; наявністю значних товщ покривних рихлих порід, які здатні до розмиву; розміщенням підземних приміщень у ґрунтових масивах з різними фізико-механічними властивостями; наявністю водоносних горизонтів вище і нижче верств, що вміщують печери [5, 6].

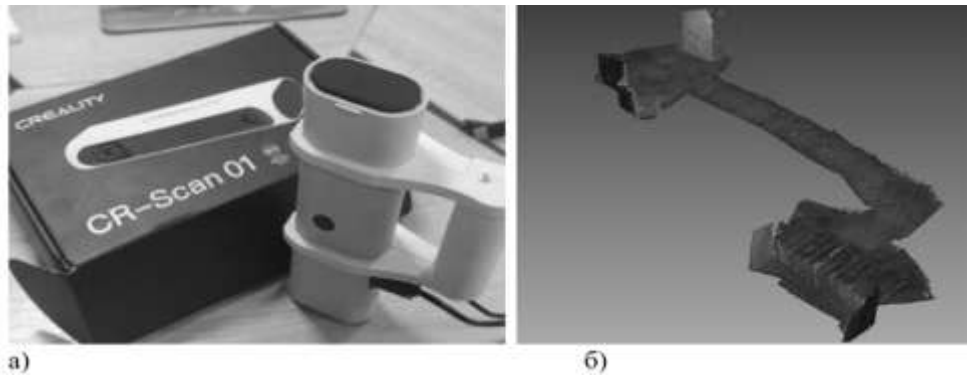
Збереження підземних комплексів потребує проведення масштабних, трудомістких та надзвичайно складних інженерно-технічних робіт, які зазвичай полягають у: забезпеченні загальної стійкості схилів; дотриманні оптимальних умов експлуатації; регулюванні вологості, як в середині приміщень так і ґрунтового середовища; контролю техногенного навантаження [6].

До головних факторів впливу на стан печерних об'єктів можна віднести: перезволоження ґрунтового масиву, порушення температурно-вологісного режиму, техногенне навантаження на прилеглу територію [1].

Окрему увагу треба звертати умовам експлуатації. Так під час спостережень за мікрокліматом Антонієвих печер встановлено, що температура повітря у них коливається в межах від 7,6 до 13,3 градусів, а відносна вологість повітря протягом року змінюється у діапазоні від 75% до 100% (переважно коливається від 86% до 95%) [7]. Під час проведення різного плану ремонтних та реставраційних робіт застосовувалися тимчасові дерев'яні кріплення, які після завершення робіт при необхідності замінюються на постійні залізобетонні чи металеві. Проте не завжди тимчасові дерев'яні елементи можна застосовувати, іноді при їх встановленні елементи з'єднують між собою методом розпирання, і конструкції тиснуть на стіни та склепіння печери, що деформує останні та спричиняє руйнування. Також під час заміни тимчасових елементів на постійні можуть виникати обрушення породи, що іноді спричинює аварійні ситуації, та в умовах високої вологості деревина швидко псується. Тому під час певних реставраційних робіт в Антонієвих печерах зразу ж застосовувалися постійні металеві кріплення [7, ст. 112-115]. Застосовані заходи по підсиленню металевими елементами потребують постійного спостереження та оновлення корозійного захисту, також такі елементи спотворюють історичний вигляд підземних конструкцій.

Зараз існують способи підсилення пошкоджених конструкцій в умовах експлуатації сучасними композитними матеріалами на базі базальтових і вуглецевих волокон. Прикладом такого підсилення є робота Белова І.Д., Вабіщевич М.О. та Дедова О.П. по збереженню Церкви Різдва Христового Свято-Успенської Києво-Печерської Лаври де в реконструкції і реставрації запропоновано та впроваджено застосування композитних матеріалів [8]. Проте даний метод був запропонований для підсилення саме ґрунтового середовища, а як він буде працювати, якщо необхідно підсилити підземні приміщення, які мають цегляні, металеві та залізобетонні конструкції – це робота, яку потрібно ще дослідити.

Що ж до методів обстеження підземних комплексів то окрім використання георадару для виявлення пустот, на даний час широко використовуються методи сканування та створення 3D-зображень з метою аналізу, як підземні приміщення розташовані в просторі (рис. 1).



**Рис. 1 – Сканування Антонієвих печер в Чернігові: а) 3D-сканер CR-Scan 01; б) фрагмент відсканованого коридору Антонієвих печер в Чернігові**

На основі проведених робіт: виявлено печерні комплекси та підземні приміщення, які не охоплені попередніми роботами. Апробовано метод сканування та створення 3D-зображень печерних комплексів. Розглянуто метод підсилення підземних комплексів, якій базується на застосуванні композитних матеріалів. Підготовлено матеріал для використання композитних матеріалів в підсиленні печерних комплексів на Чернігівщині.

#### **Література**

1. Черевко І. Еволюція архітектурно-планувальної структури печерних комплексів Києво-Печерської лаври в контексті їхнього пристосування до потреб часу / Ірина Черевко // Пристосування пам'яток культурної спадщини до сучасного використання з метою їх збереження. Матеріали Міжн. наук.-практ. конф. (Київ, 21-22 жовтня 2021 р.). – Київ: «Фенікс», 2021. – С. 83-94.
2. Корчинський О. Про печери та печерні комплекси в місті Миколаєві на Львівщині та в його околицях / О. Корчинський // Матеріали і дослідження з археології Прикарпаття і Волині. – Вип. 15. 2011. – С. 232–256.
3. Руденок В.Я. Таємниці підземель Чернігівщини / В.Я. Руденок. – Чернігів: Вид. Лозовий В.М., 2018. – 32 с.
4. Кедун І.С. Підземні споруди ніжинського "грецького кварталу" на сучасному етапі дослідження / І.С. Кедун // Література та культура Полісся. Вип. 90. Серія "Історичні науки". № 9. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2018. – С. 14-32.
5. Черевко І.А. Проблеми збереження підземних сакральних пам'яток (на прикладі печерних комплексів Києво-Печерської лаври) / І.А. Черевко // Сіверщина в історії України, випуск 10, 2017. – С. 34-37
6. Черевко І.А. Моніторинг розвитку небезпечних геологічних процесів на території Києво-Печерської лаври: досвід, проблемні питання, шляхи вирішення // І.А. Черевко // Сіверщина в історії України, випуск 14, 2021. – С. 39-47.
7. Павленко В. Збереження пам'яток архітектури Чернігова в умовах підвищеної вологості на прикладі Іллінської церкви, Антонієвих печер і будинку Полкової канцелярії / В. Павленко, В. Руденок, М. Корзаченко // Реставрація пам'яток архітектури в умовах високого рівня ґрунтових вод та підвищеної вологості інтер'єрів. Матеріали Міжн. наук.-практ. конф. (Київ, 24-25 жовтня 2019 р.). – Київ: «Фенікс», 2019. – С. 104-117.
8. Белов І.Д. Комплексне рішення по відновленню технічного стану підземної церкви Різдва Христового Святоуспенської Києво-Печерської лаври / І.Д. Белов, М.О. Вабищевич, О.П. Дедов // Нові технології в будівництві. Науково-технічний журнал. №29'15, 2015. – С. 10-17.

УДК 624.016.7

**Винников Юрій**, д.т.н., професор,  
ORCID: 0000-0003-2164-9936, e-mail: vynnykov@ukr.net  
**Раздуй Роман**, аспірант,  
ORCID: 0000-0002-5819-6056, e-mail: romanrazduy@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

**Аніскін Олексій**, к.т.н., доцент,  
ORCID: 0000-0002-9941-1947, e-mail: aaniskin@unin.hr  
Північний університет, м. Вараджин, Хорватія

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ОСІДАНЬ ҐРУНТОЦЕМЕНТНИХ ОСНОВ НА ПРИКЛАДІ ЛОТКОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

**Анотація.** Наведено графіки результатів осідань штампу при моделюванні лоткового експерименту із визначення впливу армування вертикальними ґрунтоцементними елементами (ГЦЕ) слабких глинистих основ стрічкових і плитних фундаментів будівель. Порівняно результати моделювання експерименту із використанням критерія міцності Мора-Кулона методом скінченних елементів (МСЕ) для оцінювання напружено-деформованого стану (НДС) системи «фундамент – армований шар ґрунту – основа» при використанні різних моделей імітації ГЦЕ.

**Ключові слова:** вертикальний ґрунтоцементний елемент, ґрунтова основа, осідання, порівняння моделей розрахунку, метод скінченних елементів.

**Vynnykov Yuriy**, DSc, Professor,  
ORCID: 0000-0003-2164-9936, e-mail: vynnykov@ukr.net  
**Razdui Roman**, post-graduate,  
ORCID: 0000-0002-5819-6056, e-mail: romanrazduy@gmail.com  
National university «Yuri Kondratyuk Poltava polytechnic»

**Aniskin Aleksej**, PhD, Associate Professor,  
ORCID: 0000-0002-9941-1947, e-mail: aaniskin@unin.hr  
University North, Varazdin, Croatia

## ANALYSIS OF CALCULATION METHODS OF SETTLEMENTS OF SOIL- CEMENT BASE ON THE EXAMPLE OF TRAY EXPERIMENT

**Abstract.** Graphs of settlements of stamp experiment in the modeling of the tray experiment to determine the effect of reinforcement with vertical soil-cement elements (SCE) of weak clay foundations of strip and slab foundations of buildings are shown. The results of modeling the experiment using the Mohr-Coulomb finite element strength criterion for estimating the stress-strain state (SSS) of “foundation – reinforced soil – soil base” using different models of the finite element method (FEM) reference task are compared.

**Keywords:** vertical soil-cement element, soil base, settlement, comparison of calculation methods, finite element method.

**Вступ.** Покращення геотехнічних характеристик (наприклад, модуль деформації та питоме зчеплення) слабких глинистих ґрунтів вертикальними ґрунтоцементними елементами (ГЦЕ) – ефективний, економічно вигідний і вже достатньо апробований метод щодо зменшення осідань системи «основа – фундамент – будівля» [1 – 4].

**Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій.** Зокрема, вже визначено [3, 5], що з часом відбувається зростання міцності ГЦЕ до 2,5 разів і відповідно міцності армованих основ. Отримано залежності модулів деформації ґрунтоцементної суміші від відсотку вмісту цементу та водо-цементного відношення, щільності ґрунту тощо.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Однак, потребує подальшого удосконалення методика розрахунку армованих ґрунтоцементом основ стрічкових і плитних фундаментів будівель та споруд, у т. ч. способу прогнозування їх осідань за умов сильностисливих ґрунтів. Одним із надійних шляхів розв'язання цієї задачі є порівняння осідань натурального експерименту із його моделюванням.

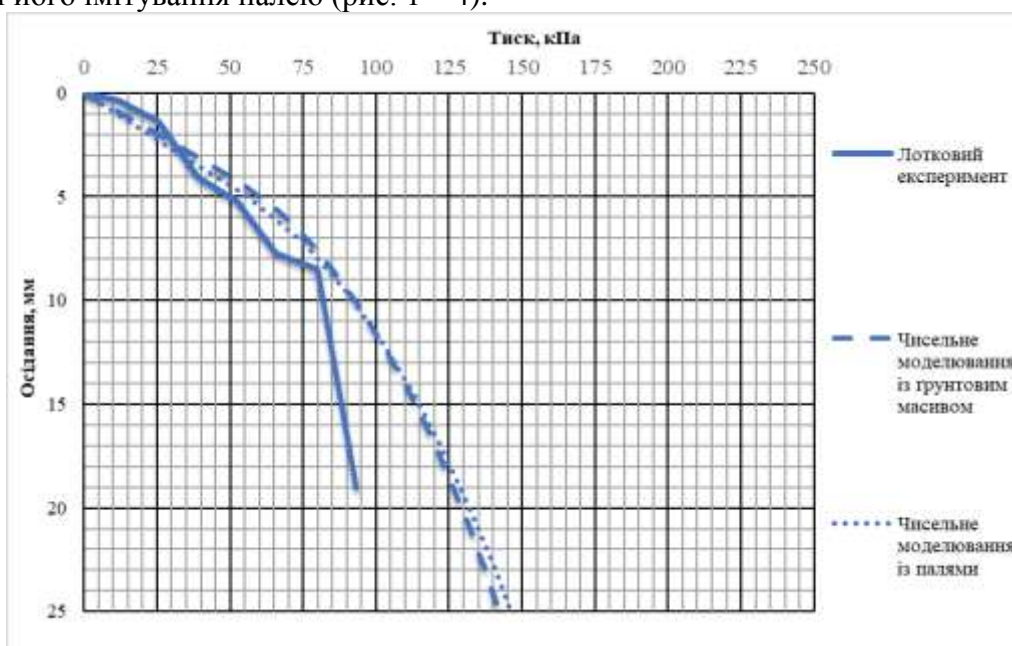
Тому, за **мету роботи** прийнято моделювання деформованого стану (НДС) глинистої основи з варіативними параметрами армування у лотку під жорстким стрічковим штампом, аналіз отриманих даних деформацій основи, армованої вертикальними ГЦЕ, з порівнянням результатів розрахунку методом скінченних елементів (МСЕ) за імітації ґрунтоцементу пальовими елементами і ґрунтовими елементами із лотковим дослідом для обґрунтування найбільш достовірної методики прогнозування осідань таких основ.

**Основний матеріал і результати.** Математичне моделювання проводили просторовою (3D) версією програмного комплексу Plaxis. При цьому використано нелінійну розрахункову модель Мора-Кулона. Для чисельного моделювання штампових досліджень у лотку обрано ті самі характеристики ґрунтової основи, ґрунтоцементу та відсотків армування  $i$ , що й в експерименті [6] та подано у таблиці 1.

**Таблиця 1. Характеристики матеріалів, задані для моделювання МСЕ**

Елемент	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	E, МПа	$\phi$ , °	c, кПа	$\nu$
Ґрунтова паста	1,85	0,7	19	8,5	0,35
Щебінь	2,00	40	40	1,0	0,25
Ґрунтоцемент	2,00	300	-	-	-
Ґрунтоцементні палі	2,00	300	-	-	0,25

Залежність осідання від навантаження змодельоване для ґрунтової основи відповідно критерію міцності Кулона-Мора у пружно-пластичній моделі ґрунту. Було виконано по 2 розрахунки для кожного варіанту лоткового експерименту – задання ґрунтоцементу масивом ґрунту чи його імітування палею (рис. 1 – 4).



**Рис. 1 – Порівняння осідань при моделюванні неармованої основи**



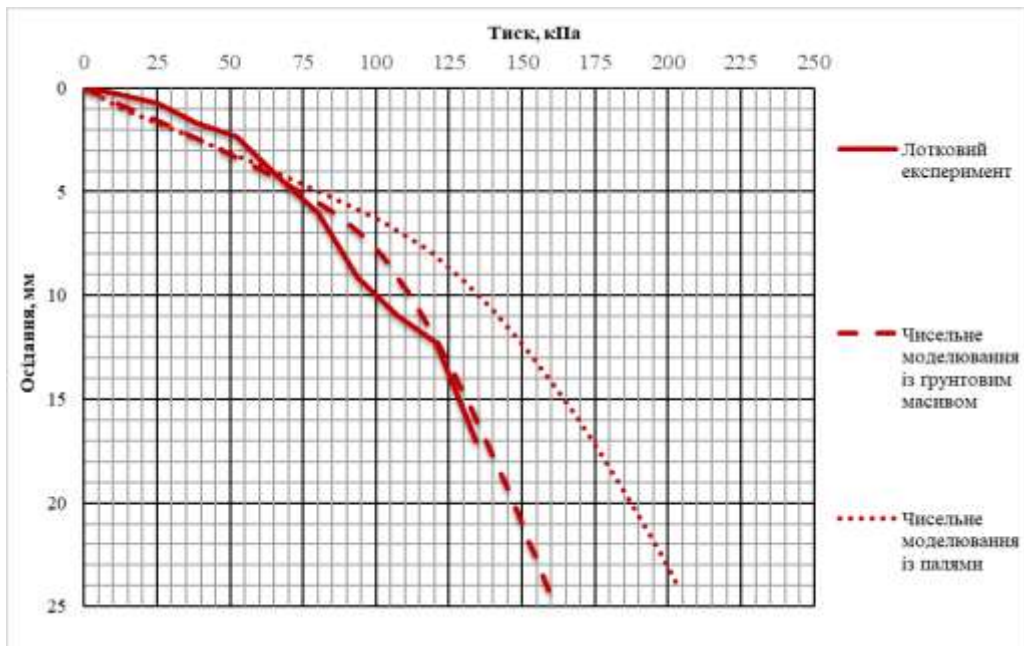


Рис. 2 – Порівняння осідань при моделюванні основи із армуванням 2,1%

У першому варіанті ГЦЕ моделювали за параметрами моделі лінійно-пружного тіла об'ємними елементами. Постадійно враховували вийняття ґрунту для влаштування щебенкової подушки, ГЦЕ, заповнення свердловин ґрунтоцементом, улаштування подушки, штампку та їх постадійне навантаження. При другому розрахунку прийнято наступне спрощення – ГЦЕ моделювали як палі з відповідними характеристиками, а постадійне моделювання було обмежене стадіями влаштування паль і прикладення навантаження. У кожного випадку тиск на ґрунт прикладали відповідно до отриманого в лотковому експерименті [6]. Для наочності проведених досліджень представлено графіки залежності осідання від напружень при моделювання МСЕ для неармованої та армованих основ (рис. 1 – 4).

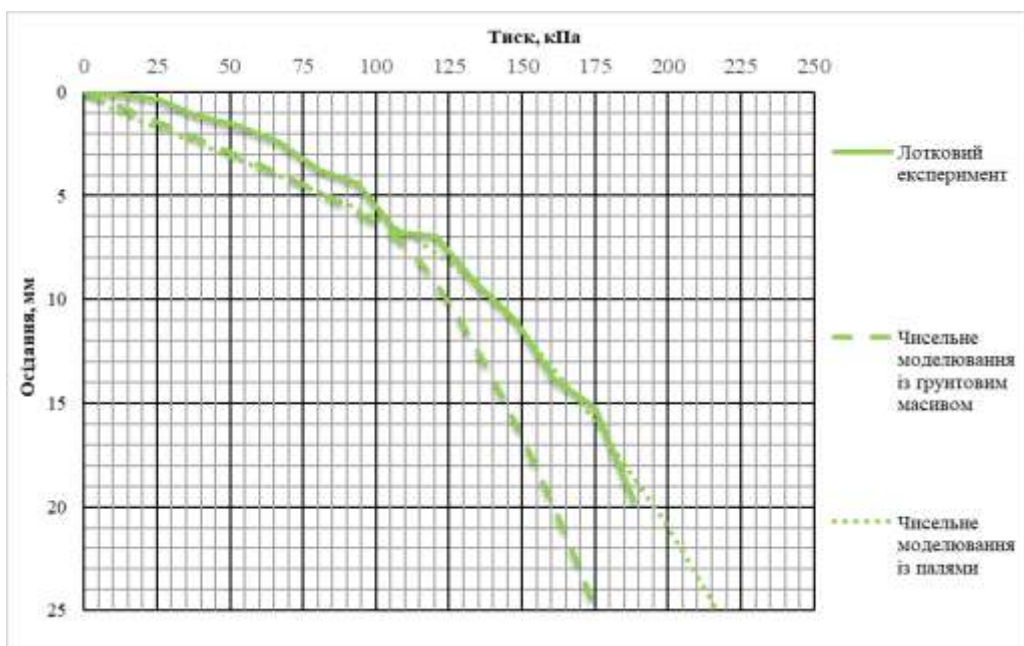


Рис. 3 – Порівняння осідань при моделюванні основи із армуванням 4,4%

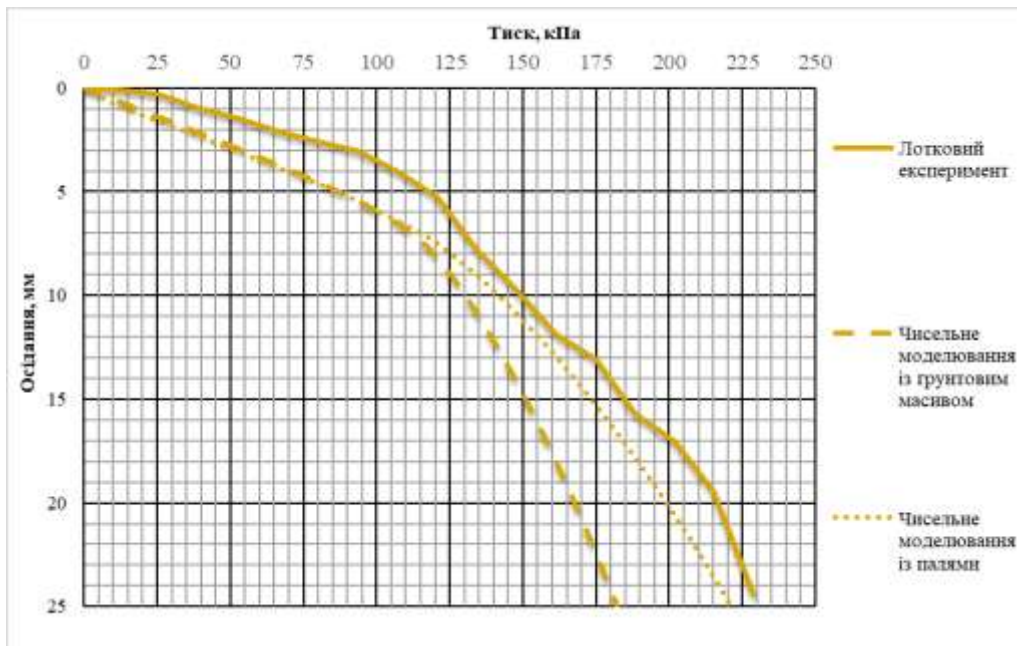


Рис. 4 – Порівняння осідань при моделюванні основи із армуванням 7,1%

**Висновки.** Отже, доведено достатню коректність оцінювання МСЕ НДС системи «армована основа – стрічковий фундамент» з використанням 3D версії комплексу PLAXIS при застосуванні пружно-пластичної моделі ґрунту з критерієм міцності Кулона – Мора для імітації роботи ПЦЕ як пальовими, так і ґрунтовими елементами. Отримані у роботі графіки осідань шляхом штампових випробувань і моделювання МСЕ у 3D версії комплексу PLAXIS близькі. Похибки за порівнянням результатів лоткових дослідів і моделювання можливо пояснити недостатньою достовірністю визначення параметрів міцності матеріалів й складністю створення у лабораторних умовах складу ґрунтової основи, близького до природного.

#### Література

1. Briaud J.-L. *Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils* / J.-L. Briaud. Wiley. – 2013. – 1024 p.
2. *Deep mixing research results in under water conditions* / [W. Van Impe, R. Verástegui Flores, P. Van Impe et. al.] // *Proc. of the 16th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Osaka, 2005)*. – Millpress Science Publishers Rotterdam, 2005. – V. 3. – P. 1275 – 1278.
3. *Characteristics of manmade stiff grounds improved by drill-mixing method* / [M. Zotsenko, Yu. Vynnykov, I. Lartseva et al.] // *Proc. of the 15th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Athens, 2011)*. – Amsterdam: IOS Press, 2011. – P. 1097 – 1102.
4. ДСТУ-Н Б В.1.1-40:2016 *Настанова щодо проектування будівель і споруд на слабких ґрунтах*. – К.: ДП «УкрНДНЦ». – 2017. – 66 с.
5. Зоценко М.Л. *Бурові ґрунтоцементні палі, які виготовляються за бурозмішувальним методом: монографія* / М.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников, В.М. Зоценко – Х.: «Друкарня Мадрид», 2016. – 94 с.
6. Vynnykov Yu. *Tray research of the strain state of soil bases reinforced by soil-cement elements under the strip stamp* / Yu. Vynnykov, A. Aniskin, R. Razdui // *Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*. – Poltava: Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. – 2019. – Is. 2(53)' – P. 90 – 97.

УДК 624.131: 624.154

*Винников Юрій, д.т.н., професор,  
ORCID: 0000-0003-2164-9936, e-mail: vynnykov@ukr.net  
Харченко Максим, к.т.н., доц.,  
ORCID: 0000-0002-1621-2601, e-mail: kharchenkomo@ukr.net  
Акопян Мкртіч, аспірант,  
ORCID: 0000-0002-5271-6639, e-mail: armenia3579@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## ПРАКТИКА УЛАШТУВАННЯ КОТЛОВАНУ ПОРУЧ З ІСНУЮЧОЮ ЗАБУДОВОЮ

***Анотація.** Подано досвід улаштування котловану для новобудови за умов щільної міської забудови. Стійкість бортів котловану підтримується вертикальними металевими елементами і на різних стадіях відкопування ґрунтовою бермою та розпірною системою. Аналіз напружено-деформованого стану (НДС) системи «основа фундаментів існуючих будівель – огороження котловану» змодельовано методом скінченних елементів (МСЕ).*

***Ключові слова:** глибокий котлован, розпірна система огороження, осідання, існуюча забудова, метод скінченних елементів.*

*Vynnykov Yuriy, DSc, Professor  
ORCID: 0000-0003-2164-9936, e-mail: vynnykov@ukr.net  
Kharchenko Maksym, PhD, Associate Professor  
ORCID: 0000-0002-1621-2601, e-mail: kharchenkomo@ukr.net  
Akopian Mkrtych, post-graduate  
ORCID: 0000-0002-5271-6639, e-mail: armenia3579@gmail.com  
National university «Yuri Kondratyuk Poltava polytechnic»*

## PRACTICE OF ARRANGEMENT OF THE EXCAVATION NEAR EXISTING BUILDINGS

***Abstract.** The experience of arranging the excavation for a new building under the conditions of dense urban development is presented. The stability of the sides of the excavation is supported by vertical metal elements and at different stages of excavation with a soil berm and a support system. The analysis of the stress-strain state (SSS) of the system «the foundations of existing buildings - support system for excavation» is modeled by the finite element method (FEM).*

***Keywords:** deep excavation, retaning wall system, settlement, existing building, finite element method.*

**Вступ.** Улаштування глибокого котловану в зоні існуючої забудови – складна геотехнічна задача. Досвід показує, що внаслідок впливу зведення та експлуатації нових об'єктів основи фундаментів оточуючої забудови подеколи зазнають значних деформацій, а іноді подальша експлуатація цієї забудови стає небезпечною [1, 2].

**Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій.** Граничні додаткові абсолютні й відносні деформації основ фундаментів будівель і споруд навколишньої забудови, розташовані в зоні впливу глибоких котлованів або комунікацій залежать від типу цих об'єктів і категорії їх технічного стану [1 – 4].

При проектуванні основ і фундаментів нових будівель і споруд за умов щільної забудови звичайно здійснюють оцінювання, найчастіше методом скінченних елементів

(МСЕ), впливу нової забудови на напружено-деформований стан (НДС) навоколишнього ґрунтового масиву, зокрема, й основ оточуючих споруд [1 – 5].

**Виділення ще не розв'язаних частин проблеми.** До складових цієї системи входять ґрунтовий масив, існуючі фундаменти й надземні частини будівель у певному технічному стані, підземні інженерні мережі, котлован на різних стадіях його відкопки та елементи його огороження, фундаменти новобудови, її несучі конструкції. Тому є складність урахування цих чинників для мінімізації впливу нового будівництва на оточуючі будівлі та існуючі мережі, при цьому, звичайно за найменших витрат.

Звідси **мета роботи** – на характерному натурному об'єкті за умов щільної міської забудови мінімізувати до нормативних вимог вплив нового будівництва у більш глибокому порівняно з рівнем підшви існуючих фундаментів котловані при використанні найдешевшого з можливих конструктивних рішень системи огороження.

**Основний матеріал і результати.** До будівництва обстежено основи і фундаменти існуючих будівель, зафіксовано стан їх конструкцій, пошкодження і дефекти, спрогнозовано їх максимальні допустимі додаткові осідання, що стало вихідними граничними даними для проекту огороження котловану та розпірної системи на різних стадіях його влаштування.

На рис. 1 наведено просторову модель ситуації влаштування котловану в існуючій забудові, а на рис. 2 – один із розрізів з геометричними параметрами й технічними рішеннями огороження котловану.



**Рис. 1 – Просторова модель ситуації влаштування котловану в існуючій забудові**

Нова будівля – односекційна, восьмиповерхова, з підземним паркінгом. До багатоповерхової частини примикає одноповерховий підземний паркінг через деформаційний шов. Висота підземного поверху складає 3.9 м, а глибина котловану – понад 4.0 м. Новобудова – каркасно-монолітна споруда від фундаменту до перекриття над першим поверхом, а вище – споруда безкаркасна з поздовжніми та поперечними несучими стінами і міжповерховими перекриттями зі збірних плит перекриття. Її фундамент – палі С140.35-8, об'єднані залізобетонним стрічковим ростверком під стіни й окремими залізобетонними ростверками під колони.

Для зменшення навантажень на огороження скорочено глибину огороження котловану шляхом влаштування попереднього котловану глибиною 1.8 м поблизу будівлі. Потім з дна цього котловану вдавнено вертикальні елементи огороження (металеві палі з двотаврів 30Ш1 довжиною 10 м, з кроком 1.0 – 1.5 м), між якими створено дерев'яну забірку та з'єднати обв'язувальною балкою.

Огороження створювали за такими стадіями: 1 – занурення з земної поверхні вдавнених палей для новобудови (до розробки котловану); влаштування за контуром

вертикальних елементів огороження котловану крім зони біля будівлі; 2 – прохідка «піонерного» котловану на глибину 1.8 м від поверхні; вдавлення паль огороження з двотаврів 30Ш1 між котлованом і фундаментом існуючої будівлі; 3 – відкопування котловану на проектну глибину під захистом ґрунтової берми шириною 3.2 м з відкосом 45 – 50°; 4 – улаштування у верхній частині огороження (0.5 м від поверхні) об'язувальної розподільчої балки з двотаврів 30Ш1, встановлення підкосів із двотаврів 30Ш1 з кроком 4 м на попередньо влаштовані ростверки майбутньої будівлі; 5 – виконання робіт із улаштування стрічкових ростверків під стіну паркінгу, влаштування підлоги паркінгу, яка виконуватиме роль розпірної системи та сприйматиме навантаження від огороження, також доцільно виконати вертикальні залізобетонні конструкції (пілони, стіни) до рівня підкосів і лише після набору міцності бетоном зняти підкоси та продовжити виконання монолітних робіт.

Розрахунок розпірної системи виконано МСЕ (при використанні пружно-пластичної моделі ґрунту з критерієм міцності Кулона – Мора), розрахункова схема фрагменту огороження і результати розрахунку подано на рис. 3.

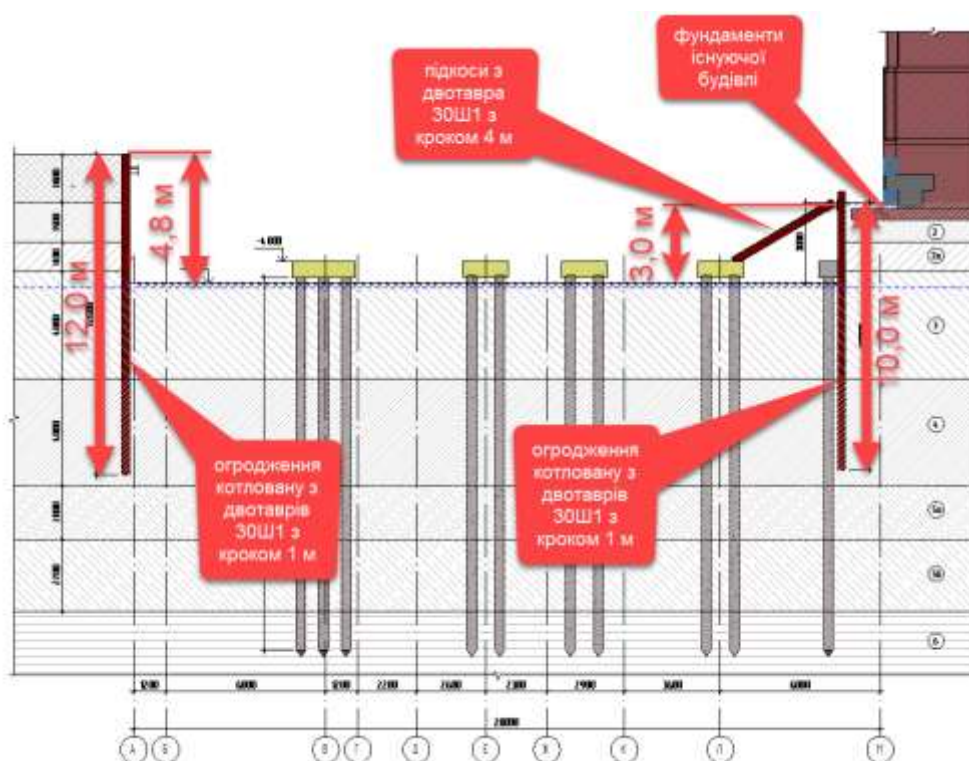


Рис. 2 – Переріз по котловану

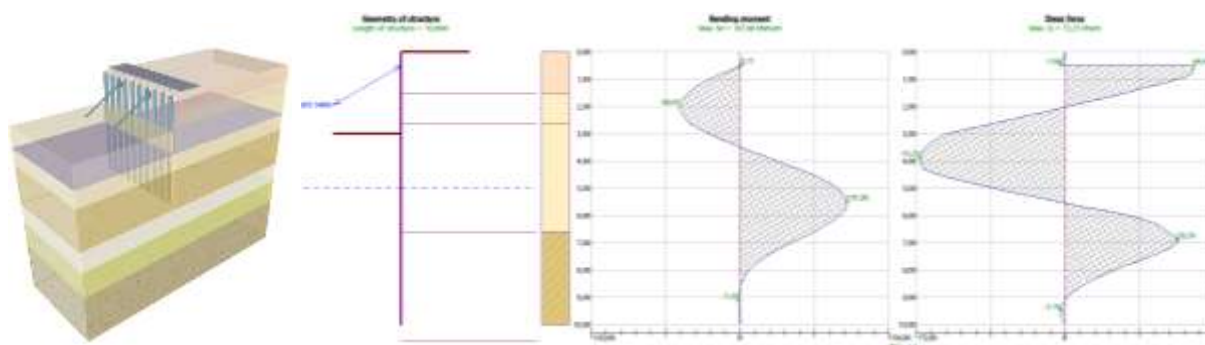


Рис. 3 – Схема фрагменту огороження котловану і результати розрахунку МСЕ

При цьому максимальні додаткові осідання основ фундаментів існуючої житлової будівлі не перевищать 8 мм. Дана технологія влаштування котловану виявилась найбільш дешевою.

Для вимірювання додаткових деформацій на цих будівлях закріпили осадочні марки та влаштовували на території ґрунтові репери й опорні точки (поза зоною впливу нового будівництва). Електронним тахеометром заміряли відхилення кутів стін від вертикалі. Періодичність зйомок залежала від темпів будівництва (кілька раз на тиждень). На найближчій до котловану будівлі встановлено ще автоматичний датчик крену.

На рис. 4 показано роботи з влаштування котловану.



Рис. 4 – Влаштування котловану та елементів його огородження

**Висновок.** Таким чином, на характерному натурному об'єкті за умов щільної забудови й замкнених лесових ґрунтів було мінімізовано до нормативних вимог можливий вплив нового будівництва у більш глибокому порівняно з рівнем подошви існуючих фундаментів котловані.

#### Література

1. EN 1990:2002/A1:2005/AC Eurocode: Basis of Structural Design [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC], 2010. – 144 p.
2. Briaud J.-L. Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils / J.-L. Briaud. Wiley. – 2013. – 1024 p.
3. Katzenbach R. Value Engineering as a basis for safe, optimized and sustainable design of geotechnical structures / R. Katzenbach, S. Leppla, M. Seip and S. Kurze // Proc. of the XVI European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development. Edinburgh, Scotland, 2015. – P. 601 – 606.
4. Бойко І.П. Вплив послідовності зведення суміжних секцій висотного будинку на перерозподіл зусиль у пальових фундаментах / І.П. Бойко, В.С. Носенко // Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во). – Вип. 4(34). – Т.1 – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С. 54 – 60.
5. Chau K. Numerical Methods / K. Chau // Proc. of the 18<sup>th</sup> Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris. – 2013. – P. 647 – 654.

## СЕКЦІЯ №4. АРХІТЕКТУРНА ТА ЛІТЕРАТУРНА СПАДЩИНА ЛЕОНІДА СТОРОЖЕНКА

УДК 624.016

*Семко Олександр, д.т.н., професор,  
ORCID: 0000-0002-2455-752X, e-mail: al.vl.semko@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

### СТОРОЖЕНКО Л.І. – ФУНДАТОР ВІТЧИЗНЯНОЇ ШКОЛИ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОНУ

*Анотація.* Приведено короткий огляд основних напрямів роботи аспірантів та докторантів професора Стороженка Леоніда Івановича, який започаткував та розвивав з 1985 року в Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» наукову школу сталезалізобетонних конструкцій (СЗБК).

*Ключові слова:* Стороженко Л.І., сталезалізобетонні конструкції, трубобетонні конструкції.

*Semko Oleksandr, Sc.D, Professor,  
ORCID: 0000-0002-2455-752X, e-mail: al.vl.semko@gmail.com  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

### STOROZHENKO L.I. – FOUNDER OF UKRAINIAN COMPOSITE STRUCTURES SCHOOL

*Abstract.* Paper deals with the main areas of Leonid Ivanovich Storozhenko`s graduate and doctoral students works, who founded and developed Scientific School of Composite Structures since 1985 at the National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic».

*Keywords:* Storozhenko L.I., composite structures, concrete-filled tube structures

Сталезалізобетонні конструкції або комплексні конструкції зі сталевих прокатів, арматурного заліза, об'єднані монолітним бетоном. Вперше в практиці будівництва вони з'явилися на початку XIX сторіччя, ще до появи власне залізобетонних будівельних систем [5].

Теоретичний розвиток сталезалізобетон отримав на початку XX сторіччя в конструкціях мостів у вигляді трубобетонних стійок та сталезалізобетонних балок, з чим були пов'язані нормативні документи [2] та власне назва «Сталезалізобетонні конструкції» – СЗБК. Розвитком цих питань в 60-ті роки XX сторіччя і почав займатись Стороженко Л.І. в Криворізькому технічному університеті (тоді технічному інституті). Результати його розробок увінчалися в 1985 році успішним захистом докторської дисертації «Об'ємний напружено-деформований стан залізобетону з непрямым армуванням».

Найбільш чіткий критерій відмінності сталевих, сталезалізобетонних та залізобетонних конструкцій наведено в [3]. Це коефіцієнт ефективності перерізу  $\delta$ , що дорівнює відношенню несучої здатності сталевих профілів (без бетону) до несучої здатності сталезалізобетонного елемента. При  $\delta > 0,9$  – це сталеві конструкції, при  $\delta < 0,2$  – залізобетонні конструкції, а у всіх інших випадках – сталезалізобетонні. Під керівництвом Л.І. Стороженко за період роботи в Полтаві 1985-2021 рр захищено понад 60 кандидатських

та 8 докторських дисертацій, що в сукупності створило цілий спектр нових типів СЗБК. Дуже детально розглянуто питання роботи трубобетонних елементів.

За участю Стороженка Л.І. в 1990 році була створена спеціалізована вчена рада за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди, яку він очолював в 2006-2021 роках і де захистилось понад 300 кандидатів наук і до 30 докторів наук.

Проаналізовано об'ємний напружено-деформований стан бетону в трубі при різних умовах та різних рівнях навантаження. Це роботи Потебня С.Г., Микули М.В., Синельника О.П., Спільчук В.М. Багато уваги приділено роботі трубобетону при передачі навантаження в опорних частинах (Назаров О.В., Тимошенко В.М., Пенц В.Ф.), а також особливостям роботи трубобетону при крученні (Шкіренко С.В.) при розтязі (Туржанський П.В.), при згині (Барбарський В.О.), трубобетон з додатковим армуванням (Єрмоленко Д.А., Кортушов П.Г.), з високоміцного бетону (Демченко О.В.) Детально досліджувався центрифугований трубобетон (Єфіменко В.І.).

В зв'язку з поширенням в Україні труб квадратного перерізу були виконані дослідження роботи таких елементів з бетону на різні види деформацій і розроблені уніфіковані таблиці для підбору перерізів (Рябіко Г.Д., Васюта В.В., Стовба Л.М.). Для розвитку методів проектування каркасів з трубобетону були досліджені вузли з'єднання трубобетону (Лапенко О.І., Пенц В.Ф., Семко П.О.), опорні вузли при спіранні на монолітний бетон (Воскобійник С.П.). Окремо досліджувався трубобетон в неметалевих трубах (Рябіко Г.Д., Васюта В.В.), надійність трубобетонних елементів (Воскобійник О.П.)

Професор Стороженко Л.І. разом з дослідженням трубобетону доклав багато зусиль для вивчення і впровадження відкритих сталевих профілів у поєднанні з монолітним бетоном як заводського виготовлення, так і при бетонуванні на будівельному майданчику. Це СЗБК в незнімній опалубці (Сколибог О.В., Лапенко О.І.), обетоновані прокатні профілі, тобто СЗБК з високими відсотками армування (10-15%) при  $\delta = 0,7...0,9$  (Яхін С.В., Джура В.М.), стиснуті елементи з листовим армуванням (Мурза С.О., Биба В.В., Магас Н.М.), балкові елементи (Крупченко О.А., Іванюк А.В., Куч Т.П.) в тому числі з попереднім напруженням (Пенц В.Ф., Кушнір Ю.О.), а також з винесеним робочим армуванням (Школяр Ф.С., Гасій Г.М.).

Особлива увага була приділена дослідженню і конструюванню сталезалізобетонних перекриттів (Нижник О.В., Клестов О.В., Тегза І.І.) в тому числі з різними способами анкерування: клейовими (Горб О.Г.), гнучкими анкерами (Козар В.І.)

За сукупність в розвиток комплексних композитних конструкцій Л.І. Стороженко в складі колективу авторів [4] було нагороджено Державною премією в галузі науки та техніки за 2011 рік. На сьогоднішній день особливо актуальної ідеї Стороженко Л.І. в галузі підсилення пошкоджених будівель і споруд комплексними сталезалізобетонними конструкціями, а саме: використання для виготовлення сталезалізобетону легких холодноформованих тонкостінних елементів, що актуально для відновлення перекриттів, а при використанні пінополістиролбетону як несучого елемента і утеплювача – і при виготовленні огорожувальних конструкцій. Це насамперед роботи з дослідження анкерування холодноформованих профілів (Козар В.І., Воскобійник О.П., Череднікова О.В.), приклеювання бетону до ЛСТК (Лапенко О.І., Горб О.Г.), дослідження сумісної роботи холодноформованих профілів та полістирол бетону (Авраменко Ю.О., Скиба О.В., Сіробаба В.О.).

Також Леонідом Івановичем були схвалені роботи з уніфікації та типізації виробничих каркасів зі сталезалізобетону (Пенц В.Ф.), роботи з проектування, конструювання та поглибленого розрахунку самонапружених за рахунок стадійності виготовлення сталезалізобетонних конструкцій (Бідік Д.В., Гасенко А.В.), і особливо актуальні на сьогодні дослідження трубобетонних конструкцій з дефектами та пошкодженнями (Воскобійник О.П., Ломіга І.О., Гукасян О.М.).



В коротких тезах, безумовно, важко згадати всіх учнів професора Стороженка Л.І., але насіння любові до сталезалізобетону, посіяне Учителем обов'язково дасть плідні паростки при відновленні будівель і споруд та новому будівництві в Україні.

### *Література*

1. Стороженко Л.І. Об'ємний напружено-деформований стан залізобетону з непрямим армуванням [Текст]: дисертаційна робота доктора технічних наук: 05.23.01/Л.І. Стороженко – Кривий Ріг, 1985. – 519 с.
2. СНиП 2.05.03-84 Мосты и трубы [Текст] / Госстрой СССР. – М./ЦИТП Госстроя СССР. – 200 с.
3. Стороженко Л.І. Сталезалізобетонні конструкції. Дослідження, проектування, будівництво, експлуатація [Текст] / Л.І. Стороженко, В.М. Сурдій, В.І. Єфіменко, В.І. Вербицький. – Кривий Ріг, 2007. – 444 с.
4. Онищенко О.Г. Високоєфективні технології та комплексні конструкції в будівництві [Текст] / Онищенко О.Г., Пічугін С.Ф., Онищенко В.О., Семко О.В., Стороженко Л.І., Ємельянова І.А., Ландар О.М. – Полтава: – 2009. – 400 с.
5. Високоєфективні технології та комплексні конструкції в промисловому й цивільному будівництві [Текст] : монографія / Онищенко В.О., Онищенко О.Г., Пічугін С.Ф., Стороженко Л.І., Семко О.В., Слюсаренко Ю.С., Ємельянова І.А. – вид. 2, доповнене. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2011. – 520 с.
6. Семко О.В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій [Текст] : монографія / О.В. Семко, О.П. Воскобійник. – Донецьк: Донбас, 2014. – 394 с.
7. Сталезалізобетон. Continiance: Збірник наукових праць: За редакцією Л.І. Стороженко. – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – 358 с.
8. Стороженко Л.І. Проблемы, исследования и строительство сталежелезобетонных конструкций. – Л.І. Стороженко – Строительные конструкции. – Киев:– 1999. Вып. 50. – С. 202-206.
9. Стороженко Л.І. та ін. Стиснуті наскрізні конструкції із стрічковим армуванням . [Текст] / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко, Н.М. Опришко. – Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону. – Київ. – 2007. Вып. 67. – С. 759-786.
10. Стороженко Л.І. та ін. Труробетонні конструкції промислових будівель : монографія / Стороженко Л.І., Пенц В.Ф., Коршун С.Г. – Полтава: ПолтНТУ, 2008. – 202 с.
11. Стороженко Л.І. та ін. Забезпечення сумісної роботи бетону і сталі за допомогою склеювання. – перспективний напрямок розвитку сталезалізобетонних конструкцій [Текст] / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко, О.Г. Горб. – Сборник «Строительство, материаловедение, машиностроение. – Днепропетровск: ПГАСА, 2009. Вып. 50. – С. 532-538.»

УДК 624.07

*Пічугін Сергій, д.т.н., професор,  
ORCID: 0000-0001-8505-2130, e-mail: pichugin.sf@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ЛЕОНІД ІВАНОВИЧ СТОРОЖЕНКО – ВИДАТНА БАГАТОГРАННА ЛЮДИНА**

***Анотація.** Наведені короткі замітки щодо багаторічної сумісної роботи з видатним науковцем, професором, доктором технічних наук, лауреатом Державної премії України в галузі науки і техніки, академіком Академії будівництва, Інженерної та Гірничої Академій, Заслуженим робітником Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». Засновник наукової школи «Сталезалізобетонні конструкції», він підготував більше 60 кандидатів і 7 докторів технічних наук. Багато років очолював кафедру конструкцій з металу, дерева й пластмас та спеціалізовану вчену раду по захисту дисертацій. Був мудрим вихователем молоді, достойним прикладом для колег, багатогранно талановитою людиною, членом Спілок архітекторів і письменників України, автором багатьох художніх творів.*

***Ключові слова:** Леонід Іванович Стороженко, сталезалізобетонні конструкції, академік, професор, доктор технічних наук, архітектор, письменник.*

*Pichugin Sergei, DSc, Professor,  
ORCID: 0000-0001-8505-2130, e-mail: pichugin.sf@gmail.com  
National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic "*

## **LEONID IVANOVYCH STOROZHENKO IS AN EXCELLENT MULTIPLE MAN**

***Abstract.** Here there are brief notes on many years of collaboration with an outstanding scientist, professor, doctor of technical sciences, laureate of the State Prize of Ukraine in science and technology, academician of the Academy of Civil Engineering, Engineering and Mining Academies, Honored Worker of National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic" Founder of the scientific school "Reinforced concrete structures", he has trained more than 60 candidates and 7 doctors of technical sciences. For many years he headed the Department of Metal, Wood and Plastic Structures and a specialized scientific Council for the defense of dissertations. He was a wise educator of young people, a worthy example for colleagues, a multifaceted talented man, a member of the Union of Architects and Writers of Ukraine, author of many works of art.*

***Key words:** Leonid Ivanovich Storozhenko, reinforced concrete structures, academician, professor, doctor of technical sciences, architect, writer.*

У цих коротких замітках я спробував згадати деякі яскраві епізоди дружнього і незабутнього спілкування з Леонідом Івановичем Стороженком за довгі роки роботи біч-о-біч на одній кафедрі Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (раніше Полтавського інженерно-будівельного інституту).

Почну зі згадки про далеке літо 1982 року, коли я пройшов всі етапи відбору, закінчив 10-місячні курси французької мови при Київському університеті і готувався до виїзду на роботу за кордон. І в проміжку між курсами і виїздом мене (очевидно, як глибоко перевірену особу) включили в комісію по перевірці Криворізького гірничорудного інституту. Комісію з чотирьох перевіряючих очолював чиновник з Міністерства (прізвище я не пам'ятаю), їхали

на моєму «Москвичі». Якраз тоді я познайомився з Леонідом Івановичем, який був одним із керівників КГРІ, працював його проректором і контактував з комісією. Перевірка пройшла нормально, в пам'яті залишився суворий промисловий Кривий Ріг, розтягнутий на десятки кілометрів, і гігантські бездонні кар'єри відкритого добутку залізної руди.

Влітку 1986 року я повернувся в Полтаву після чотирирічної викладацької роботи у тропічній Африці, в місті Конакрі (Республіка Гвінея), в Університеті імені Гамаль Абдель Насера. І тоді знову зустрівся з Леонідом Івановичем, який переїхав у Полтаву і згодом став завідувачем кафедри конструкцій з металу, дерева і пластмас нашого інституту. З того часу ми працювали разом на протязі 35 років, і я дякую долі, що дозволила мені бути стільки років поруч з такою видатною, багатогранною людиною.

Ставши завідувачем кафедри КМДіП, він як доктор технічних наук підняв статус кафедри і при тому легко вписався у її колектив, де працювали доволі різні особистості, такі як поважні інститутські ветерани Микола Тимофійович Андрійко, Юрій Антонович Бедрицький, Петро Федорович Котлярів, так і молоді викладачі Георгій Валентинович Лупаєнко, Віктор Антонович Пашинський та інші. У Леоніда Івановича був рідкий талант керівника, який без тиску і адміністрування, м'яко і доброзичливо організовує роботу і направляє колектив на виконання численних і не завжди легких завдань. Він створив на кафедрі дружню атмосферу, на кафедрі за всі роки його керівництва не було ніяких конфліктів, викладачі із задоволенням приходили на роботу, з радістю виконували доручення завідувача кафедри, яка стала однією з кращих (можливо, кращою) кафедр інституту.

Леонід Іванович користувався беззаперечним авторитетом у керівництва і колег. Я вважаю, що це було, перш за все, тому, що він був насправді кращим в усьому, чим займався: він був кращим науковцем, викладачем, методистом, кращим керівником аспірантів і дипломників, кращим завідувачем кафедри, кращим головою ради по захистам дисертації тощо. Він був завзятим трудівником, який працював постійно на кафедрі, дома, у робочі і вихідні, у відпустках – в принципі так працюють всі викладачі – але, мабуть, Леонід Іванович працював більше, бо встиг зробити на подив багато. І показував своїм прикладом, як треба працювати. Був автором десятків монографій і багатьох сотень наукових статей. При тому був людиною чіткою і пунктуальною, все виконував вчасно і навіть достроково, ніколи і нікуди не запізнювався – я це у повній мірі оцінив, коли став завідувачем кафедри, добутки якої у великій мірі формувалися зусиллями саме Леоніда Івановича з учнями.

Професор Л.І. Стороженко переніс з Кривого Рогу авторитетну наукову школу «Сталезалізобетонні конструкції», єдину в Україні, яку розширив і суттєво розвинув в Полтаві. По цій тематиці під його керівництвом розгорнулися госпдоговірні і держбюджетні дослідження, розширилася аспірантура, стали виконуватися і захищатися кандидатські, а згодом і докторські дисертації. Спочатку це були криворізькі учні Леоніда Івановича, а потім потоком пішли полтавські аспіранти, які після захисту дисертацій поповнили кілька кафедр інституту. З часом на кафедрі нараховувалося до 12 аспірантів одночасно. Всього під керівництвом професора Л.І. Стороженка було захищено більше 60 кандидатських і 7 докторських дисертацій, автори яких назавжди зберегли відчуття подяки до свого керівника. Я завжди дивувався і по-хорошому заздрив Леоніду Івановичу, в якого практично всі аспіранти захищали дисертації вчасно. Я знав, що це було завдяки його батьківському піклуванню про кожного аспіранта, якому він чітко планував і постійно контролював роботу по принципу: «Ні дня без сторінки тексту!» (дійсно, якщо писати всього по сторінці у день, за рік набереться том приблизно у 400 сторінок!).

У 80-ті роки минулого століття у Полтавському інженерно-будівельному інституті було всього два доктори технічних наук: Михайло Степанович Торяник і Олександр Ніконович Могилат. З приїздом з Кривого Рогу докторів технічних наук Л.І. Стороженка і В.О. Пахомова, в 1990 році в житті інституту відбулася насправді історична подія – була відкрита рада по захисту кандидатських дисертацій! Це була нелегка справа, цим займалося

керівництво інституту, але треба було ще пробити це питання в московських інстанціях, і Леонід Іванович приклав багато зусиль для організації ради, використавши зв'язки з бувшим своїм дипломником В.М. Горпинченком, який став директором ЦННІБК у Москві. Раду очолив О.Н. Могилат, а після нього з 2006 року до кінця життя, тобто 15 років, радою мудро і майстерно керував Л.І. Стороженко. У перші роки свого існування це була єдина рада по будівельних конструкціях у східному регіоні України, до неї були запрошені авторитетні доктори наук з інших міст. Серед них виділялися енциклопедист Олександр Львович Шагін (Харківський інженерно-будівельний інститут) та співак і художник Леонід Миколайович Фомиця (Сумський аграрний інститут). Всього у нашій раді успішно (без ніяких зауважень) було захищено більше 250 кандидатських і докторських дисертацій. Я можу багато що розповісти про славу історію нашої ради, оскільки був її членом з першого до останнього дня, але для цього потрібен більший формат, ніж коротка теза. Підкреслю тільки, що вже не було потрібно аспірантам важко їздити в інші міста для захисту дисертацій, бо відкриття власної ради і доброзичливе відношення її керівництва і членів ради створили для них насправді комфортні умови для захисту. На жаль, не всі аспіранти, особливо теперішні, розуміють і цінують це.

Згадуються яскраві моменти сумісних поїздок на наукові конференції, які прикрашали і оживляли викладацькі будні. Наукові виступи Леоніда Івановича були завжди авторитетними, аргументованими, чітко і логічно побудованими, вони викликали великий інтерес учасників і ініціювали жваве обговорення. У 1994-95 роках ми з Леонідом Івановичем їздили у Польщу на щорічні всепольські будівельні конференції. Часи були скрутні, і такі поїздки стали можливим тільки завдяки люб'язності організаторів, які звільнили нас від оплати за участь і перебування у шикарному санаторії. Конференції традиційно проходили у містечку Криниця, спа-курорті у передгір'ях Карпат. Були незабутні прогулянки по околицях курорту, спілкування з професорами А.Я. Барашиковим (КІБІ) і О.Л. Шагіним (вони теж опинилися тут) та польськими колегами професором В. Муржевським і моїм добрим знайомим Єржі Журанським. Повертаючись додому, ми заїхали у Краків і повною мірою оцінили його величну красу. У 2004 році ми були разом на конференції по сейсмостійкому будівництву, яка проходила в Ялті (Крим) у будинку відпочинку «Актор», розміщеному по дорозі від Ялти до Масандри. Запамятали ранкові кофіювання на самому морському березі, неспішні бесіди і спогади з участю нашого спільного друга Анатолія Вікторовича Перельмутера, теж учасника конференції. Разом ми приймали участь у традиційних Всеукраїнських конференціях по металевим конструкціям. У 2000 році така конференція проходила у Дніпропетровську, на базі заводу металоконструкцій імені Бабушкіна, який ми відвідали вже не перший раз, а також побачили новий міст через Дніпро. В 2004 році аналогічна конференція проходила у Києві, у Міжнародному виставковому центрі біля станції метро «Лівобережна». Конференція пройшла традиційно – офіційна частина, доповіді, банкет – за винятком того, що А.В. Перельмутер розгромив у пух і прах (як він це добре вміє) роботу львівського доцента М.В. Гоголя. Я згадав про це тому, що той же Гоголь через 15 років успішно захистив докторську дисертацію у нашій раді, не без допомоги керівництва ради.

Важливим і незабутнім етапом нашої дружньої співпраці була робота (а по суті – справжня епопея!) по одержанню Державної премії України в галузі науки і техніки за роботу «Високоєфективні технології та комплексні конструкції в промисловому й цивільному будівництві». Був створений потужний колектив, об'єднавши відомі наукові школи механізації виготовлення і спорудження комплексних конструкцій (керівники професори Олександр Григорович Онищенко і Інга Анатоліївна Ємельянова з ХІБІ), дослідження і розрахунку комплексних конструкцій (керівник професор Леонід Іванович Стороженко), надійності будівельних та комплексних конструкцій (керівники професори Сергій Федорович Пічугін і Олександр Владимирович Семко), економіки, організації та управління створенням і впровадженням нових комплексних конструкцій (керівник ректор

інституту професор Володимир Олександрович Онищенко, який об'єднав і очолив творчий колектив та впевнено привів його до перемоги). Треба визначити, що на протязі трьох років йшла постійна доробка і доповнення комплексної роботи, були випущені три монографії по її тематиці та точилася справжня боротьба з іншими претендентами на премію, в якій застосувалися не тільки прийоми коректної наукової дискусії. З третьої спроби ми перемогли і стали в 2011 році лауреатами Державної премії України – вищої державної нагороди в галузі науки і техніки. Премію нам вручали в урочистій обстановці в клубі Кабінету Міністрів на Печерську в присутності Президента Академії наук України Бориса Євгеновича Патона та керівних осіб держави (прізвища яких зараз незручно згадувати). Неможливо передати, які радісні почуття переповняли нас, коли після цього ми поверталися зимовою дорогою з Києва до Полтави. Ще довго нам було багато поздоровлень від численних друзів і знайомих. Згодом до Державної премії Леоніду Івановичу добавилася довічна Президентська стипендія видатним діячам науки.

Ми не зразу зрозуміли, настільки багатогранною творчою особистістю був наш Леонід Іванович. Висококваліфікований професіонал-будівельник, він був академіком Академії будівництва, Гірничої та Інженерної Академії і до того ж – членом Спілки архітекторів України. Але це ще не все – він був, можна сказати, професійним письменником, членом Спілки письменників України, лауреатом обласної премії І.П. Котляревського. На його творчому гатунку оповідання, збірки п'єс (які ставились на сцені КГРІ і планувалися по постановки у професійному Полтавському театрі), фантастичний роман «Санктикум» і роман-епопея у чотирьох частинах «По битій дорозі». Саме з неї, а також із спогадів самого Леоніда Івановича ми взнали, який нелегкий життєвий шлях він пройшов: дитинство у селі на Черкащині, голодомор, німецька окупація, голоднувате студентське життя у київському технікумі, навчання у Московському інституті інженерів залізничного транспорту (МІПТі) і згодом аспірантура, викладацька робота, захисти дисертацій... Одним словом, він повністю відповідає почесному визначенню «Self-made man» – людини, що створила себе самого.

За довгі роки спілкування з Леонідом Івановичем всі ми навчилися багато чому від нього, але для себе я хочу виділити найважливіший його урок: «Не перейматися!», тобто не зациклюватися на життєвих неприємних дрібницях, які минають, бачити головне, виділяти позитивні моменти, відхиляти від свідомості негатив, бути завжди у доброму настрої – саме таким він був на протязі свого довгого життя.

УДК 82-31+82-2

*Шарий Григорій, д.е.н., професор,  
ORCID: 0000-0002-9073-5355, e-mail: shariy.grigoriy61@gmail.com  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

### «КОЛЮЧІ ЗЕРНА» ЛЕОНІДА СТОРОЖЕНКА

*Анотація.* Подана характеристика та проаналізовано творчу спадщину письменника Леоніда Стороженка. Романи, повісті і п'єси автора формують цілісний творчий доробок, який вирізняється високою художньою цінністю, мовно-образотворчою красою та пропагує морально-етичні цінності суспільства.

*Ключові слова:* письменник Леонід Стороженко, літературний спадок, драматургія, мораль, етика, виховання, громадський обов'язок.

*Sharyi Grygorii, Dr. Sci. (Econ.), Professor,  
ORCID: 0000-0002-9073-5355, e-mail: shariy.grigoriy61@gmail.com  
National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

### "КОЛЮЧІ ЗЕРНА" BY LEONID STOROZHENKO

*Abstract.* The description and analysis of the creative heritage of the writer Leonid Storozhenko are given. The author's novels and short stories is holistic creative work, which characterized by high artistic value, linguistic and artistic beauty and promotes the moral and ethical values of society.

*Keywords:* Storozhenko L.I., writer Leonid Storozhenko, literary heritage, drama, morals, ethics, education, public duty.

Леонід Іванович Стороженко залишив нащадкам неоцінений творчий літературний спадок.

Відомий у творчому світі автор п'єс, романів, повістей і оповідань, Леонід Іванович, будучи членом Національної спілки письменників України став лауреатом Полтавської обласної премії імені І.П. Котляревського.

Мальовниче село Медведівка, Чигиринського району, Черкаської області було живильним джерелом, яке переросло в творчу ріку талановитого автора.

Селянський син Черкаської землі, що народився поряд з селом Тараса Шевченка ввібрав найкращі першоджерела народної творчості і мав кращі риси громадянина своєї епохи.

Людяність і любов до людини, доброта і глибока справедливість та вимогливість до себе і ближніх, це життєве кредо і автора і його героїв.

Літературна діяльність Леоніда Стороженка розпочалася починаючи зі складних часів 50-х років минулого століття аж до становлення незалежної України та сягнула сучасності.

Середина, кінець ХХ ст. і початок ХХІ скрутний і суперечливий період у суспільно-політичному житті українського народу, але поживавлення культурно-мистецького життя в повоєнні, а особливо в 50-ті та 60-ті роки минулого століття народило рух письменників і поетів шестидесятників. В плеяді яких і з'явився талановитий письменник Леонід Стороженко.

Образність та глибока функціональна завантаженість, новизна і неординарність героїв творів молодого автора вразила в далекі 50-ті роки головного редактора журналу «Юність» Валентина Катаєва. Журнал «Юність» у 1955 році вперше побачив світ.

Головний редактор Валентин Катаєв навіть замовив у Леоніда Стороженка повість, визначеної соціально-значимої тематики. Адже, журнал був офіційним органом Союзу письменників СРСР.

Журнал «Юність» в 60-80-ті роки, був яскравий і читабельний, тираж зріс з 150 тис. в 1955 році до 1 млн в 1970 р. Літературні журнали і сцени театрів того часу, були, як віконце в новий, незвіданий світ, і одним з першовідкривачів цих світів для читача був і наш тоді молодий двадцятирічний письменник Леонід Стороженко. Художня правда творів Стороженка вражає, чому Катаєв, на мою думку, і не опублікував подані твори автора у 1959 році.

В тодішньому світі регламентованих цінностей, коли всі жили по писаному закону, я особисто, знайшов у перших творах автора, починаючи з п'єси «Одарочки» 1953 року, тему неспокою, внутрішньої одноосібності живої та щирої людини у світі, коли всі ходили строем. Герой п'єси Мишко говорить правдиво: «Розбили нашу частину. І касу полкову розбили. Йдемо степом, а кругом гроші, гроші... Танки пішли, літаки... А кругом гроші!».

– «Я певен, що у радянської влади у нашій країні ворогів нема. Я певен, що нема. Всіх видавили...» [1].

В п'єсі «Одарочка», особливо колоритно та незвично правдиво, сміливо виписані сцени Українського села! Соціальна драма 1941 року, події війни, але детальні факти тодішнього геноциду українського народу – розкуркулювання. Чого коштує: сміливий вислів матері героїні Одарочки:

– «Все відібрали, а потім з хати вигнали. Зимою на сніг. Ви малі були!». І факти звірячого ставлення фашистів до партизан-патріотів. Одарочка гине від катів, але живе духовно серед нас.

Повість, яку написав Леонід Стороженко не була опублікована, адже тодішні цензурні стереотипи не дозволяли в ті часи навіть ноти на лібералізм. Валентина Катаєва вже в 1961 році звільнили за публікацію роману «Зоряний квиток» Василя Аксенова. Журнал «Юність» теж називали лабораторією фантастики. І фантастичний ліричний роман «Сантікум» Леоніда Стороженка доповнює ряди кращих творів свого часу.

Незглибиме творче ремесло, як головний пріоритет творчості письменника, драматурга, Леоніду Івановичу притаманне з перших творів. Автора вирізняла глибока мовно-образотворча краса мовлення героїв п'єс, повістей, романів і оповідань.

Надвисока художньо-мовленна майстерність автора прошиває всі, без виключення твори, дещо наївно-романтичних, на перший погляд зовніх форм, але це тільки перший огляд. Кулісна поверхня, за якою криється глибоко-підтекстна сутність, образність, висока етична якість і глибока інформативність образів.

Фантастичний ліричний роман у трьох частинах «Сантікум» поєднав у собі: і велике кохання, і заздрість і будні та шпигунські пристрасті Максима, крах ілюзій, але провідна лінія роману звучить – Життя продовжується! [2]

Роман «Сантікум» двічі публікувався у «Полтавському літераторі» в 2001 і 2012 роках.

Леонід Стороженко ще у 1998 видав збірку п'єс «Час жайворонків», в якій опубліковані п'єси, які в 50-х і 80-х йшли на сценах Москви та Кривого Рогу.

У п'єсі «Час жайворонків», описані сцени 80-х років, мовою героїв автор передає свою позицію до політики тих часів, до керівної ролі партії, псевдодемократизму, вірить, що загальнолюдські цінності найважливіші. Героїня Катерина в кінці говорить сину: «Зупинись Петю! ... Все життя ти будеш добиватися все більшої влади... і все мало... і пропадеш тому, що не можна вдовольняти свою пиху за рахунок інших» [1, с.105].

Дійсно, на перший погляд, за побутовими сценами, криється глибокий соціально-психологічний драматизм подій, і буденність і адміністративний тиск, і висока експлуатація працюючих робітників і зневага до сільського побуту. Але стійкість, висока відповідальність,

етична сила і моральна чистота героїв долають труднощі. Перемагає людяність і правда життя, ісконні цінності нашого народу!

На батьківщині у Черкасах у 2006 році вийшла також знакова збірка п'єс «Колючі зерна». П'єси ставив самодільний театр «Глобус» у 1984-86 роках у Криворізькому гірничнорудному інституті. У творах письменника на першому плані також високі моральні цінності, морально-етичні питання життя, які ставить і розв'язує автор [3].

У п'єсі «Драма для обраних» переплетені події буденного життя 1941-го – і 1980 років, де одночасно існують і герої і їх нащадки. Їхні вчинки несуть великий, але дуже морально етичний підтекст. Слова проректора звучать мов сьогодні: «Меч нової ще страшнішої війни занесено над нами... Не допустити нової війни... Ми перемогли тому, що всі встали на боротьбу з фашизмом... Таким бастіоном, морально не зломленим фашистами був той (студентський) загін.» [3,33].

Головний герой в п'єсі «Колючі зерна» говорить:

«Бо коли я горіть не буду,  
І коли ти горіть не будеш,  
І коли ми горіть не будем  
То хто ж тоді розвіє тьму?» [3,73].

У п'єсах «Пробний шлюб» та «Аспіранти», просліджується драматургічна школа Назима Хікмета Рана, турецького поета, драматурга, лауреата міжнародної премії Миру який жив у п'ятдесяті і творив у Москві і вів драматичні гуртки, в яких брав участь Леонід Стороженко.

Повторюсь, безумовно жорстка того часу цензура не могла допустити твори нашого автора на широкий загал. До речі, автор п'єс був одночасно і художнім керівником самодільного театру «Глобус», і безпосередньо зіграв ролі проректора в «Драмі для обраних» та «Сизоненка» в «Колючих зернах».

У 2012 році автор видає збірку п'єс «Збирати каміння», в яку ввійшли п'єси «Ніч після вбивства», «Поперечно-напружені», «Збирати каміння», «Драма для обраних», «На круги своя».

У творах не тільки долі героїв, часто гіркі і трагічні, але і протиріччя притаманні суспільству в другій половині двадцятого століття, які не втараються актуальності і зараз, і не втрачуть через віки.

Наприклад, у п'єсі «Попередньо-напружені» виписано яскраве студентсько-викладацьке середовище в деканаті: анонімка, партком, комісія, кохання, особисті взаємини, секретарка, дружина, декан...., але перемога морально-етичних цінностей прошиває нитками кожну сцену, кожну дію творів. Цитата з монологу: «Може життя тим і прекрасне, що у кожного воно своє, особливе. Думайте самі, як вам бути у світі! Звичайно ж, мені хочеться, щоб на тому місці, яке ви посядете в житті, ви приносили тільки радість, щоб бути корисними людям...» [1,199].

Леонід Стороженко у 2012 році видає автобіографічний роман-тетралогію. «По битій дорозі» [4].

В якому виписана доля трьох хлопчиків, сучасників автора. Роман автобіографічний, але доля автора втілена одночасно у долі трьох героїв, дещо протилежних по характеру, але які формують цілісно стійку морально-етичну міцну особистість.

Дивовижно цілісна і переплетена низка подій відображують роки прожиті автором: голодомор, війна, нелегкі повоєнні роки, відбудова, 70, 80, 90- роки і наше століття.

Пейзажна лірика в текстах розкриває глибоку любов автора до природи рідного краю! «Понад Тасмином, і за ярами, за широким ставом туляться сільські кутки...» [4, с.4].

А подані в романі картини колективізації, окремі сцени де описані уламки розбитого позолоченого вівтаря біля церкви, скинутий з дзвіниці великий дзвін доповнюють картини народної біди тих часів.



«Село просувалося до небаченого голоду, але нічого не могло вдіяти...» – пише автор [4, с.5].

«Монастирі і храми рушили, а деревину тягли на корівники і конюшні, щоб устигнути до зими побудувати колгоспні двори,» – такий гіркий початок роману.....

В кінці твору, читаємо:

– «... вірилося, що увійдуть сюди молоді чоловіки з сильними руками і гострими сокирами і відновлять храм!»

Три сюжетні лінії тетралогії описують і підсумки життєвого шляху трьох друзів: відомий вчений, драматург і будівельник, як і у реальному житті.

Не діждали і не знайшли свого читача ще багато творів письменника. Деякі з них, зараз у друці, це:

Оповідання:

«Бережись борсуче», «Засіяна земля», «Конкурс чоловічої краси», «Під моїми каштанами», «Три зірки в небі», «Космос», «Любовь и салфетки», «Легенда», «Рублі», «Рука матері», «Шепсі».

Повісті:

«Дванадцять», «Хочу щоб ти був щасливий».

П'єси:

«Авантюрний роман», «Дискотека», «Любовь на краю світу», «Монологи в залікову сесію», «Поезія в дощ», «Спасіть, грабують», «Тринадцята драма».

Оригінальність творчої манери письменника та її унікальність, відмічається багатьма колегами по перу. У творах постійно знаходимо художні відкриття!

І за кожною сценою нас чекає інтрига!

В духовному житті суспільства літературно-художні твори Леоніда Стороженка виконують і будуть виконувати найголовнішу морально-естетичну функцію, коли твори формують соціальну цілісну картину суспільних і моральних цінностей!

Автор ніде не поступається і не лукавить, не пристосовується і не «заграє» перед часом.

Фантазія творця захоплює, але ставить на дорогу реальності і актуальності проблеми. Духовна творчість Леоніда Івановича ще не оцінена сучасниками, вони ще не виростили до рівня генія слова, адже людино- і націо- творчий потенціал творів настільки масштабні, що тільки вчитуючись з часом і можна пізнавати сенс творів та їх роль у вихованні і житті суспільства!

Леонід Іванович ввібрав у свою долю стільки набутого, що достатньо на декілька життів, а не на одне!

Це доля відомого світу вченого, відомого письменника і адміністратора – освітянина-учителя з великої літери, який дав світу 65 кандидатів і 8 докторів наук. А під його головуванням діяльності спецради народилося більше 300 вчених. Честь і хвала вдячних нащадків, пам'ять і наслідування надбання і спадщини Леоніда Івановича йтимуть через віки!

### *Література*

1. Стороженко Л.І. Збирати каміння. Вибрані драми. – Полтава: Видавець Шевченко Р.В., 2012. – 424 с.
2. Стороженко Л.І. Сантікум. Фантастичний роман. – Полтава: Видавець Шевченко Р.В., 2012. – 188 с.
3. Стороженко Л.І. Колючі зерна. – Черкаси: Видавець Чабаненко Ю.А., 2006. – 142 с.
4. Стороженко Л.І. По битій дорозі. Роман. – Полтава: Видавець: с. 82 Видавець Шевченко Р.В., 2012. – 468 с.

**Наукове видання**

**Комплексні композитні конструкції будівель  
та споруд в умовах воєнного стану (CSCS-2022)**

Збірник наукових праць  
за матеріалами XIV Міжнародної  
науково-технічної конференції

Редакційна колегія:

**С.Ф.Пічугін, докт. техн. наук, проф.**  
**О.В.Семко, докт. техн. наук, проф.**  
**Є.М.Бабич, докт. техн. наук, проф.**  
**А.М.Бамбура, докт. техн. наук, проф.**  
**О.І. Лапенко, докт. техн. наук, проф.**  
**Д.А.Єрмоленко, докт. техн. наук, проф.**  
**Є.В. Клименко, докт. техн. наук, проф.**  
**Ю.Л. Винников, докт. техн. наук, проф.**  
**Г.І. Шарий, докт. економ. наук, проф.**

*Комп'ютерна верстка:*  
*Гасенко А.В., Магас Н.М.*

Видавництво:  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
пр. Першотравневий, 24, м. Полтава, 36011, Україна



