

V МІЖНАРОДНА
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ

**БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ
СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ:
СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ ТА
КОНСТРУКЦІЇ**

РОБОЧА ПРОГРАМА ТА ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

М. КИЇВ
14-16 ТРАВНЯ
2025





МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

DOI: <https://doi.org/10.59647/978-617-8633-07-3/1>

РОБОЧА ПРОГРАМА ТА ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

V МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

ПРИСВЯЧЕНА 95 - Й РІЧНИЦІ ЗАСНУВАННЯ
КНУБА І КАФЕДРИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
ТА КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ

БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ: СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ ТА КОНСТРУКЦІЇ

14-16 травня 2025 року

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Україна, м. Київ, Проспект Повітряних сил, 31

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

КОНФЕРЕНЦІЯ ВІДБУДЕТЬСЯ ЗА УЧАСТІ

Міністерство освіти і науки України,
Міністерство оборони України,
Академія будівництва України.

НАУКОВИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Олексій ДНІПРОВ (ректор) - Україна
Олександр ЖУРАВСЬКИЙ (голова) - Україна

Талят АЗІЗОВ – Україна
Олександр АНДРІЙЧУК - Україна
Андрій БАМБУРА – Україна
Марія БАРАБАШ – Україна
Сергій БІЛИК – Україна
Зиновій БЛІХАРСЬКИЙ - Україна
Bohdan DEMCHYNA - Poland
Ісаак ЄВЗЕРОВ - Україна
Григорій ІВАНЧЕНКО – Україна
Johni GIGINEISHVILI - Georgia
Krzysztof GROMYSZ - Poland
Roman KINASZ - Poland
Юлій КЛИМОВ - Україна
Євген КЛИМЕНКО - Україна
Олександр КОВАЛЬЧУК - Україна
Віра КОЛЯКОВА - Україна

Володимир КРІПАК - Україна
Едуард КРИКСУНОВ – Україна
Петро КУЛІКОВ – Україна
Петро ЛІЗУНОВ - Україна
Андрій МАЗУРАК - Україна
Тетяна НІКІФОРОВА - Україна
Андрій ПАВЛІКОВ - Україна
Анатолій ПЕРЕЛЬМУТЕР - Україна
Віталій ПЛОСКИЙ - Україна
Volodymyr POPOV - Lithuania
Микола САВИЦЬКИЙ – Україна
Sergiy FIALKO - Poland
Сергій ФІЛІПЧУК - Україна
Роман ХМІЛЬ - Україна
Олексій ШКУРАТОВ - Україна
Peter STEMBERK - Czech Republic

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського будівництва і архітектури, протокол № 32 від 25.04.2025р.

В авторській редакції (редколегія не несе відповідальності за зміст матеріалів конференції)

V Міжнародна науково-практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: матеріали та конструкції». Головний редактор: О.Д.Журавський К.:КНУБА, 2025. 256 с.

ISBN 978-617-8633-26-4 (Online)

ISBN 978-617-8633-07-3 (Print)

МЕТА КОНФЕРЕНЦІЇ

Системне дослідження проблем проектування, розрахунку та експлуатації будівель та споруд спеціального призначення

МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ КОНФЕРЕНЦІЇ

Київ Київський національний університет будівництва і архітектури
проспект Повітряних сил, 31, а.466.

Конференція буде проведена у змішаному форматі

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦІЇ

- Сучасні будівельні матеріали та технології для будівель спеціального призначення.
- Методи розрахунків будівель та споруд.
- Експериментальні дослідження конструкцій для будівель та споруд спеціального призначення.
- Проектування будівель та споруд спеціального призначення.
- Технічний стан, реконструкція та підсилення будівель та споруд.
- Панельна дискусія: Комп'ютерне моделювання конструкцій будівель і споруд спеціального призначення.

ЕКСПОЗИЦІЙНА ПРОГРАМА

Під час проведення конференції бажаним учасникам надається можливість для презентації науково-технічних розробок з будівель і споруд спеціального призначення, новітніх будівельних матеріалів та виробів, науково-методичних праць та рекламно-інформаційних друкованих матеріалів за попередньою домовленістю із організаційним комітетом.

ПУБЛІКАЦІЇ

За результатами конференції, кращім роботам буде запропоновано опублікувати наукові праці в 16 випуску Збірника наукових праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика».

До збірника увійдуть статті, що будуть подані і відповідають усім вимогам до оформлення, містять наукову і практичну новизну. З правилами подачі та оформлення статей можна ознайомитись на [сайті](#) збірника.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Олександр КОВАЛЬЧУК (голова)

Віра КОЛЯКОВА (заступник голови, керівник технічного комітету)

Леонід СКОРУК
Олег ФЕСЕНКО
Дмитро ЖУРАВСЬКИЙ
Олександр ПОВАЖНЮК
Григорій ВОЙЦЕХІВСЬКИЙ

Тетяна ВЕКСЛЯРСЬКА
Вікторія ШОВКІВСЬКА
Дарія БАРАНЕЦЬКА
Олена БОЙЧЕНКО

ПАРТНЕРИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Оргкомітет висловлює щиро подяку:



РЕГЛАМЕНТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Захід	Дата	Час проведення	Посилання
Ресстрація	14.05.2025	09:00-10:00	Заресструватись
Conference participant registration	14.05.2025	09:00-10:00	Application for Participation
Відкриття конференції			
Пленарне засідання <i>a.466</i>	14.05.2025	10:00-13:00	Приєднатись до конференції
Секція 1, 2 <i>a.466</i>			
Будівельні конструкції та технології	14.05.2025	14:00-18:00	Приєднатись до конференції
Сучасні будівельні матеріали	14.05.2025	14:00-18:00	
Секція 3 <i>a.466</i>			
Комп'ютерне моделювання конструкцій будівель і споруд спеціального призначення	15.05.2025	10:00-13:00	Приєднатись до конференції
Закриття конференції.			
Засідання наукового комітету	16.05.2025	11.00-15.00	

Тривалість виступів:

Пленарні - до 15 хв.

Секційні – до 10 хв.

КОНТАКТИ

Секція 1.

Секція 2.

Секція 3.

З фінансових питань

Віра Колякова

067 509-06-05

Вікторія Шовківська

066 460-00-01

e-mail: knubazbk@gmail.com

РОБОЧА ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ

РЕЄСТРАЦІЯ УЧАСНИКІВ

<https://forms.gle/fYhyS91pRiLw2kEN7>

ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

[Прислатись до конференції](#)

14 травня 2025 р.

9:00 – Реєстрація учасників

10:00 – Відкриття конференції, перше пленарне засідання

13:00 – Перерва

Тривалість виступів - до 15 хв.

1. Вітальне слово ректора КНУБА

д.ю.н Дніпров О.С.

2. Вітальне слово Голови організаційного комітету, проректора з наукової роботи та інноваційного розвитку КНУБА.

с.н.с. Ковальчук О.Ю.

3. Вітальне слово Президента академії будівництва України

проф. Назаренко І.І.

4. *Структура* ОПП "Оптимальне проєктування, будівництво та безпечна експлуатація об'єктів критичної інфраструктури"

проф. Плоский В.О., проф. Скочко В.І.

5. Розвиток державної концепції «Країна-Фортеця»

доц. Білик А.С., проф. Білик С.І.

6. Історичний огляд фортифікаційних і захисних споруд

проф. Михайловський Д.В.

7. Можливості SikaCarboDur Software при розрахунках посилень будівельних конструкцій

доц. Панченко О.В., доц. Собко Ю.М. (КНУБА, НУ «Львівська політехніка»)

8. Моделювання зміни напружено-деформованого стану конструкцій протягом життєвого циклу в програмному забезпеченні LIRA-FEM

проф. Барабаш М.С., PhD. Башинський О.В. (ТОВ ЛІРА САПР, КНУБА)

9. SCAD Office - Інтегрована система аналізу конструкцій. Сучасний стан і напрямки розвитку

канд. техн. наук Криксунов Е.З., (НВ ТОВ «СКАД Софт»).

10. ПК ЛІРА 10.14: надійний інструмент у проєктуванні будівельних конструкцій та споруд,

Марченко Д, Група компаній ЛІРА, ТОВ «ЛІРА софт»

11. Сучасні тенденції в галузі будівництва із залізобетону.

Тромса Ю. (ТОВ "ПЕЙККО УКРАЇНА")

СЕКЦІЯ 1

«БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»

Прислунатись до конференції

14 травня 2025 р.

14:00 – Секційне засідання

Тривалість виступів - до 10 хв.

1. Міцність стиснутих залізобетонних елементів при непрямому армуванні зварними сітками

Юлій Клімов, докт. техн. наук, професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА).

2. Особливості підсилення згинальних залізобетонних елементів з використанням попередньо-напруженої композитної арматури

Андрій Бамбура, докт. техн. наук, професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА);

Дмитро Журавський, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА).

3. Комбіновані склопластикові елементи, армовані композитними стрічками

Олександр Журавський, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА);

Олександр Поважнюк, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА).

4. Розрахунок похилих перерізів залізобетонних балок з використанням деформаційного методу

Олександр Журавський, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА);

Андрій Бамбура, докт. техн. наук, професор, завідувач відділом надійності конструкцій будівель і споруд, (НДІБК);

Георгій Войцехівський, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА).

5. Суцільні залізобетонні плитні та комбіновані плитно-пальові фундаменти: особливості та перспективи застосування

Володимир Кріпак, канд. техн. наук, професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій (КНУБА);

6. Нормування застосування металевої арматури періодичного профілю в конструкціях мостів та труб. Зміна № 1 ДБН В.2.3-14:2006

Ігор Бабяк, канд. техн. наук, с. н. с., завідувач відділу надійності конструкцій будівель і споруд, ДП «Національний інститут розвитку інфраструктури».

7. Монолітні несучі горизонтальні залізобетонні конструкції як основний елемент системи забезпечення клімату будинку

Володимир Брунько, керівник відділу, КиївЗНДІЕП

8. Деформаційні характеристики масивної, клесної та перехресно-клесної деревини: експериментальні дослідження та чисельне моделювання

Сергій Білик, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри металевих та дерев'яних конструкцій; (КНУБА);

Дмитро Бітюков, аспірант кафедри металевих та дерев'яних конструкцій; (КНУБА).

9. Моделювання дії ударно-вибухових впливів на комбіновані перекриття

Микита Біляєв, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій (КНУБА);

Сергій Білик, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри металевих і дерев'яних конструкцій (КНУБА).

10. Особливості застосування комп'ютерних методів при визначенні жорсткості сталевих вузлів

Вячеслав Адаменко, канд. техн. наук, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, (КНУБА);

Олег Романишен, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, (КНУБА);

11. Досвід використання ПК SCAD при проектуванні споруд подвійного призначення

Максим Вабіщевич, докт. техн. наук, професор кафедри будівельної механіки, (КНУБА);

Ігор Фесун, аспірант кафедри будівельної механіки; (КНУБА);

Дмитро Лукашевич, аспірант кафедри будівельної механіки; (КНУБА).

12. Температурні моделі розвитку пожеж промислових будівель для оцінки вогнестійкості конструкцій

Тарас Шналь, докт. техн. наук, професор кафедри будівельних конструкцій та мостів, (НУ «Львівська політехніка»)

Ігор Мацик, аспірант кафедри будівельних конструкцій та мостів, (НУ «Львівська політехніка»).

13. Вплив конструкційно-технологічних рішень захисного огороження ядерного реактора AP1000 на організацію будівельних процесів

Кароль Скіба, магістер, аспірант; Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця (м. Краків, Польща)

Роман Кінаш, професор, д.техн.наук, Факультет цивільної інженерії та управління ресурсами, Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця (м. Краків, Польща).

14. Експериментальне дослідження залізобетонних балок за допомогою цифрової зображень

Зіновій Бліхарський, докт. техн. наук, професор кафедри будівельних конструкцій та мостів (НУ «Львівська політехніка»);

Назарій Михалевський, аспірант кафедри будівельних конструкцій та мостів, (НУ «Львівська політехніка»).

Павло Вегера, кандидат. техн. наук, доцент кафедри будівельних конструкцій та мостів, (НУ «Львівська політехніка»).

<https://orcid.org/0000-0002-3437-1825>

15. Методика проведення експериментальних досліджень підсилення монолітних залізобетонних конструкцій з використанням попередньо напружених арматурних канатів

Дмитро Сморгалов, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА);

Володимир Винокур, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА).

16. Дослідження стійкості оболонки мінімальної поверхні на трапецевидному контурі з урахуванням геометричної нелінійності при термосиловому навантаженню.

Григорій Іванченко, докт. техн. наук, професор кафедри будівельної механіки, (КНУБА);

Олександр Кошевий, доктор філософії, доцент кафедри теоретичної механіки, (КНУБА).

17. Проблеми довговічності кам'яного цоколю будівель і споруд

Сергій Волков, доктор філософії, ст. викл. кафедри промислового цивільного та міського будівництва, (КНУБА);

Олександр Єрьоменко, канд. техн. наук, доц. кафедри промислового цивільного та міського будівництва, (КНУБА);

18. Дослідження теплових властивостей вентиляованих фасадів

Олена Олексієнко, канд. техн. наук, директор розвитку бізнесу (Lab-Consulting)

19. Використання збірних залізобетонних конструкцій в багатоповерхових каркасних вибухостійких будівлях

Галина Гетун, канд. техн. наук, професор кафедри архітектурних конструкцій, (КНУБА);

Ірина Безклубенко, канд. техн. наук, доцент кафедри ІТППМ, (КНУБА);

Андрій Соломін, канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри біобезпеки і здоров'я людини, (НТУ України КПІ ім. Ігоря Сікорського).

20. Особливості моделювання болтових з'єднань тонкостінних сталевих елементів в задачах модального аналізу

Олег Дедов, доктор технічних наук, професор кафедри машин і обладнання технологічних процесів, (КНУБА);

Дмитро Савчук, аспірант кафедри будівельної механіки, (КНУБА);

Сергій Новіков, аспірант кафедри будівельної механіки, (КНУБА).

21. Впровадження рішень з болтовим з'єднанням для залізобетонних конструкцій
Леонід Скорук, канд. техн. наук, доц. кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА);

Олександр Паливода, канд. техн. наук, інженер, (ТОВ "ПЕЙККО УКРАЇНА")

22. Збірно-монолітні конструкції для будівництва спеціальних споруд із захисту населення

Микола Доброхлоп, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, Заслужений будівельник України, (КНУБА);

Василь Бачинський, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, Заслужений будівельник України, (КНУБА).

23. Раціональні конструкції сталевих ферм із паралельними поясами з урахуванням дії зосередженого імпульсного навантаження

Артем Білик, канд. техн. наук, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, (КНУБА);

Максим Терновий, асистент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, (КНУБА).

24. Оцінка впливу імпульсного навантаження спричиненого вибухом та ударом на заглиблені захисні споруди та ґрунтове середовище

Віктор Носенко, канд. техн. наук, завідувач кафедри геотехніки, (КНУБА);

Дмитро Нечипоренко, аспірант кафедри геотехніки, (КНУБА).

25. Методика випробування двошарнірних залізобетонних рам

Сергій Філіпчук, д.т.н., професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, (НУВГП);

Олександр Собіцанський, аспірант кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, (НУВГП);

Юрій Ковальчук, старший викладач кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд (НУВГП).

26. Аналіз впливу способів моделювання основи плитних фундаментів на розподіл напружень і деформацій у конструкціях будівель

Олександр Гаврилюк, асистент кафедри геотехніки, (КНУБА);

Вероніка Жук, канд. техн. наук, доцент кафедри геотехніки, (КНУБА);

Остап Кашиода, PhD, доцент кафедри геотехніки, (КНУБА).

27. Динамічна поведінка висотної будівлі, розташованої поблизу руху залізничного транспорту

Ольга Лук'яненко, доктор техн.наук, професор кафедри будівельної механіки, (КНУБА);

Андрій Козак, канд.техн.наук, доцент кафедри будівельної механіки, (КНУБА);

Денис Костін, аспірант кафедри будівельної механіки (КНУБА).

28. Ескізне формування дискретних оболонок споруд спеціального призначення, що перебувають під впливом зовнішніх комбінованих впливів

Віталій Плоский, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри архітектурних конструкцій, (КНУБА);

Роман Пасько, PhD, докторант, кафедра архітектурних конструкцій, (КНУБА) ;

Олександр Іщук, здобувач, (КНУБА).

29. Порівняльний аналіз розрахунку стінових діафрагм легких дерев'яних каркасних будинків за EN 1995-1-1 та ANSI/AWC SDPWS-2021

Тарас Шналь, докт. техн. наук, професор кафедри будівельних конструкцій та мостів, (НУ «Львівська політехніка»);

Олександр Лепуга, аспірант кафедри будівельних конструкцій та мостів, (НУ «Львівська політехніка»);

Ігор Мацук, аспірант кафедри будівельних конструкцій та мостів, (НУ «Львівська політехніка»);

30. Прогресуюче руйнування купольних конструкцій

Олена Костіна, канд.техн.наук, доцент кафедри будівельної механіки, (КНУБА);

Богдан Самойленко, аспірант кафедри будівельної механіки (КНУБА).

31. Порівняння методик розрахунку параметрів вибухово-ударної хвилі для розрахунку споруд інженерного захисту

Денис Михайловський, докт. техн. наук, професор кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, (КНУБА);

Олег Комар, аспірант кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, (КНУБА).

32. Сталеві балки із змінним перерізом, вибір оптимальної топології

Любомир Джанов, асистент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, (КНУБА).

33. Вогнестійкість стінових конструкцій із керамзитобетонних блоків

Олег Фесенко, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА);

Віра Колякова, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА);

Петро Попруга, канд. техн. наук, начальник лабораторії з контролю виробництва, (ПП «Київ-Ресурс»).

34. Енергоефективні матеріали та конструкції в автоматизованих системах теплопостачання

Олексій Нікітенко, аспірант кафедри міського будівництва і архітектури, (ЗНУ, м.Запоріжжя).

35. Визначення граничної сейсмостійкості сталевих каркасних будівель критичної інфраструктури лінійно спектральним методом

Іван Трусов, аспірант кафедри металевих та дерев'яних конструкцій (КНУБА), начальник відділу оцінки сейсмостійкості філії "Відокремлений підрозділ", (НТЦТ "НАЕК "ЕНЕРГОАТОМ").

36. Чисельне моделювання впливу вибухів на захисні споруди цивільного захисту

Тарас Донець, доцент кафедри споруд спеціального призначення, (КНУБА)

37. Дослідження впливу циклічного навантаження на залізобетонні конструкції з використанням методу Монте-Карло

Тетяна Чирва¹, канд. техн. наук, доцент кафедри архітектурних конструкцій, (КНУБА);

Віра Колякова¹, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА);

Володимир Чирва², канд. техн. наук, заст. директора, (ТОВ «Придніпров'є»).

38. Оптимізація конструктивно-технологічних рішень відновлення залізобетонного шляхопроводу

Ігор Шумаков, доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри технології та організації в будівництві (ХНУМГ);

Володимир Бугасвський, аспірант кафедри технології та організації в будівництві, (ХНУМГ).

39. Плоске полегшене залізобетонне збірно-монолітне перекриття з порожнинами із пластикових куль

Олена Буцька, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (Український державний університет науки та технологій, УДУНТ);

Микола Махінко, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (УДУНТ);

Олена Маринченко, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньою програмою «Промислове і цивільне будівництво (УДУНТ).

40. Числові дослідження роботи залізобетонної арки на дію статичних короткочасних навантажень

Богдан Караван, докт. філософії (Ph.D.). старший викладач кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, (НУВГП);

Віктор Караван, к.т.н., доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, (НУВГП);

Сергій Філіпчук, д.т.н., професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, (НУВГП).

41. Методика розрахунку поверхових спектрів відгуку будівель і споруд об'єктів критичної інфраструктури

Любов Первушова, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій (КНУБА), старший інженер відділу оцінки сейсмостійкості філії "Відокремлений підрозділ: НТЦТ "НАЕК "ЕНЕРГОАТОМ").

42. Раціональна конструкційна система сталезалізобетонних автодорожніх мостів

Юрій Круль, канд. техн. наук, ст. викл. кафедри будівельних конструкцій, (ХНУМГ);

Павло Фірсов, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних конструкцій, (ХНУМГ);

Хаммуд Мохаммад Тахран, аспірант кафедри будівельних конструкцій, (ХНУМГ).

43. Дослідження факторів впливу на технологію зведення підземних конструкцій

методом гравітаційного видавлювання

Олександр Махия, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних технологій, (КНУБА);

Євгеній Галенко, аспірант кафедри будівельних технологій, (КНУБА).

44. Ефективність використання захисних споруд при динамічному навантаженні

Людмила Афанасєва, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА).

45. Дискретне формоутворення підземних споруд спеціального призначення

Володимир Скочко, докт. техн. наук, професор, кафедри архітектурних конструкцій, зав. кафедри споруд спеціального призначення, (КНУБА);

Кирило Мартиновський, здобувач (КНУБА);

Олексій Котляревський, к.е.н., доцент кафедри споруд спеціального призначення, (КНУБА).

46. Принципи гладкого зшивання підземних тунелів

Андрій Посікера, аспірант кафедри архітектурних конструкцій, (КНУБА);

Дмитро Сотніков, докторант кафедри архітектурних конструкцій, (КНУБА).

47. Геометричне моделювання форми підземних споруд оболонкового типу

Вадим Спірідонов, аспірант каф. арх. констр., (КНУБА);

Володимир Скочко, д.т.н., проф., каф. арх. констр., зав. каф. споруд спеціального призначення, (КНУБА);

Андрій Широков, аспірант каф. арх. констр., (КНУБА).

48. Типові проблеми переобладнання підвальних приміщень у найпростіші укриття з вимогами інклюзивності

Тетяна Лякіна, здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, (КНУБА),

Сергій Кожедуб, канд. техн. наук, доцент кафедри споруд спеціального призначення, (КНУБА);

Тетяна Веклярська, зав. лабораторії кафедри архітектурних конструкцій (КНУБА).

49. Вплив характеристик ґрунту на захист від радіації захисних споруд

Тарас Донець, доцент кафедри споруд спеціального призначення, (КНУБА);

Гундар Лья, здобувач другого (магістерського) ступеня освіти, 192 «Промислове і цивільне будівництво» (КНУБА).

50. Технологія зведення монолітних залізобетонних конструкцій в умовах жаркого клімату

Ганна Шпакова, доктор. економ. наук, професор кафедри будівельних технологій, (КНУБА);

Андрій Шпаков, доктор. економ. наук, професор кафедри менеджменту в будівництві, (КНУБА).

51. Несуча здатність балок з комбінованим армуванням металевою та базальто-пластиковою арматурою

Олександр Валовой, канд. техн. наук, професор кафедри промислового цивільного і міського будівництва, (КНУ, м. Кривий Ріг);

Максим Валовой, канд. техн. наук, доцент кафедри промислового цивільного і міського будівництва, (КНУ, м. Кривий Ріг);

Ігор Малий, аспірант кафедри промислового цивільного і міського будівництва, (КНУ, м. Кривий Ріг).

52. Просторова модель за геодезичними даними куполу глядацької зали Національного драматичного театру імені Лесі Українки

Михайло Яковенко, завідувач лабораторії, (ДП НДІБК);

Євген Зорін, провідний інженер, (ДП НДІБК);

Ігор Бень, провідний інженер, (ДП НДІБК).

53. Аналіз надійності розрахункових моделей підсиленних згинальних залізобетонних елементів.

Олексій Постернак, асистент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА);

Михайло Постернак, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА).

54. Можливості використання технології пневматичної опалубки у сучасному будівництві

Даниїл Прокопенко, аспірант кафедри будівельних технологій, (КНУБА);

Ганна Шпакова, докт. екон. наук, професор кафедри будівельних технологій, (КНУБА).

55. Числове моделювання напружено-деформованого стану скляних багат шарових плит у програмі Ansys

Тарас Осадчук, к.т.н., в.о. доцента кафедри будівельних конструкцій, (ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького);

Юрій Фамуляк, к.т.н., доцент, завідувач кафедри технології та організації будівництва, (ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького);

Андрій Мазурак, к.т.н., доцент, в.о. професора кафедри технології та організації будівництва, (ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького);

56. Випробування залізобетонних конструкцій пошкоджених під час пожежі

Олександр Глітін, канд. техн. наук, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, (КНУБА);

Олег Сонько, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, (КНУБА);

Олексій Кравченко, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, (КНУБА).

57. Підсилення збірних залізобетонних круглопорожнистих плит перекриття при переобладнанні підвальних приміщень існуючих цивільних будівель в приміщення подвійного призначення

Анна Азізова, аспірантка будівництва та цивільної інженерії, (НУ "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка");

Роман Стрюк, аспірант будівництва та цивільної інженерії, (НУ“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”);

Дмитро Овсій, Ph.D, старший викладач будівництва та цивільної інженерії, (НУ “Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”).

58. Забезпечення електроживлення об’єктів спеціального призначення

Наталія Бурдейна, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри фізики, (КНУБА);

Ярослав Підлісний, аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, (КНУБА);

Дмитро Осадчий, аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, (КНУБА).

59. Засоби нормалізації фізичних чинників середовища сховищ цивільного захисту

Яна Бірук, доктор філософії, доцент, доцент кафедри фізики, (КНУБА);

Андрій Климчук, аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, (КНУБА);

Ярослав Галонько, аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, (КНУБА).

60. Числові дослідження фланцевих вузлів ферм з попереднім напруженням

Євген Цюпин, старший викладач кафедри металевих і дерев’яних конструкцій, (КНУБА)

61. Принципи управління тепловим балансом з використанням графоаналітичних моделей будівель спеціального призначення

Сергій Кожедуб, канд. техн. наук, доцент кафедри архітектурних конструкцій, (КНУБА);

Павло Тисленко, канд. техн. наук, докторант кафедри архітектурних конструкцій, (КНУБА);

Іван Садовничий, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, (КНУБА).

62. Аналітичне порівняння плоскої та об’ємної моделей при розрахунку деформацій плит у ЛІРА-САПР

Зіновій Бліхарський, докт. техн. наук, професор кафедри БКМ, (НУ «Львівська політехніка»);

Михайло Іванейко, аспірант кафедри БКМ, (НУ «Львівська політехніка»).

63. Деформаційні характеристики залізобетонних конструкцій з високоміцного бетону.

Олена Мельничук, асистент кафедри будівництва, (ЧНУ ім. Юрія Федьковича)

64. Відновлення експлуатаційної придатності великопанельних будинків, пошкоджених внаслідок воєнних дій

Віктор Караван, канд. техн. наук, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, (НУВГП)

Максим Лазаренко, аспірант кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, (НУВГП)

65. Реакція сталевого резервуара на вплив імпульсного навантаження

Олександр Глітін, канд. техн. наук, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, (КНУБА);

Сергій Радецький, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, (КНУБА).

66. Пропозиції до нормування вибухових навантажень у відповідності з чинними нормами проектування захисних споруд

Таліят Азізов, докт. техн. наук, завідувач кафедри техніко-технологічних дисциплін; (УДПУ ім. Павла Тичини);

Дмитро Кочкар'юв, докт. техн. наук, завідувач кафедри міського будівництва та господарства; (НУВГП).

67. Проблеми адаптації нормативів трудовитрат в умовах сучасності

Василь Доненко, докт. техн. наук, професор кафедри Будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський НУ імені Володимира Даля;

Дмитро Іваненко, аспірант кафедри Будівельного виробництва та управління проектами, НУ «Запорізька політехніка»;

Сергій Щербина, студент групи БАД-122, НУ «Запорізька політехніка».

68. Проектування захисної споруди об'єкту енергетичної інфраструктури.

Іліас Дамнаті, аспірант кафедри опору матеріалів, (КНУБА);

Людмила Григор'єва, канд.ф.-м.наук, доцент кафедри опору матеріалів, (КНУБА).

СЕКЦІЯ 2

«СУЧАСНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ»

Присядатись до конференції

14 травня 2025 р.

14:00 – Секційне засідання

Тривалість виступів - до 10 хв.

I. Можливості SikaCarboDur Software при розрахунках посилень будівельних конструкцій

Олександр Панченко, канд.техн.наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА);

Юрій Собко, канд.техн.наук, доцент кафедри Автомобільних доріг та мостів, (НУ «Львівська політехніка»).

2. Комплексний підхід до вибору складу бетону для надземних конструкцій очисних споруд

Олексій Кабусь, канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалознавства та інженерії композитних конструкцій, (ХНУМГ);

Анатолій Сінякін, канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалознавства та інженерії композитних конструкцій, (ХНУМГ).

3. Дослідження впливу дефектності структури рециркульованого заповнювача на стан контактної зони в структурі бетону

Вікторія Зозулинець, докт. філос., старший науковий співробітник Науково-дослідного інституту в'язучих речовин і матеріалів, (НДІ в'язучих речовин і матеріалів);

Олександр Ковальчук, канд. техн. наук, ст. наук. співроб, проректор з наукової роботи та інноваційного розвитку, (КНУБА);

Роман Разумов, аспірант кафедри ТБКВ, (КНУБА).

4. Система інтергованої ізоляції SIKAPROOF, як рішення для подовженого строку експлуатації спеціальних споруд

Сергій Спець, керівник напрямку «Відновлення» (ТОВ СІКА УКРАЇНА);

Артем Захаров, керівник напрямку «Гідроізоляція» (ТОВ СІКА УКРАЇНА);

Олександр Панченко, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА, ТОВ СІКА УКРАЇНА).

5. Ефективність мінеральних добавок у сумішах придатних для 3D друку

Віталій Марчук, к.т.н., доцент кафедри технології будівельних виробів та матеріалознавства, (НУВГП);

Леонід Дворкін, д.т.н., професор кафедри технології будівельних виробів та матеріалознавства, (НУВГП);

Руслан Макаренко, к.т.н., професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, (НУВГП).

6. Використання діоксиду титану для підвищення сорбційної здатності бетонів

Ігор Папуч, аспірант, (КНУБА);

Олександр Ковальчук, канд. техн. наук, ст. наук. співроб, проректор з наукової роботи та інноваційного розвитку (КНУБА.)

7. Забезпечення підвищеної міцності споруди при відновленні зруйнованих будівель

Наталія Амеліна, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, (КНУБА);

Аліна Ющенко, здобувачка, (КНУБА).

8. Кінетика набору міцності шлакопортландцементів з додаванням модифікованих відходів

Оксана Бердник, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів (КНУБА);

Олексій Цанко, канд. техн. наук, старший дослідник кафедри будівельних матеріалів (КНУБА);

Сергій Виговський, аспірант кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, (КНУБА).

9. Ударно-захисні характеристики реакційно-порошкових бетонів на основі лужно-активованих шлакопортландцементів

Володимир Гоц, докт. техн. наук., професор кафедри технології будівельних конструкцій та виробів, (КНУБА);

Олександр Гелевера, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій та виробів, (КНУБА);

Андрій Разсамакін, аспірант кафедри технології будівельних конструкцій та виробів, (КНУБА).

10. Ефективність використання відходів рециклінгу в складі бетонів для адитивних технологій будівництва

Олесь Ластівка, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, (КНУБА);

Артем Смоглій, аспірант кафедри ехнології будівельних конструкцій і виробів (КНУБА)

11. Жаростійкі лужно-активовані портландцементи системи «портландцемент – натрієве рідке скло»

Олександр Константиновський, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, (КНУБА, НДІ в 'яжучих речовин і матеріалів);

Артем Ковальчук, асистент доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, (КНУБА, НДІ в 'яжучих речовин і матеріалів);

Владислав Онатій, аспірант доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, (КНУБА, НДІ в 'яжучих речовин і матеріалів).

12. Будівельні розчини і бетони на відходах з використанням вібраційного вакууму

Тетяна Дехта, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, (УДУНТ, ННІ ПДАБА);

Сергій Бондаренко, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, (УДУНТ, ННІ ПДАБА);

Світлана Василенко, асистент кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, (УДУНТ, ННІ ПДАБА).

13. Використання полідисперсних мінеральних компонентів для поліпшення експлуатаційних властивостей дрібношугучних вібропресованих виробів

Алла Майстренко, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, (КНУБА);

Оксана Бердник, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, (КНУБА);

Артем Захаров, аспірант технології будівельних конструкцій і виробів, (КНУБА).

14. Фактори, які впливають на колір вібропресованих бетонних тротуарних плит
Євгенія Петрикова, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, (КНУБА);
Алла Майстренко, канд. ехн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, (КНУБА);
Андрій Шудренко, здобувач, (КНУБА).

15. Вимоги до виробів з кам'яної вати для різних теплоізоляційних рішень
Ігор Железняк, аспірант кафедри Технології будівельних конструкцій і виробів (КНУБА).

СЕКЦІЯ 3

ПАНЕЛЬНА ДИСКУСІЯ: «КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ»

[Прислатись до конференції](#)

15 травня 2025 р.

10:00 – 15.00 – Секційне засідання

1. Моделювання зміни напружено-деформованого стану конструкцій протягом життєвого циклу в програмному забезпеченні LIRA-FEM
Марія Барабаш, докт. техн. наук, професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва, (ДП “Київський авіаційний інститут”; ТОВ “ЛІРА САПР”).

2. Розрахунок будівлі на вплив повітряної ударної хвилі
Марина Ромашкіна, канд. техн. наук, (ТОВ “ЛІРА САПР”).

3. Оцінка межі вогнестійкості сталевих конструкцій з використанням LIRA-FEM
Олексій Башинський, доктор філософії (PhD), фахівець САПР, (КНУБА, ТОВ “ЛІРА САПР”).

4. Перевірка залізобетонних конструкцій за допомогою системи «Експертиза ЗБК» у LIRA-CAD та LIRA-FEM
Андрій Томашевський, інженер-програміст, асистент кафедри комп'ютерних технологій будівництва, (ТОВ “ЛІРА САПР”).

5. Оцінка стійкості захисної конструкції ангара при вибухових впливах з використанням LIRA-FEM
Ілля Бармін, аспірант кафедри КТБ, (ТОВ “ЛІРА САПР”).

6. Практичний досвід використання LIRA-FEM та LIRA-CAD
Олександр Лазарєв, провідний інженер технічної підтримки, (ТОВ “ЛІРА САПР”).

7. Методика оцінки прогресуючого руйнування каркасно-монолітної будівлі за допомогою pushdown і pulldown моделювання в ПК «LIRA-FEM»

Марія Барабаши, докт. техн. наук, професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва, директор (ДП “Київський авіаційний інститут”; ТОВ “ЛІРА САПР”).
Андрій Тимощенко, аспірант кафедри комп'ютерних технологій будівництва, (ДП “Київський авіаційний інститут”).

8. Принципові питання розрахунку конструкцій з урахуванням пластичності
Анатолій Перельмутер, докт. техн. наук., с.н.с., (ТОВ SCAD Soft).

9. До розрахунку стержневих систем з урахуванням депланцій
Анатолій Перельмутер¹, докт. техн. наук, с.н.с., (ТОВ SCAD Soft);

Віталіна Юрченко^{2,1}, докт. техн. наук, професор кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, (КНУБА, ТОВ SCAD Soft).

10. Розрахунок на вогнестійкість залізобетонних та металевих конструкцій у SCAD Office

Леонід Скорук, канд. техн. наук., доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, (КНУБА, ТОВ SCAD Soft).

11. Аналіз результатів натурних випробувань залізобетонних монолітних плит перекриттів та чисельного моделювання

Дмитро Якушев, канд. техн. наук., с.н.с. НДЧ, (ОДАБА.)

12. ПК ЛІРА 10. Розрахункові можливості

Ісаак Євзеров, докт. техн. наук, с.н.с, директор, (Група компаній ЛІРА)

13. Інтегровані рішення для проектувальника: ПК ЛІРА 10 у практиці сучасного САЕ

Владислав Киричок, інженер, (Група компаній ЛІРА)

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
СЕКЦІЯ 1
«Будівельні конструкції та технології»

Історичний огляд фортифікаційних і захисних споруд

Денис Михайловський, докт. техн. наук, професор кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0003-3151-8630>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м.Київ)

Мета дослідження – історичний огляд фортифікаційних і захисних споруд від стародавніх часів і до нашого часу. Аналіз загроз, усвідомлення напрямів розвитку фортифікаційних і захисних споруд при новому їх будівництві з метою їх удосконалення та впровадження найбільш ефективних рішень, які можуть суттєво відрізнитись для різноманітних задач та регіонів.

Повномасштабне вторгнення РФ в Україну продемонструвало важливе значення інженерних укріплень, захисних споруд тощо в загальній системі стійкості держави. Сучасна війна привнесла нові загрози і виклики, які суттєво впливають на поле бою, захист критичної інфраструктури і населення в тилкових районах, в тому числі і на особливості зведення інженерних фортифікаційних та захисних споруд.

Дослідження історії зведення фортифікаційних і захисних споруд з стародавніх часів і до сьогодення дозволяє простежити, як змінювалися підходи до оборонного будівництва в залежності від актуальних загроз воєнного характеру, що в свою чергу дозволяє прогнозувати напрями для подальшого їхнього розвитку і вдосконалення. Проведений огляд дає можливість зрозуміти, наскільки важливим є цей напрям воєнної науки і наскільки наразі він потребує серйозного підходу як з боку військових, так і з позиції держави в цілому.

Аналіз нових сучасних фортифікаційних рішень, їх ефективності та слабких місць є необхідним для підвищення обороноздатності країни в умовах наявної постійної загрози нападу.

Важливим є і огляд підходів до захисту цивільного населення від засобів повітряного нападу противника від часів другої світової війни і до сьогодення з визначенням напрямів подальшого розвитку і удосконалення підходів щодо їх розрахунку і зведення.

У сучасних умовах війни в Україні фортифікаційні, споруди інженерного захисту і захисні споруди відіграють ключову роль у створенні ліній оборони, захисті військових та об'єктів критичної інфраструктури, збереженні життів цивільного населення.

До зведення фортифікаційних і захисних споруд завжди слід застосовувати інтегрований комплексний підхід, який повинен враховувати найбільш притаманні засоби ураження для конкретної глибини від лінії бойового зіткнення, а також сучасні засоби і ймовірні фактори ураження та протидії ним.

Наразі існує потреба зміни підходів до побудови фортифікаційних споруд і на лінії бойового зіткнення з урахуванням досвіду ведення бойових дій, а також створення нового напрямку військово-інженерної науки, яка б починалась від розробки архітектури фортифікаційних і захисних споруд і враховувала фактори не лише технологічності і виконання базових завдань, але і зручності застосування з урахуванням всіх наявних технологічних особливостей та сучасних загроз.

Розвиток теорії зведення фортифікаційних і захисних споруд сприятиме зміцненню оборони держави, адаптації до нових загроз, підвищенню безпеки населення і об'єктів критичної інфраструктури.

1. Mykhailovskyi D.V., Skliarov I.O., Khomik M.M., Vavilova N.V., Skliarova T.S. Analysis of methods for calculating the penetrating effect of the main types of missiles and fragmentation damage to the structures of protective constructions / Strength of materials and theory of structures: scientific and technical collection - Kyiv: KNUCA, 2024. - Issue 113. - P. 171-182. doi: [10.32347/2410-2547.2024.113.171-182](https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.113.171-182).
2. Михайловський Д. В., Білик А. С., Склярів І. О. Розрахунок конструкцій будівель і споруд на дії основних факторів ураження засобів повітряного нападу: Монографія / Михайловський Д. В., Білик А. С., Склярів І. О. Київ: Каравела, 2024. – 92 с.

Historical overview of fortifications and defensive structures

Denys Mykhailovskiy, *doctor of technical sciences, Professor of the department of metal and wooden structures*, <https://orcid.org/0000-0003-3151-8630>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The purpose of the study is a historical overview of fortification and defensive structures from ancient times to the present day. Analysis of threats, awareness of the directions of development of fortification and defensive structures during their new construction in order to improve them and implement the most effective solutions, which may differ significantly for various tasks and regions.

The full-scale invasion of the Russian Federation into Ukraine demonstrated the important importance of engineering fortifications, defensive structures, etc. in the overall system of state stability. Modern war has brought new threats and challenges that significantly affect the battlefield, the protection of critical infrastructure and the population in rear areas, including the features of the construction of engineering fortification and defensive structures.

The study of the history of the construction of fortification and defensive structures from ancient times to the present day allows us to trace how approaches to defensive construction have changed depending on current threats of a military nature, which in turn allows us to predict directions for their further development and improvement. The review provides an opportunity to understand how important this area of military science is and how much it currently requires a serious approach from both the military and the state as a whole.

Analysis of new modern fortification solutions, their effectiveness and weaknesses is necessary to increase the country's defense capability in the face of a constant threat of attack.

Also important is a review of approaches to protecting the civilian population from enemy air attack from the Second World War to the present day, with the identification of directions for further development and improvement of approaches to their calculation and construction.

In the current conditions of war in Ukraine, fortifications, engineering defense structures and protective structures play a key role in creating defense lines, protecting the military and critical infrastructure, and preserving the lives of civilians.

An integrated comprehensive approach should always be applied to the construction of fortifications and defensive structures, which should take into account the most typical means of destruction for a specific depth from the line of combat contact, as well as modern means and probable factors of destruction and counteraction to them.

Currently, there is a need to change approaches to the construction of fortifications and on the line of combat contact, taking into account the experience of conducting combat operations, as well as the creation of a new direction in military engineering science, which would begin with the development of the architecture of fortifications and defensive structures and take into account factors not only manufacturability and the performance of basic tasks, but also ease of use, taking into account all existing technological features and modern threats.

The development of the theory of the construction of fortifications and defensive structures will contribute to strengthening the state's defense, adaptation to new threats, and increasing the safety of the population and critical infrastructure facilities.

1. Mykhailovskiy D.V., Skliarov I.O., Khomik M.M., Vavilova N.V., Skliarova T.S. Analysis of methods for calculating the penetrating effect of the main types of missiles and fragmentation damage to the structures of protective constructions / Strength of materials and theory of structures: scientific and technical collection - Kyiv: KNUCA, 2024. - Issue 113. - P. 171-182. doi: 10.32347/2410-2547.2024.113.171-182.
2. Mykhailovskiy D. V., Bilyk A. S., Sklyarov I. O. Calculation of building and structure structures for the effects of the main factors of air attack damage: Monograph. Kyiv: Karavela, 2024. – 92 p

Структура ОПШ «Оптимальне проектування, будівництво та безпечна експлуатація об'єктів критичної інфраструктури»

Віталій Плоский, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри архіт. конструкцій,
<https://orcid.org/0000-0002-2632-8085>;

Володимир Скочко, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри споруд спеціального призначення, <https://orcid.org/0000-0002-1709-2621>;

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Освітньо-професійну магістерську програму «Оптимальне проектування, будівництво та безпечна експлуатація об'єктів критичної інфраструктури» розроблено у співробітництві з Національним інститутом стратегічних досліджень (НІСД). На виконання завдання Офісу Президента України з питання організації підготовки фахівців з захисту критичної інфраструктури (КІ) в НІСД було створену робочу групу з підготовки та впровадження відповідних робочих програм для фахівців різних напрямків (цивільний захист, кібербезпека, менеджмент, архітектура будівництва).

Зважаючи на масштабність та різноплановість безпекових заходів на всіх стадіях життєвого циклу об'єктів будівництва, типологічну різноманітність поняття «критична інфраструктура», а також наявність в університеті організаційних можливостей (новостворена кафедра споруд спеціального призначення, підготовка фахівців теплоенергетичного, гідротехнічного та нафтогазового напрямків), робочою групою НІСД було підтримано та схвалено ініціативу КНУБА щодо започаткування окремої спеціалізації на базі спеціальності 192 - будівництво та цивільна інженерія.

ОПШ, впровадження якої планується з вересня 2025 року, містить наступні предметні напрямки (обов'язкові компоненти), що охоплюють всі етапи функціонування об'єктів КІ:

1. Архітектурно-конструктивна типологія об'єктів критичної інфраструктури.
2. Планувальні та конструктивні рішення об'єктів КІ. Характер вразливостей.
3. Оптимальне проектування об'єктів та систем об'єктів критичної інфраструктури.
4. Логістичні задачі організації критичної інфраструктури. Безпечна логістика.
5. Вплив специфічних навантажень на конструкції об'єктів КІ.
6. Методи та технології маскування та спеціальні системи захисту об'єктів КІ.
7. Організаційно-технічні аспекти безпечної експлуатації об'єктів КІ.
8. Безпекові заходи на стадії створення проектів об'єктів та систем об'єктів критичної інфраструктури.
9. Специфіка захисних заходів за напрямками (атомна, тепла та гідроенергетика, споруди транспортної інфраструктури, об'єкти нафтогазової промисловості тощо).
10. Технології ВІМ-проектування об'єктів КІ (напрямки та стадії життєвого циклу).
11. Методи та технології обстеження та відновлення об'єктів КІ, ліквідація наслідків уражень КІ.
12. Техніко-економічний аналіз безпекових заходів та результатів уражень об'єктів КІ.

Крім того, склад вибіркової дисципліни сформовано за принципом типологічної конкретизації об'єктів. Це дозволить студентам - представникам певних регіонів поглиблено вивчити специфіку саме тих об'єктів, які знаходяться на відповідних територіях.

Слід окремо зазначити системність підходу щодо створення організаційних засад формування відповідного ринку праці. У складі держадміністрацій та керівництві територіальних громад передбачено введення ряду посад (група 2490 Класифікатора професій ДК 003:2010) – начальник служби з захисту критичної інфраструктури, експерт з захисту КІ, аналітик з оцінки ризиків, фахівець з захисту та стійкості КІ. Для підтримки функціонування відповідних служб рекомендовано також розробити та впровадити систему підвищення кваліфікації та сертифікаційних курсів для вищезазначених фахівців.

1. Національний класифікатор України. Класифікатор професій ДК 003:2010/Держспоживстандарт України, 2010. – 256 с.

Structure of the Master’s Program “Optimal Design, Construction, and Safe Operation of Critical Infrastructure Facilities”

Vitaliy Plosky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Architectural Structures, <https://orcid.org/0000-0002-2632-8085>

Volodymyr Skochko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Special-Purpose Structures, <https://orcid.org/0000-0002-1709-2621>

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

The Educational and Professional Master’s Program “Optimal Design, Construction, and Safe Operation of Critical Infrastructure Facilities” was developed in collaboration with the National Institute for Strategic Studies (NISS). In order to fulfill the Office of the President of Ukraine’s directive on organizing the training of specialists in critical infrastructure protection, NISS established a working group to prepare and implement relevant curricula for specialists in civil protection, cybersecurity, management, architecture, and construction.

Given the scope and diversity of safety measures required at all stages of a facility’s life cycle, the typological variety of “critical infrastructure,” and the university’s organizational capabilities (a newly established Department of Special-Purpose Structures and specialist training in thermal power, hydraulic, and oil & gas engineering), NISS supported and approved KNUCA’s initiative to launch a separate specialization within the Master’s degree program in Civil Engineering (Specialty 192).

The program, scheduled to begin in September 2025, includes the following core subject areas (mandatory components) covering all phases of critical infrastructure facility operation:

1. Architectural and Structural Typology of Critical Infrastructure Facilities.
2. Planning and Structural Design Solutions for Critical Infrastructure: Vulnerability Characteristics.
3. Optimal Design of Critical Infrastructure Facilities and Systems.
4. Logistics of Critical Infrastructure Organization: Safe Logistics.
5. Effects of Specialized Loads on Critical Infrastructure Structures.
6. Camouflage Methods and Special Protection Systems for Critical Infrastructure
7. Organizational and Technical Aspects of Safe Operation of Critical Infrastructure
8. Safety Measures in the Project Development Stage of Critical Infrastructure Facilities and Systems
9. Sector-Specific Protection Measures (nuclear, thermal and hydro power, transport infrastructure, oil & gas facilities, etc.)
10. BIM Technologies for Critical Infrastructure Projecting (Lifecycle Phases and Directions).
11. Methods and Technologies for Inspection and Restoration of Critical Infrastructure, Post-Incident Recovery.
12. Techno-Economic Analysis of Protection Measures and Damage Consequences for Critical Infrastructure.

Additionally, the selection of elective courses is organized according to facility typologies, allowing students from particular regions to study in depth the specific types of facilities present in their territories.

A systematic approach has been taken to establish the organizational foundations for the development of the corresponding labor market. New positions are proposed within state administrations and local governments—such as Chief of Critical Infrastructure Protection Service, Critical Infrastructure Protection Expert, Risk Assessment Analyst, and Critical Infrastructure Resilience Specialist—to support these services. A system of continuing education and certification courses for these specialists is also recommended.

1. National Classifier of Ukraine. Classifier of Professions DK 003:2010. Derzhspozhivstandard of Ukraine, 2010. 256 pp.

Міцність стиснутих залізобетонних елементів при непрямому армуванні зварними сітками

Юлій Клімов, докт. техн. наук, професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <http://orcid.org/0000-0002-4275-7058>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Непряме армування зварними сітками застосовується у зонах дії значних зусиль стиску, як правило місцевого характеру, де необхідно підвищення міцності бетону на осевих стиск. Розрахунковим шляхом таке підвищення міцності бетону, зазвичай, враховується введенням коефіцієнтів, які були отримані на основі експериментальних досліджень [1]. У той же час, існують реальні передумови побудови теоретичного підходу до визначення міцності бетону залізобетонних елементів в зоні непрямого армування зварними сітками на підставі врахування реального напружено-деформованого стану бетону.

Мета дослідження – розробити теоретичний метод розрахунку міцності стиснутих залізобетонних елементів в зонах непрямого армування зварними арматурними сітками.

У представленій роботі наведений метод визначення граничних напружень стиску бетону при стиску в місцях непрямого армування зварними сітками, оснований на теорії пластичності залізобетону [1], у рамках якої арматура сіток розглядається як внутрішня в'язь, що обмежує поперечні деформації бетону при стиску і викликає виникнення реактивних стискаючих напружень у бетоні, що діють в площині сіток. Як наслідок, бетон у межах розташування арматурних сіток переходить від напруженого стану осевого до трьохосевого стиску, що і обумовлює підвищення його міцності, а разом з тим і міцності всього елемента у зоні дії стискаючого зусилля.

Виходячи з зазначених передумов, теоретичним шляхом отримані розрахункові залежності для визначення граничних напружень в бетоні в місцях армування зварними сітками, які враховують інтенсивність непрямого армування (діаметр, крок арматури сіток і їх розташування по висоті елемента), характеристики міцності бетону і відповідної арматури.

Для перевірки розробленого розрахункового апарату були проведені локальні експериментальні дослідження міцності залізобетонних елементів з непрямым армуванням зварними сітками. У якості дослідних зразків були прийняті бетонні призми перерізом 150 x 150 мм і довжиною 600 мм, армовані зварними сітками з проволочи діаметром 5 мм класу Вр-1 розміром 30x30 мм. Як варійований фактор була прийнята інтенсивність непрямого армування у межах 0,6...2,3%, яка досягалася за рахунок різного кроку між сітками по висоті зразка. Всього було виготовлено та випробувано 3 серії дослідних зразків, по 3 зразки-близнюки у серії, а також еталонні зразки з бетону У процесі випробування визначалося граничне навантаження на зразок, вимірювалися поздовжні та поперечні деформації, а також проводився візуальний огляд зразків на наявність тріщин і відшаровування захисного шару бетону.

В результаті порівняння експериментальних і теоретичних даних встановлено, що розроблений розрахунковий метод визначення міцності стиснутих залізобетонних елементів в зонах непрямого армування зварними сітками має достатньо високу точність, так співвідношення між розрахунковим і дослідним навантаження при руйнуванні складало 0,87...1,06, і після подальшої експериментальної апробації може бути застосований для розрахунку конструкцій.

1. EN 1992-1-1:2023 Eurocode 2 -Design of concrete structures – Part-1-1 General rules and rules for building? Bridges and civil engineering structures, 402 p.
2. J. Klimov The calculation of reinforced construction strength based on theory of plasticity of reinforced concrete Computational plasticity. Fundamentals and Applications, Part 2.- Barcelona, Spain, 1997, pp.1528-1530.

Strength of compressed reinforced concrete elements with transverse reinforcement of welded meshes

Yulii Klimov, doctor of technical sciences, professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, <http://orcid.org/0000-0002-4275-7058>

Kyiv National University of Construction and Architecture

Transverse reinforcement of welded mesh is used in areas of significant compressive forces, usually of a local nature, where it is necessary to increase the strength of concrete in axial compression. In a calculated way, such an increase in the strength of concrete is usually taken into account by introducing coefficients that were obtained on the basis of experimental studies [1]. At the same time, there are real prerequisites for building a theoretical approach to determining the strength of concrete of reinforced concrete elements in the zone of transverse reinforcement with welded meshes based on taking into account the real stress-strain state of concrete.

The purpose of the study is to develop a theoretical method for calculating the strength of compressed reinforced concrete elements in areas of transverse reinforcement with welded reinforcing mesh.

The presented work presents a method for determining the ultimate compressive stresses of concrete during compression in places of transverse reinforcement with welded meshes, based on the theory of plasticity of reinforced concrete [1], within the framework of which the mesh reinforcement is considered as an internal bond that limits the transverse deformations of concrete during compression and causes the emergence of reactive compressive stresses in concrete acting in the plane of the meshes. As a result, the concrete within the location of the reinforcing meshes transitions from a stressed state of axial to triaxial compression, which causes an increase in its strength, and at the same time the strength of the entire element in the area of compressive force.

Based on the above-mentioned prerequisites, theoretical calculation relationships were obtained for determining the ultimate stresses in concrete in places of transverse reinforcement with welded meshes, which take into account the intensity of transverse reinforcement (diameter, mesh reinforcement pitch and their location along the height of the element), the strength characteristics of concrete and the corresponding reinforcement.

To verify the developed calculation apparatus, local experimental studies of the strength of reinforced concrete elements with transverse reinforcement, called meshes, were carried out. Concrete prisms with a cross section of 150 x 150 mm and a length of 600 mm, reinforced with welded meshes made of wire with a diameter of 5 mm, class Br-1, size 30x30 mm, were taken as test specimens. The intensity of indirect reinforcement within the range of 0.6...2.3% was taken as a variable factor, which was achieved due to different spacing between the meshes along the height of the specimen.

In total, 3 series of experimental specimens were manufactured and tested, 3 twin specimens in each series, as well as reference specimens made of concrete. During the test, the ultimate load on the sample was determined, longitudinal and transverse deformations were measured, and the samples were visually inspected for cracks and peeling of the protective concrete cover.

As a result of comparing experimental and theoretical data, it was established that the developed calculation method for determining the strength of compressed reinforced concrete elements in zones of transverse reinforcement with welded meshes has a sufficiently high accuracy, so the ratio between the calculated and experimental load at failure was 0.87...1.06, and after further experimental testing can be used for structural design.

1. EN 1992-1-1:2023 Eurocode 2 -Design of concrete structures – Part-1-1 General rules and rules for building? Bridges and civil engineering structures, 402 p.
2. J. Klimov The calculation of reinforced construction strength based on theory of plasticity of reinforced concrete Computational plasticity. Fundamentals and Applications, Part 2.- Barcelona, Spain, 1997, pp.1528-1530.

Особливості підсилення згинальних залізобетонних елементів з використанням попередньо-напруженої композитної арматури

Андрій Бамбура, докт. техн. наук, професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0003-1402-3345>

Дмитро Журавський, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-7065-3312>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Застосування композитних матеріалів для підсилення згинальних залізобетонних елементів стало одним із найефективніших інженерних рішень в умовах реконструкції, збільшення навантажень або усунення пошкоджень. Системи підсилення на основі вуглецевих волокон фірми SIKA, зокрема стрічки Sika CarboDur і тканини SikaWrap, забезпечують високу несучу здатність, жорсткість, тріщиностійкість та довговічність конструкцій [1].



Рис.1 – Композитні стрічки Sika CarboDur



Рис.2 – Влаштування композитної зовнішньої арматури з зовнішнім підсиленням

У документі рекомендовано використовувати зовнішнє армування у вигляді стрічок або тканин, які наклеюються на бетонну поверхню з дотриманням відповідної технології. Для підсилення згинальних елементів критично важливим є забезпечення спільної деформаційної роботи композитного матеріалу та бетонної основи. Несучу здатність підсиленних конструкцій слід оцінювати за нелінійною деформаційною моделлю з урахуванням граничних деформацій матеріалів, впливу попереднього напруження та геометрії перерізу [1, с. 13–20].

Особливу увагу приділено забезпеченню анкерного закріплення армуючих стрічок, враховуючи опір зсуву в зоні контактного шару «бетон-клей-композит». Запропоновані методики розрахунку включають два етапи: визначення напружено-деформованого стану до підсилення та його зміни після прикладання композитного підсилення [1, с. 24].

Практичні приклади показують, що підсилення балок стрічками CarboDur M дозволяє значно збільшити несучу здатність (зокрема, з 550 до 750 кН·м) за рахунок впровадження додаткових армуючих елементів з модулем пружності до 210 000 МПа [1, с. 23–25].

Таким чином, застосування попередньо-напруженої композитної арматури на основі матеріалів SIKA дозволяє ефективно підсилювати згинальні елементи при збереженні їх експлуатаційної надійності та довговічності.

1. Бамбура А., Гурківський О., Дорогова О., Сазонова І., Мірошник Т., Панченко О., Собко Ю. Рекомендації щодо застосування композитних матеріалів фірми Sika для підсилення залізобетонних конструкцій. Київ, ДП НДІБК, 2014. - 45 с.

Features of strengthening flexural reinforced concrete elements using pre-stressed composite reinforcement

Andrii Bambura, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, <https://orcid.org/0000-0003-1402-3345>

Dmytro Zhuravskiy, Postgraduate Student of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, <https://orcid.org/0000-0001-7065-3312>

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)

The use of composite materials for strengthening flexural reinforced concrete elements has become one of the most effective engineering solutions in cases of reconstruction, increased loading, or damage remediation. Strengthening systems based on carbon fibers developed by SIKA—particularly Sika CarboDur strips and SikaWrap fabrics—provide high load-bearing capacity, stiffness, crack resistance, and durability of structures [1].



Fig. 1 – Sika CarboDur composite strips



Fig. 2 – Installation of composite external reinforcement with external strengthening

The document recommends the use of external reinforcement in the form of strips or fabrics bonded to the concrete surface following the appropriate application technology. Ensuring the composite material and concrete substrate work together in deformation is critical for strengthening flexural elements. The load-bearing capacity of strengthened structures should be evaluated using a nonlinear deformation model that accounts for the ultimate deformations of materials, the influence of pre-stressing, and the cross-sectional geometry [1, pp. 13–20].

Particular attention is paid to anchorage of reinforcing strips, taking into account shear resistance in the “concrete–adhesive–composite” interface zone. The proposed calculation methodologies involve two stages: determination of the stress–strain state prior to strengthening and its transformation after the application of composite reinforcement [1, p. 24].

Practical examples demonstrate that strengthening beams with CarboDur M strips can significantly increase load-bearing capacity (for example, from 550 to 750 kN·m) due to the implementation of additional reinforcement elements with a modulus of elasticity of up to 210,000 MPa [1, pp. 23–25].

Thus, the use of pre-stressed composite reinforcement based on SIKA materials enables efficient strengthening of flexural elements while maintaining their operational reliability and durability.

1. Bambura A., Hurkivskiy O., Dorohova O., Sazonova I., Miroshnyk T., Panchenko O., Sobko Yu. Recommendations for the Use of Sika Composite Materials for Strengthening Reinforced Concrete Structures. Kyiv: SE NDI BK, 2014. – 45 p.

Комбіновані склопластикові елементи, армовані композитними стрічками

Олександр Журавський, докт.техн.наук, професор, завідувач кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-7065-3312>;

Олександр Поважнюк, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <http://orcid.org/0000-0003-0522-2174>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – отримати дані про роботу склопластикових елементів, армованих композитними стрічками. Провести теоретичне дослідження підсилених зовнішньою композитною арматурою. Використання склопластикових конструкцій є альтернативою металевим рис. 1 та 2.



Рис.1. Загальний вигляд використання склопластикових конструкцій



Рис.2. Візуальне порівняння склопластикового та металевого двотавра

В сучасному будівництві постає питання як максимально знизити вартість будівництва та в подальшому вартість експлуатації будівлі.

Оскільки композитні матеріали мають чудові властивості, ними можна замінити інші традиційні матеріали, тому прийнято розвивати тему дослідження композитних матеріалів та збільшувати кількість галузей де є можливість застосовувати даний матеріал.

До основних переваг склопластика відносять: витримує широкий спектр хімічних речовин, протистоїть впливу вологи або зануренню у воду; вага менше стаї на 75%; має високу діелектричну здатність; має низьку теплопровідність; менші витрат на встановлення, технічне обслуговування, має триваліший період використання.

Тому є необхідність розглядати цей матеріал як заміник металевих чи дерев'яних конструкцій. Проте одним з його недоліків є недостатня міцність на розтяг тому, на даному етапі теоретичного дослідження прийняте рішення розглянути, підсилення елементів зовнішньою композитною стрічкою, зазвичай з вуглецевих волокон, наклеюється на нижній пояс балки з метою: збільшення несучої здатності (додатково сприймає розтягувальні зусилля), підвищення жорсткості (зменшує прогини).

При спільній роботі нижній пояс балки зазнає розтягнення, в цей час композитна стрічка бере на себе частину розтягувального зусилля, завдяки адгезії, на клею чи смолі, стрічка ефективно інтегрується в конструкцію й працює як додаткове армування. Вся система працює як композитна конструкція, де кожен елемент бере участь у загальному опорі.

1. Zhuravskiy, O., & Tymoshchuk, V. (2017). Розрахунок плоских залізобетонних плит, підсилених зовнішньою напруженою арматурою. Будівельні конструкції. Теорія і практика, 1(1), 193–198. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.1.2017.193-198>
2. Trihenea N., & Constantine Vlad-Stefan. (2024). Fiberglass Reinforcement of Additively Manufactured Polymeric Specimens via FDM Process, Vol. 1128, pp 67-72 <https://www.researchgate.net/publication/385308358>

Composite fiberglass elements reinforced with external composite tapes

Oleksandr Zhuravskiy, doctor of technical sciences, professor, head of the department of reinforced concrete and stone structures, <https://orcid.org/0000-0001-7065-3312>

Oleksandr Povazhniuk, PhD student at the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures <http://orcid.org/0000-0003-0522-2174>

Kyiv National University of Construction and Architecture

Research Objective – to obtain data on the performance of fiberglass elements reinforced with composite strips. Theoretical analysis will be conducted on elements strengthened with external composite reinforcement. The use of fiberglass structures presents an alternative to traditional steel components (see Figures 1 and 2).



Fig.1. General view of the application of fiberglass structures



Fig.2. Visual comparison of fiberglass and steel I-beams

In modern construction, there is an ongoing challenge to minimize both the initial construction costs and the long-term operational expenses of buildings.

Since composite materials possess excellent properties, they can serve as substitutes for other traditional materials. Therefore, it is reasonable to further develop research in the field of composites and expand the range of industries where such materials can be applied.

Advantages of fiberglass:

- Resistant to a wide range of chemicals and unaffected by moisture or water immersion.
- Weighs approximately 75% less than steel.
- Exhibits high dielectric strength.
- Has low thermal conductivity.
- Reduced installation and maintenance costs, with a longer service life.

Therefore, it is necessary to consider this material as a potential substitute for traditional metal or timber structures. However, one of its limitations is insufficient tensile strength. At this stage of the theoretical research, it was decided to explore the reinforcement of elements using an external composite strip, typically made of carbon fibers, which is bonded to the tension (bottom) flange of the beam. The purpose of this reinforcement is to: increase the load-bearing capacity (by additionally resisting tensile forces) and enhance stiffness (by reducing deflections).

When working together, the bottom flange of the beam experiences tension, while the composite strip takes on a portion of the tensile force. Due to adhesive bonding—using glue or resin—the strip is effectively integrated into the structure and functions as additional reinforcement. The entire system operates as a composite structure, where each component contributes to the overall load resistance.

1. Zhuravskiy, O., & Tymoshchuk, V. (2017). The calculation of flat reinforced concrete slabs reinforced with external prestressed reinforcement. *Structural engineering. Theory and practice*.1(1), 193–198. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.1.2017.193-198>
2. Trihenea N., & Constantine Vlad-Stefan. (2024). Fiberglass Reinforcement of Additively Manufactured Polymeric Specimens via FDM Process, Vol. 1128, pp 67-72 <https://www.researchgate.net/publication/385308358>

Розрахунок похилих перерізів залізобетонних балок з використанням деформаційного методу

Олександр Журавський¹, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-7065-3312>;

Андрій Бамбура², докт. техн. наук, професор, завідувач відділом надійності конструкцій будівель і споруд, <https://orcid.org/0000-0003-1402-3345>;

Георгій Войцехівський¹, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0007-3436-3490>.

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

²ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (м. Київ)

У чинних нормативних документах [1, 2] відсутні вичерпні вказівки щодо розрахунку залізобетонних балок за похилими перерізами, що потребує деталізації положень.

У [1] та [3] для оцінки несучої здатності використовується деформаційний метод, заснований на фізично обґрунтованих передумовах. Він передбачає перевірку міцності стиснутої зони бетону та визначення параметрів поперечного армування.

Розрахунок включає дві стадії: спочатку оцінюється здатність бетону сприйняти поперечну силу, а при її недостатності проектується поперечне армування. Для елементів без розрахункового армування опір визначається з урахуванням поздовжньої арматури, геометрії та напруженого стану.

Якщо граничний опір бетону перевищено, застосовується «фермова модель» для оцінки зусиль у поперечній арматурі з обмеженнями на кути, характеристики матеріалів та конструктивні особливості. Однак ця модель має суттєві недоліки, зокрема спрощене уявлення напружено-деформованого стану та умов роботи матеріалів, що знижує точність оцінки несучої здатності. Крім того, вона ґрунтується на емпіричних коефіцієнтах, чия визначеність часто є умовною [4].

Незважаючи на численні дослідження, методи розрахунку впливу поперечних сил за похилими перерізами залишаються недосконалими, оскільки лише частково враховують дійсний напружено-деформований стан та інші важливі фактори [4].

Тому є нагальна необхідність у проведенні подальших досліджень опору залізобетонних балок за похилими перерізами на основі деформаційного методу, які проводились ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» [5].

Такі дослідження дає змогу розробити методику аналізу напружено-деформованого стану та несучої здатності балок при дії поперечної сили та моменту з використанням повної діаграми деформування бетону та вдосконалити чинні будівельні норми [2]. Практична цінність полягає в раціональному підборі перерізу та армування, що забезпечить надійність і довговічність конструкцій.

1. ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі зміною №1 – *Мінрегіонбуд України*. Київ, 2011. 71с. чинний 01.06.2020.
2. ДСТУ Б.В.2.6-156:2010 Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування – *Мінрегіонбуд України*. Київ, 2011. 166с. чинний 01.06.2011.
3. EN 1992-1:2001(Final Draft, April, 2002) Eurocode-2: Desing of Concrete Structures Part 1: General Rules and Rules for Building. - Brussels, 2002.- Oktober - 230 p.
4. Клімов, . Ю., & Сморгалов, Д. . (2024). Експериментальні дослідження міцності залізобетонних елементів при дії поперечних сил. Будівельні конструкції. Теорія і практика, (14), 4–18. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.14.2024.4-18>
5. Бамбура А.М. Деформування і руйнування залізобетонних колон круглого перерізу при поперечному вигині і сумісній дії позапентрового стиснення і поперечного вигину/ А.Н. Бамбура, Давиденко О.О., Давиденко О.І., Березін В. Б.// Наука та будівництво. -2015. -3. – С. 36-39.

Calculation of Inclined Sections of Reinforced Concrete Beams Using the Deformation Method

Oleksandr Zhuravskiy¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, <https://orcid.org/0000-0001-7065-3312>

Andrii Bambura², Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Structural Reliability Department, <https://orcid.org/0000-0003-1402-3345>

Georgii Voitsekhivskiy¹, Postgraduate Student, Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, <https://orcid.org/0009-0007-3436-3490>.

¹*Kyiv National University of Construction and Architecture*

²*SE “State Research Institute of Building Structures” (Kyiv)*

The current regulatory documents [1, 2] do not contain comprehensive guidelines for the calculation of reinforced concrete beams with inclined sections, which requires detailed provisions.

In [1] and [3], the deformation method based on physically sound assumptions is used to assess the bearing capacity. It involves checking the strength of the compressed zone of concrete and determining the parameters of transverse reinforcement.

The calculation involves two stages: first, the concrete's ability to absorb the transverse force is assessed, and if it is insufficient, transverse reinforcement is designed. For elements without calculated reinforcement, the resistance is determined taking into account the longitudinal reinforcement, geometry and stress state.

If the ultimate concrete resistance is exceeded, a “truss model” is used to estimate the forces in the transverse reinforcement with restrictions on angles, material characteristics, and design features. However, this model has significant drawbacks, including a simplified representation of the stress-strain state and material conditions, which reduces the accuracy of the load-carrying capacity assessment. In addition, it is based on empirical coefficients, whose certainty is often conditional [4].

Despite numerous studies, the methods for calculating the effect of transverse forces on inclined sections remain imperfect, as they only partially take into account the actual stress-strain state and other important factors [4].

Therefore, there is an urgent need to conduct further research on the resistance of reinforced concrete beams in inclined sections based on the deformation method, which was conducted by the SE “State Research Institute of Building Structures” [5].

This study makes it possible to develop a methodology for analyzing the stress-strain state and bearing capacity of beams under the action of transverse force and moment using a complete concrete deformation diagram and to improve current building codes [2]. The practical value lies in the rational selection of cross-section and reinforcement, which will ensure the reliability and durability of structures.

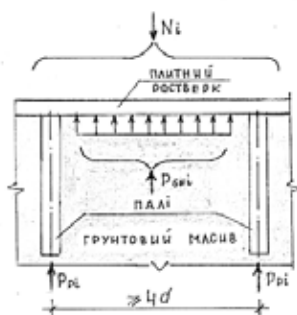
1. DBN V.2.6-98: 2009. Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Main provisions. With amendment No. 1 - *Ministry of Regional Development of Ukraine. Kyiv, 2011. 71 p. valid 01.06.2020.*
2. DSTU B.V.2.6-156:2010. Concrete and Reinforced Concrete Structures of Heavy Concrete. Design Rules – *Ministry of Regional Development of Ukraine. Kyiv, 2011. 166 p. valid 01.06.2011.*
3. EN 1992-1:2001 (Final Draft, April, 2002) Eurocode-2: Design of Concrete Structures Part 1: General Rules and Rules for Building. - *Brussels, 2002. - October - 230 p.*
4. Klymov Y., Smorkalov D. Experimental Studies of the Strength of Reinforced Concrete Elements under Shear Forces // *Building Structures: Theory and Practice. – 2024. – Issue 14. – P. 4–18. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.14.2024.4-18>*
5. Bambura A.N. Deformation and destruction of reinforced concrete columns of circular cross-section under transverse bending and combined action of off-center compression and transverse bending / A.N. Bambura, O.O. Davydenko, O.I. Davydenko, V.B. Berezin // *Science and Construction. -2015. -3. - C. 36-39.*

Суцільні залізобетонні плитні та комбіновані плитно-пальові фундаменти: особливості та перспективи застосування

Володимир Крпак, канд. техн. наук, професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-6575-5015>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Суцільні залізобетонні плитні фундаменти є одним з найбільш поширених рішень у сучасному будівництві, особливо при зведенні багатопверхових каркасних і панельних будівель, а також промислових споруд, таких як силоси, елеватори, димові труби та інші об'єкти зі значними навантаженнями [1]. Їхня основна перевага полягає в здатності ефективно перерозподіляти нерівномірні навантаження на ґрунтову основу, що особливо важливо при будівництві на слабких, нерівномірно стислих або обводнених ґрунтах.



Особливу увагу заслуговують комбіновані плитно-пальові фундаменти (ППФ), які поєднують переваги традиційних плитних фундаментів і пальових основ. Як зазначено [1], найбільш раціональним є розміщення паль у таких фундаментах у вигляді куців (рис.1) або рядів у опорних зонах несучих колон і стін з мінімальним кроком. При такому конструктивному рішенні плита компонента проявляє свою роботу переважно в прольотних та міжкущових зонах, а не безпосередньо між пальями.

Важливою особливістю ППФ є відсутність жорстких обмежень щодо частки навантаження, яке може сприйматися самою плитою. Цей параметр визначається індивідуально для кожного проекту і залежить від конкретних умов будівництва та характеристик ґрунтової основи [1].

Рис.1. Плитно-пальовий фундамент [1]

Така гнучкість дозволяє оптимізувати конструкцію фундаменту, досягаючи максимальної ефективності при мінімальних витратах матеріалів.

Дослідження показують, що комбіновані плитно-пальові фундаменти мають ряд істотних переваг:

- зменшення загальної осадки будівлі за рахунок оптимального розподілу навантаження між пальями і плитою;
- економія матеріалів - можливість зменшення товщини плити та кількості паль у порівнянні з традиційними рішеннями;
- підвищена стійкість до нерівномірних деформацій ґрунту.
- універсальність застосування - можливість використання різних типів паль, включаючи бурунабивні, забивні та барет-палі.

Проте, як зазначено в роботі [1], широке впровадження плитно-пальових фундаментів стримується декількома факторами. Серед них - недостатня розробленість нормативної бази, обмежена кількість практичних досліджень роботи таких конструкцій у різних ґрунтових умовах, а також необхідність більш точних методів розрахунку взаємодії між пальями, плитою і ґрунтовою основою.

Перспективним напрямком розвитку є подальші дослідження роботи плитно-пальових фундаментів, розробка уточнених методів їх розрахунку та створення відповідної нормативної бази. Це дозволить ширше застосовувати такі ефективні конструктивні рішення у будівництві, особливо в складних ґрунтових умовах..

1. Крпак, В. (2023). Комплексний плитно-пальовий фундамент. Будівельні конструкції. Теорія і практика, (13), 30–40. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.13.2023.30-40>

Solid reinforced concrete slab foundations and combined slab-pile foundations: features and application prospects

Volodymyr Kripak, Ph.D. in Technical Sciences, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, <https://orcid.org/0000-0001-6575-5015>

Kyiv National University of Construction and Architecture

Solid reinforced concrete slab foundations are among the most common solutions in modern construction, particularly for multi-story frame and panel buildings, as well as industrial structures such as silos, elevators, chimneys, and other objects with significant loads [1]. Their main advantage lies in the ability to effectively redistribute uneven loads to the soil base, which is especially important when constructing on weak, unevenly compressible, or water-saturated soils.

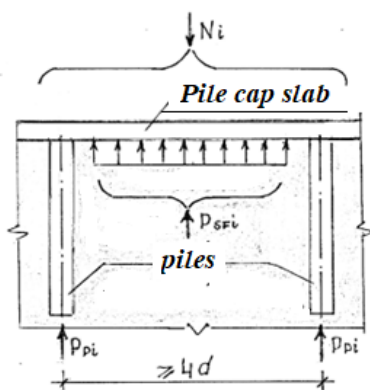


Fig.1 Slab-pile foundation [1]

Special attention should be paid to combined slab-pile foundations (SPF), which combine the advantages of traditional slab foundations and pile foundations. As noted in [1], the most rational arrangement of piles in such foundations is in clusters (Fig. 1) or rows in the support zones of load-bearing columns and walls with minimal spacing. With this design solution, the slab component primarily functions in the span and inter-cluster zones, rather than directly between the piles.

An important feature of SPF is the absence of strict limitations regarding the proportion of load that can be borne by the slab itself. This parameter is determined individually for each project and depends on specific construction conditions and soil base characteristics [1].

Such flexibility allows for optimization of the foundation design, achieving maximum efficiency with minimal material costs.

Research shows that combined slab-pile foundations offer several significant advantages:

- reduction of overall building settlement due to optimal load distribution between piles and the slab;
- material savings - the possibility of reducing slab thickness and the number of piles compared to traditional solutions;
- increased resistance to uneven soil deformations;
- versatility of application - the ability to use various types of piles, including bored, driven, and barrette piles.

However, as noted in [1], the widespread implementation of slab-pile foundations is hindered by several factors. These include insufficient development of regulatory standards, limited practical research on the performance of such structures in various soil conditions, and the need for more accurate methods of calculating the interaction between piles, the slab, and the soil base.

A promising direction for development is further research on the performance of slab-pile foundations, the development of refined calculation methods, and the creation of appropriate regulatory standards. This will allow for broader application of such effective structural solutions in construction, especially in complex soil conditions.

Нормування застосування металеві арматури періодичного профілю в конструкціях мостів та труб. Зміна № 1 ДБН В.2.3-14:2006

Ігор Бабяк, канд.техн.наук, с. н. с., завідувач відділу надійності конструкцій будівель і споруд, <https://orcid.org/0000-0002-3732-2439>

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

Основним документом, який містить принципи використання арматури, зокрема періодичного профілю, для армування залізобетонних конструкцій мостів та труб, донедавна був ДБН В.2.3-14:2006. Під час проектування конструкцій мостів та труб, які розраховують на витривалість, відповідно до ДБН В.2.3-14, можливим було використання виключно арматури згідно з ГОСТ 5781-82.

Чинність ГОСТ 5781-82 в Україні періодично скасовували. Крайня втрата чинності (01.04.2022) фактично спричинила зупинку проектування та будівництва транспортних споруд там, де необхідним було застосовувати конструкції, які розраховують на витривалість.

Разом з тим, набув чинності ДСТУ 9130:2021. Аналіз ДСТУ 9130:2021 показав, що арматурний прокат згідно з ДСТУ 9130:2021 достатньо близький за вимогами до арматурного прокату згідно з ГОСТ 5781-82. Зокрема, має подібний профіль, геометричні розміри. Це, в свою чергу, є значною перевагою, оскільки дозволяє застосовувати пов'язані із цим напрацювання щодо конструювання під час проектування залізобетонних конструкцій. Разом з тим, окремі положення ДСТУ 9130:2021 відрізняються від положень ГОСТ 5781-82. Постало питання можливості застосування арматурного прокату згідно з ДСТУ 9130:2021 для конструкцій мостів та труб.

Разом з тим, ДБН В.2.3-14:2006 передбачено використання арматури періодичного профілю згідно з ДСТУ 3760-98, на заміну якого прийнято ДСТУ 3760:2019, але було обмежено конструкціями, які не сприймають багаторазові повторні навантаження.

Беручи до уваги складну ситуацію з невирішеним у ДБН питанням щодо застосування арматури періодичного профілю, державним підприємством «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ») було розроблено зміну № 1 ДБН В.2.3-14:2006. Робота тривала більше чотирьох років і охоплювала дослідницьку частину, розроблення зміни № 2 ДСТУ 3760:2019 та розроблення зміни № 1 ДБН В.2.3-14:2006. За результатом роботи, з 01.12.2024 набула чинності зміна № 1 ДБН В.2.3-14:2006.

У зміні № 1 ДБН В.2.3-14:2006 уточнено характеристики арматури періодичного профілю, які потрібно приймати під час проектування. Умови використання арматури виписано у відповідних пунктах та наведено характеристики у відповідних таблицях. Для оптимального вибору арматури виписано вимоги до арматури, яку потрібно застосовувати для конструкцій, які розраховують на витривалість та, окремо, для інших випадків.

Для проєктувальника у зміні № 1 ДБН В.2.3-14:2006 рекомендовано застосовувати при проєктуванні різних видів конструкцій відповідні документи, які мають статус рекомендацій, що дозволяє уникати помилок застосовуючи перевірені рішення.

У зміні № 1 ДБН В.2.3-14:2006, також, передбачено можливість використання нових арматурних сталей на випадок, якщо не буде можливості використовувати передбачені нормами та виписано як саме це можна робити.

Висновки. Набуття чинності зміни № 1 ДБН В.2.3-14:2006 вирішило проблему відсутності у будівельних нормах арматурного прокату періодичного профілю для армування конструкцій, які розраховують на витривалість після припинення чинності ГОСТ 5781-82. Зміна № 1 ДБН В.2.3-14:2006 дає можливість застосовувати арматурний прокат періодичного профілю відповідно до усіх чинних в Україні на даний час стандартів, які встановлюють вимоги до арматури, що розширює можливості проєктувальника.

1 Бабяк І.П. Віхоть С.І. Дослідження арматури періодичного профілю А-Шв та перспективи її застосування для плит прогонових будов мостів. Збірник наукових праць «Дороги і мости». Київ, 2023. Вип. 27. С. 216–227. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.216>

Standardization of the use of periodic profile metal rebar in bridge and pipe structures. Amendment No. 1 DBN V.2.3-14:2006

Ihor Babyak, candidate of technical sciences, senior researcher, head of the department of reliability of structures of buildings and structures, <https://orcid.org/0000-0002-3732-2439>

State enterprise «National Institute for Development Infrastructure» – «NIDI» SE, Kyiv, Ukraine

The main document containing the principles of using rebar, in particular periodic profile, for reinforcing reinforced concrete structures of bridges and pipes, until recently was DBN V.2.3-14:2006 (State Building Norms). When designing bridge and pipe structures that are designed for endurance, in accordance with DBN V.2.3-14, it was possible to use only rebar according to GOST 5781 82.

The validity of GOST 5781-82 in Ukraine was periodically canceled. The final loss of validity (01.04.2022) actually caused a halt to the design and construction of transport structures where it was necessary to use structures that are designed for endurance.

At the same time, DSTU 9130:2021 came into validity. Analysis of DSTU 9130:2021 showed that the rebar of periodic profile according to DSTU 9130:2021 is quite close in requirements to the rebar according to GOST 5781-82. In particular, it has a similar profile, geometric dimensions. This, in turn, is a significant advantage, since it allows the use of related design developments when designing reinforced concrete structures. However, some provisions of DSTU 9130:2021 differ from the provisions of GOST 5781-82. The question arose of the possibility of using rebar according to DSTU 9130:2021 for bridge and pipe structures.

At the same time, DBN V.2.3-14:2006 provided for the use of periodic profile rebar in accordance with DSTU 3760-98, which was replaced by DSTU 3760:2019, but only for structures that do not accept multiple repeated loads. Taking into account the difficult situation with the unresolved issue in DBN regarding the use of periodic profile rebar, the State Enterprise "National Institute for Development Infrastructure " (SE "NIDI") developed Amendment No. 1 to DBN V.2.3-14:2006 . The work lasted more than four years and included the research part, the development of Amendment No. 2 to DSTU 3760:2019 and the development of Amendment No. 1 to DBN V.2.3-14:2006. As a result of the work, Amendment No. 1 to DBN V.2.3-14:2006 came into force on 01.12.2024.

Amendment No. 1 to DBN V.2.3-14:2006 specifies the characteristics of periodic profile rebar that must be taken into account during design. The conditions for using rebar are listed in the relevant paragraphs and the characteristics are given in the relevant tables. For the optimal selection of rebar, requirements for rebar that must be used for structures that calculate on endurance and, separately, for other cases are listed.

For the designer, Amendment No. 1 to DBN V.2.3-14:2006 recommends using the relevant documents that have the status of recommendations when designing various types of structures, which allows you to avoid mistakes by applying proven solutions.

Amendment No. 1 to DBN V.2.3-14:2006 also provides for the possibility of using other type of rebar in case it is not possible to use those provided for by the norms and specifies how this can be done.

Conclusions. The entry into force of change No. 1 of DBN V.2.3-14:2006 solved the problem of the absence in building norms of rebar of periodic profile for reinforcing of structures that calculate on endurance, after the termination of GOST 5781-82. Accordingly, this made it possible to develop design documentation. Amendment No. 1 to DBN V.2.3-14:2006 makes it possible to use periodic profile rebar in accordance with all standards currently in force in Ukraine that establish requirements for rebar, which expands the capabilities of the designer.

1 Babiak I.P. Vikhot S.I. Doslidzhennia armatury periodychnoho profilu A-IIIv ta perspektyvy yii zastosuvannia dlia plyt prohonovykh budov moviv (Research of A-IIIv periodic profile reinforcement and its application prospects for slabs of spans of bridges). Dorohy i mosty (Roads and bridges). Kyiv, 2023. Vyp. 27. S. 216–227.

<https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.216>

Монолітні несучі горизонтальні залізобетонні конструкції як основний елемент системи забезпечення клімату будинку

Володимир Брунько, керівник відділу¹, директор², <https://orcid.org/0009-0009-9619-3524>

АТ «КиївЗНДІЕП»¹, ТОВ «НКЦ «Інвестсервіс»², (м.Київ)



Рис. 1 «Етажерка» - будівля конструктивної схеми повний монолітний залізобетонний каркас



Рис. 2 Контур системи табс (tabs) в монолітній плиті

Метою дослідження було експериментальне підтвердження можливості забезпечити санітарно-гігієнічні вимоги до приміщень будівлі шляхом використання системи табс – термоактивні адаптивні будівельні системи (thermoactive accumulative adaptive building system, controlled thermal mass conception). Дослідження проводились на 24 об'єктах площею від 200 до 5 тис.м2 громадського та житлового призначення числом поверхів від 2 до 5 в період від 2010 до 2025 року включно.

Система табс – це безпосередній контроль температури несучих горизонтальних елементів будівлі будь-якого призначення, будь-якого об'ємно-планувального рішення, будь-якого числа поверхів з метою забезпечення санітарно-гігієнічних вимог приміщень.

В опалювальний період система працює подачею в контур ПЕ труб (розміщених між верхньою та нижньою арматурою плит фундаменту, перекриття та покриття) води (з етиленгліколем 6%) температурою 25..27С°. Зворотня - +20..21С°. В літній період подається вода +21..22С°. Зворотня – 24..25С°. Система створює температуро -кліматичний потенціал будівлі в 0,24..0,26 кВт*год на 1 м2 на 1С°.

Енергетичні характеристики типових будівель, кВт*год/м2 в рік:

- | | |
|---|-------------------------------------|
| - Сумарне – 45...48 | - Систем опалення – 14...16 |
| - Гаряче водопостачання – 17...19 | - Систем охолодження – 2...2,3 |
| - Первинної енергії – 115...118 | - Парникових газів, кг/м2 – 18...20 |
| - Питоме на нагрів та охолодження – 16...18 | - Клас енергоефективності – «А++» |

Вказаний температурний діапазон та енергетичні характеристики будівель спроектованих, побудованих та експлуатованих в системі *табс* забезпечує можливість максимально повного та економічно вигідного використання всіх типів та систем відновлювальних джерел енергії. Типовим і базовим є рішення на базі теплового насосу (будь-якого типу) який разом з системою *табс* стає основою забезпечення санітарно-гігієнічних вимог до приміщень будинку, будівлі: нагрів, охолодження, підготовка повітря системи вентиляції а також, гарячого водопостачання.

Забезпечується реалізація Engineering Open Space Conception цілей и вимог active and passive house conceptions, nzeb, zero carbon emission, green building, sustainable architecture and development, 17 goals UN. Вартість монолітного каркасу з системою табс за контрактами design and build turn key – 170-180 у.о./м2 загальної площі будівлі. Експлуатаційні витрати балансоутримувача – 3..4 кВт*год електричної енергії на м2 на місяць в зимовий період та 1,3..1,5 – в літній. *Запровадження системи табс системно та радикально збільшує споживчу цінність, важливість, вагу і значення конструктивної системи будинків, будівель.*

Monolithic load-bearing horizontal reinforced concrete structures as the main element of the home climate system

Volodymyr Brunko, Head of the Department, Director, <https://orcid.org/0009-0009-9619-3524>

JSC "KyivZNDIEP", LLC "NCC "Investservice"



Fig.1 "Shelf" - building of a structural scheme full monolithic reinforced concrete frame



Fig.2 Outline of the tabs system in a monolithic slab

The purpose of the study was to experimentally confirm the possibility of providing sanitary and hygienic requirements for the premises of the building by using the *taabs* system – thermoactive accumulative adaptive building system (controlled thermal mass conception). The studies were carried out on 24 objects with an area of 200 to 5 thousand m² of public and residential purposes with the number of floors from 2 to 5 in the period from 2010 to 2025 inclusive.

The *taabs* system is a direct control of the temperature of the load-bearing horizontal elements of a building for any purpose, any volumetric planning solution, any number of floors in order to ensure the sanitary and hygienic requirements of the premises.

During the heating period, the system works by supplying water (with ethylene glycol 6%) to the PE circuit of pipes (located between the upper and lower reinforcements of the foundation slabs, floors and coatings) at a temperature of 25...27 °C. Reverse - +20...21Co. In the summer, water is supplied +21...22C. Reverse – 24..25Co. The system creates a temperature and climatic potential of the building of 0. 24..0.26 kWh per 1 m² per 1 Co.

Energy characteristics of typical buildings, kWh/m² per year:

- | | |
|--|---|
| - Total – 45...48 | - Heating – 14...16 |
| - Hot water – 17...19 | - Cooling – 2...2,3 |
| - Primary energy – 115...118 | - Greenhouse gases, кг/m ² – 18...20 |
| - Specific heating and cooling – 16...18 | - Energy efficiency class – «A++» |

The specified temperature range and energy characteristics of buildings designed, constructed and operated in the *taabs* system provides the possibility of the most complete and cost-effective use of all types and systems of renewable energy sources. A typical and basic solution is based on a heat pump (of any type), which, together with the *taabs* system, becomes the basis for ensuring sanitary and hygienic requirements for the premises of the house, building: heating, cooling, air preparation, ventilation system, as well as hot water supply.

Implementation is provided Engineering Open Space Conception, goals and requirements active and passive house conceptions, nzeb, zero carbon emission, green building, sustainable architecture and development, 17 goals UN. The cost of a monolithic frame with a *taabs* system under design and build turn key contracts is 170-180 USD / m² of the total area of the building. Operating costs of the asset holder – 3...4 kWh of electricity per m² per month in winter and 1.3...1.5 – in summer. *The introduction of the taabs system systematically and radically increases the consumer value, importance, weight and significance of the structural system of houses and buildings.*

Розвиток державної концепції «країна-фортеця»

Артем Білик^{1,2}, канд. техн. наук, доцент кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-9219-920X>;

Сергій Білик², докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-8783-5892>

¹*Науково-дослідний інститут ВР (м. Київ)*

²*Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)*

В період війни захисні споруди набувають особливого значення, на рівні із ППО та іншими заходами захисту. Це баланс співвідношення часу, ресурсів і рівня захищеності активів. Захисні споруди поділяються на фортифікаційні (застосовні на фронті), споруди цивільного захисту (призначені для укриття населення) та споруди інженерного захисту (СІЗ), призначені для захисту об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ). Нові ризики, пов'язані із повномасштабним вторгненням РФ, зумовлені застосуванням насамперед засобів повітряного нападу (ЗПН), та відповідними факторами ураження від них – БпЛА-камікадзе, ракети, прямі влучання, близькі вибухи, осколки, падіння уламків, займання тощо, які потребують врахування. «Країна-Фортеця» – концепція, розроблена колективом авторів [1,2] у 2022-2023 роках з фокусом на СІЗ для захисту ОКІ, розвинена у 2023-2025 роках, затверджена Постановою КМУ [4]. Вона передбачає вимоги та типові конструктивні рішення для трьох рівнів СІЗ: I р. – непрямі влучання БпЛА та ракет, II р. – прямі влучання БпЛА та непрямі влучання ракет, III р. – прямі влучання ракет. Наразі триває державне впровадження концепції для захисту ОКІ. Зведені СІЗ вже показали значні захисні властивості. В тому числі масове спорудження СІЗ для захисту об'єктів енергетики, дозволило пройти зиму 2024-25 років практично без блекаутів. Споруди I р., в основному габійні, забезпечили прийнятний рівень захисту за малий час і кошти. Споруди II р. показали високий рівень захищеності і врятували елементи ОКІ у сотнях прямих влучань БпЛА. На основі «Країна-Фортеця» на місцевому рівні розроблена концепція «Місто-Фортеця» [4].

Напрямами вдосконалення концепції [4] на наш погляд мають бути: 1.- широке впровадження концепції «Країна-Фортеця», розширення номенклатури об'єктів різних галузей як цивільного і промислового призначення; 2.- вдосконалення вимог до СІЗ, в зв'язку із вдосконаленням противника ЗПН та тактики їх застосування. Це насамперед нові БЧ у ЗПН (збільшеної потужності, термобаричні, дуплетні, касетні, з додатковими уражувальними елементами, ударними ядрами, кумулятивами, вдосконаленими підривачами), підвищення точності ударів, зростання кількості атак, проведення повторних атак, зростання кількості атак на цивільні об'єкти тощо; 3.- розвиток положень проєктування, методик розрахунку СІЗ на дію ЗПН [3]; 4.-впровадження нових класів захисних споруд, захищених просторів у житлових і громадських будинках, підсилення існуючих будівель з нульовою живучістю, застосування первинних швидкокомтованих укриттів, розрахованих на дію ЗПН; 5. оснащення будинків засобами першочергового укріплення, ремонту. Додатково слід впроваджувати програми широкого навчання населення домедичної допомоги, саморятуння та розбирання завалів по типу програми «Білі шоломи» [<https://whitehelmets.org/>].

1. Основи інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України від засобів повітряного нападу противника /М.В. Коваль, В.В. Коваль, А.С. Білик, В.І. Коцюрба, О.М. Кубраков; під ред. А.С.Білика. – К.: ГШ ЗСУ, 2023 – 180 с.
2. Bilyk A., Kotsiuruba, V., Bzot, V., & Dzeverin, I. (2023). Захист об'єктів критичної інфраструктури України від прямих влучань ракет за допомогою підземного розташування. Ядерна та радіаційна безпека, №2(98), 69-79.
3. Ternovyy M. I., Bilyk A. S., Daurov M. K. A new research method for the dynamic properties of the steel roof trusses using reducing bending rigidity and the shear deformation of the ideal i-beam model// Future of science: innovations and perspectives. Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference. SSPG Publish. Stockholm, Sweden. 2025. Pp. 69-72.
4. Постанова КМУ №471 від 26.4.2024 (Країна-Фортеця).

Development of the State concept of the "Fortress-Country"

Artem Bilyk^{1,2}, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of steel and timber structures, <https://orcid.org/0000-0002-9219-920X>;

*Serhiy Bilyk*², Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of steel and timber structures, <https://orcid.org/0000-0001-8783-5892>

Research Institute of the VR
Kyiv National University of Construction and Architecture

During wartime, protective structures gain particular importance, standing on par with air defense systems and other protection measures. This represents a balance of time, resources, and the protection of assets. Protective structures are classified into fortifications (used at the frontline), civil defense structures (designed for the protection of the civilians), and engineering protective structures (EPS) intended for securing critical national infrastructure objects (CNI). The new risks associated with Russia's full-scale invasion primarily arise from the use of aerial attack systems (AAS) and their resulting damage factors - such as kamikaze drones, missiles, direct strikes, nearby explosions, fragments, falling debris, fires, and more. "Fortress Country" is a concept developed by a group of authors [1,2] during 2022-2023, focusing on EPS for protecting CNIs. It was further refined in 2023-2025 and officially adopted through CMU Resolution No. 471 on April 26, 2024 [5]. This concept includes requirements and standard construction solutions for three levels of EPS: 1. Indirect strikes from drones and missiles; 2. Direct strikes from drones and indirect strikes from missiles; 3. Direct missile strikes. The state is currently implementing this concept to protect CNIs. The designed EPS have already demonstrated high protective efficiency. For example, the widespread application of "Fortress Country" for protecting energy CNIs allowed Ukraine to endure the winter of 2024–2025 almost without blackouts. Level-1 structures, mainly gabion-based, provided an acceptable protection level with minimal time and costs. Level-2 structures showcased high protective capabilities, saving CNIs components from hundreds of direct drone strikes. Later, based on "Fortress Country", a localized initiative called "Fortress City" [6] was introduced. Key directions for further improving "Fortress Country" include the following perspectives: 1.-The widespread implementation of the "Fortress Country" concept, expanding the range of objects across various sectors for both civilian and industrial purposes. 2-Improvement of requirements for EPS due to advancements in enemy AAS and their tactics. This includes new warheads (enhanced power, thermobaric, doublet, cluster, additional damaging elements, impact cannonballs, shaped charges, improved fuses), increased strike accuracy, a growing number of attacks, repeated attacks, and a frequency of attacks on civilian objects. 3-Development of design and calculation methodologies for EPS under the actions of AAS [3]. 4.-Introduction of new classes of protective structures, protected spaces in residential and public buildings, reinforcement of existing buildings with zero vitality, and the application of primary quick-assembly shelters designed to withstand AAS. 5.-Equipping buildings with means for emergency reinforcement and repair.

Additionally, it is necessary to implement programs for widespread population training in first aid, self-rescue, and debris clearing, similar to the "White Helmets" program [<https://whitehelmets.org/>].

1. Fundamentals of engineering protection of critical infrastructure facilities of the energy sector of Ukraine from enemy air attack / M.Koval, V.Koval, A.Bilyk, V.Kotsiuruba, O. Kubrakov; ed. A.S. Bilyk. – K.: GS AFU, 2023 – 180 p.
2. Bilyk A., Kotsiuruba, V., Bzot, V., & Dzeverin, I. (2023). Protection of critical infrastructure facilities of Ukraine from direct missile hits using underground location. Nuclear and Radiation Safety, №2(98), 69-79.
3. Ternovsky M. I., Bilyk A. S., Durov M. K. A new research method for the dynamic properties of the steel roof trusses using reducing bending rigidity and the shear deformation of the ideal i-beam model/ // Future of science: innovations and perspectives. Proc. of the 3rd International scientific and practical conference. SSPG Sweden. 2025. Pp. 69-72.
4. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 471 of 26.4.2024 (Fortress Country)

Деформаційні характеристики масивної, клеєної та перехресно-клеєної деревини: експериментальні дослідження та чисельне моделювання

Сергій Білик, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри металевих та дерев'яних конструкцій; <https://orcid.org/0000-0001-8783-5892>

Дмитро Бітюков, аспірант кафедри металевих та дерев'яних конструкцій; <https://orcid.org/0009-0002-1438-7595>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Деревина є важливим будівельним матеріалом, який широко використовується завдяки своїм унікальним властивостям. У сучасному будівництві зростає потреба у матеріалах, здатних забезпечувати високу надійність та довговічність у складних умовах експлуатації. Це стимулює розвиток нових технологій обробки деревини, зокрема виготовлення клеєних та перехресно-клеєних дерев'яних елементів. Клеєна деревина (glulam) та перехресно-клеєна деревина (CLT) все частіше розглядаються як альтернатива бетону та сталі [2, 3].

Мета досліджень полягає у визначенні впливу типу деревини на деформаційні характеристики балочних елементів та оцінці точності теоретичних моделей розрахунку. Дослідження спрямоване на порівняння експериментально отриманих фізико-механічних характеристик балок з масивної, клеєної та перехресно-клеєної деревини з теоретичними розрахунками. Проведено комплексні експериментальні дослідження деформаційних характеристик трьох видів дерев'яних конструкційних матеріалів. Експериментальний підхід включав аналіз залежностей між зусиллям і прогином, розраховано модифіковані модулі деформації (модулі деформації з урахуванням модулів деформації зсуву), а також побудовано експериментальні графіки деформації та модулів деформації досліджуваних екземплярів [1]. Теоретичні розрахунки були виконані у програмному комплексі Dlubal RFEM 5. Для підвищення достовірності результатів реалізовано три варіанти моделювання: 1D стрижневі кінцеві елементи, тривимірні кінцеві елементи та тривимірні кінцеві елементи з урахуванням напрямку волокон ламелей. Отримані результати вказують на більші деформації перехресно-клеєної деревини порівняно із масивною та клеєною деревиною. Клеєна деревина показала співвідносні результати із масивною деревиною. Порівняльний аналіз результатів показав відповідність між теоретично розрахованими та експериментально визначеними значеннями прогинів, що підтверджує адекватність застосованих моделей розрахунку.

Кожен матеріал (масивна, клеєна та перехресно-клеєна деревина) демонструє унікальні переваги, що підкреслює їх придатність для конкретних конструкційних застосувань на основі навантажень і експлуатаційних вимог. Характеристики моделей матеріалів, закладені у програмному забезпеченні, коректно відображають фізико-механічні властивості досліджуваних типів деревини. У випадку перехресно-клеєної деревини виявлено деякі відхилення між теоретичними та фактичними даними, що пов'язано зі складною анізотропною структурою цього композитного матеріалу. Уточнені закономірності деформативності видів дерев'яних виробів за приведеним модулем деформації і конструктивними ознаками, що можуть бути використані при моделюванні конструкцій більших прольотів.

1. Бітюков Д., Білик С. (2025). Визначення та аналіз фізико-механічних характеристик балок з масивної, клеєної та перехресно-клеєної деревини. Просторовий розвиток: Науковий збірник, Вип. 11, 265-281. DOI: [10.32347/2786-7269.2025.11.265-281](https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.11.265-281)
2. Михайловський, Д., Комар, М., Склярова, Т., Бондарчук, Б. (2024). Застосування клеєної та поперечно-клеєної деревини при реконструкції та новому будівництві. Будівельні конструкції. Теорія і практика, (15), 54–65. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.54-65>
3. Михайловський, Д., Комар, М., & Комар, О. (2024). Аналіз напружено-деформованого стану плит з перехресно-клеєної деревини підсилені композитними стрічками. Будівельні конструкції. Теорія і практика, (14), 29–40. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.14.2024.29-40>

Deformation properties of massive, glued laminated and cross-laminated timber: experimental studies and numerical modeling

Serhiy Bilyk, *doctor of technical sciences, head of the Department of Steel and Timber Structures*, <https://orcid.org/0000-0001-8783-5892>

Dmytro Bitiukov, *postgraduate student of the Department of Steel and Timber Structures*, <https://orcid.org/0009-0002-1438-7595>

Kyiv National University of Construction and Architecture

Timber is an important construction material that is widely used due to its unique properties: environmental friendliness, affordability, aesthetic appeal, and high strength-to-weight ratio. In modern construction, there is a growing need for materials capable of providing high reliability and durability in difficult operating conditions. This stimulates the development of new wood processing technologies, in particular the production of glued and cross-laminated timber elements. Glued laminated timber (glulam) and cross-laminated timber (CLT) are increasingly being considered as an alternative to concrete and steel [2, 3].

The purpose of the research is to determine the influence of the type of timber on the deformation characteristics of beam elements and to assess the accuracy of theoretical calculation models. The study is aimed at comparing experimentally obtained physical and mechanical properties of beams made of massive, glulam and CLT with theoretical calculations.

Comprehensive experimental studies of the deformation characteristics of three types of wooden structural materials were carried out: massive, glued laminated and cross-laminated timber. The experimental approach included an analysis of the dependence between loading and deflection, the modified deformation modulus were calculated (deformation modulus taking into account shear modulus), and experimental graphs of deformations and deformation moduli of the studied specimens were prepared [1]. Theoretical calculations were performed in the Dlubal RFEM 5 software. To increase the reliability of the results, three modeling options were implemented: 1D finite elements, 3D finite elements and 3D finite elements taking into account the direction of the lamella fibers. The obtained results indicate a reduced deformation resistance of CLT compared to massive and glulam timber. Glued laminated timber showed comparable results with massive timber. Comparative analysis of the results showed the correspondence between the theoretically calculated and experimentally determined deflection values, which confirms the adequacy of the applied calculation models.

Each material (massive, glulam and CLT) demonstrates unique advantages, which emphasizes their suitability for specific structural applications based on loads and operational requirements. The characteristics of the material models correctly reflect the physical and mechanical properties of the studied timber types. In the case of cross-laminated timber, some deviations between the theoretical and actual data were found, which is associated with the complex anisotropic structure of this composite material.

The regularities of deformability of types of studied timber materials according to the modified deformation modulus and structural features that can be applied in larger span structures modeling have been specified.

1. Bitiukov D., Bilyk S. (2025). Vyznachennia ta analiz fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk balok z masyvnoi, kleienoi ta perekhresno-kleienoi derevyny. Prostorovyi rozvytok: Naukovyi zbirnyk, Vyp. 11, 265-281. DOI: [10.32347/2786-7269.2025.11.265-281](https://doi.org/10.32347/2786-7269.2025.11.265-281)
2. Mykhailovskyi, D., Komar, M., Skliarova, T., Bondarchuk, . B. (2024). Zastosuvannia kleienoi ta poperechno-kleienoi derevyny pry rekonstruktsii ta novomu budivnytstvi. Budivnelni konstruktsii. Teoria i praktyka, (15), 54–65. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.54-65>
3. Mykhailovskyi, D., Komar, M., & Komar, O. (2024). Analiz napruzhenno-deformovanoho stanu plyt z perekhresno-kleienoi derevyny pidslennykh kompozytnymy strichkamy. Budivnelni konstruktsii. Teoria i praktyka, (14), 29–40. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.14.2024.29-40>

Моделювання дії ударно-вибухових впливів на комбіновані перекриття

Микита Біляєв, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій
<https://orcid.org/0009-0000-1027-9285>

Сергій Білик, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри металевих і дерев'яних конструкцій <https://orcid.org/0000-0001-8783-5892>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

В Україні, як і в інших країнах, актуальним є розвиток і використання ефективних швидкозбірних конструкцій. Війна при цьому накладає свій відбиток на всю будівельну галузь. І протягом війни, і у післявоєнний час до конструкцій в Україні тепер будуть висуватися підвищені вимоги щодо стійкості до аварійних ситуацій з відповідними епізодичними навантаженнями та живучості (запобігання прогресуючому руйнуванню).

Світова практика будівництва визначила застосування сталезалізобетонних і комбінованих конструкцій у перекриттях одним з найефективніших конструктивів. Завдяки ряду прийомів в них можна досягти високих показників використання і економії матеріалів. Перелік цих прийомів також певним чином дозволяє відслідкувати еволюцію інженерної думки.

Тип конструкцій, що розглядається, привносить додаткові покращення:

- збільшення жорсткості і несучої здатності без збільшення ваги за рахунок перфорацій;
- повністю збірна конструкція (сталеві балки і збірні залізобетонні плити);
- можливість пропуску комунікацій у створі балок;
- естетичний зовнішній вигляд з круглими перфораціями.

Повна збірність конструкції є великою перевагою. Нажаль досвід військових дій показав наскільки крупнопанельні радянські будівлі є вразливими і схильними до прогресуючих руйнувань. Надалі будь-яка повністю збірна технологія має і буде найбільш прискіпливо з помір іншими розглядатися з точки зору оцінки живучості.

Наявні нормативні документи [1, 2] дають окремі сценарії визначених аварійних навантажень, які часто не відповідають сьогочасним реаліям України, або вимоги загальної багатозв'язності конструкції для протидії невизначеним аварійним ситуаціям. Тому необхідна розробка адекватних методик визначення і моделювання ударно-вибухових впливів заданої потужності, рекомендацій щодо оптимізації конструктиву, зменшення прольотів і кроку балок перекриття. Наявні методики визначення вибухових впливів [3,4] при невеликих відстанях до об'єкту (прямому влучанні) дають завищені значення навантажень, що дозволяє вести мову тільки про обмеження руйнувань, а не недопущення руйнування. Звісно якщо не вести мову про багаторівневі конструкції, де зовнішня захищає внутрішню. Найбільш реалістичні результати дають детальні моделі з безпосереднім моделюванням вибухової речовини і удару твердим тілом [5]. Їх проблема в занадто великій трудоемності і необхідності специфічних програмних комплексів (Ansys, Abaqus тощо). Тому на меті є апроксимація детальних моделей у прикладну методичку моделювання ударно-вибухових впливів заданої потужності.

1. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-7 Єврокод 1: Дії на конструкції. Частина 1-7: Загальні дії. Особливі динамічні впливи. – надано чинності 01.07.2013. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 100 с.
2. ДБН В.1.2-4:2019 Інженерно-технічні заходи цивільного захисту. – надано чинності 01.08.2019. – Київ: Мінрегіон України, 2019. – 28 с.
3. UFC 3-340-02 Structures to resist the effects of accidental explosions. – Release 05.12.2008. – United States: Department of Defense, Unified Facilities Criteria, 2008. – 1943 с. [https://doi.org/10.1061/41171\(401\)127](https://doi.org/10.1061/41171(401)127)
4. Основи інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України від засобів повітряного нападу противника: монографія, / [М.В. Коваль, В.В. Коваль, А.С. Білик, В.І. Коцюрба, О.М. Кубраков]; під ред. А.С.Білика. – К.: Генеральний штаб ЗСУ, 2023. – 185 с.
5. Zhang, C., Gholipour, G., Mousavi, A.A. Nonlinear dynamic behaviour of simply-supported RC beams subjected to combined impact-blast loading. – Engineering Structures, 2019, Vol. 181, с. 124–142. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.12.014>

Modelling Effects of Impact-Blast Actions on Hybrid Floor Systems

Mykyta Biliaiev, PhD student, Department of Metal and Timber Structures
<https://orcid.org/0009-0000-1027-9285>

Serhiy Bilyk, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Metal and Timber Structures <https://orcid.org/0000-0001-8783-5892>

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)

In Ukraine, same as in other countries, development and implementation of efficient prefabricated structures remain highly relevant. Although war has left its mark on the entire construction industry. Both during wartime and in the postwar period, structures in Ukraine will face increasingly strict requirements for resistance to accidental situations with corresponding episodic loads and for structural robustness (preventing progressive collapse).

Construction practice worldwide have shown composite and hybrid structures used in floor systems to be among the most efficient designs. A range of engineering solutions allows for high performance and material efficiency in these systems. List of this solutions also reflects the evolution of engineering thought. Considered type of structure provides additional advantages:

- Increased stiffness and load-bearing capacity without increasing weight by using castellated beams;

- Fully prefabricated structure (steel beams and precast reinforced concrete slabs);

- Allowing to pass installations through the beam web openings;

- Aesthetic appearance due to the circular web openings.

Complete prefabrication is a significant advantage. Unfortunately, experience of military actions has shown how vulnerable and subjected to progressive collapse Soviet-era large-panel buildings are. Going further any fully prefabricated technology should and will be subject to especially strict considerations in terms of assessing robustness.

Existing regulatory documents [1, 2] provide specific scenarios of defined accidental loads that often do not reflect current realities in Ukraine, or provide general tying requirements for the structure to resist indefinite accidental situations. Therefore, it is necessary to develop appropriate methods of determining and modelling impact-blast actions of a certain magnitude, as well as recommendations on structural optimization, reduction of spans, and spacing of floor beams. Existing determinations of blast loads [3, 4], especially at small distances to the object (direct hit), often result in overestimated load values, which allows only to consider collapse limitation rather than its prevention. Of course, this does not apply to multi-layered structures where external layer protects internal one. The most realistic results are obtained from detailed models that directly simulate explosives and impact by a rigid body [5]. Their downside is that they are time consuming and require specialized software (Ansys, Abaqus, etc.). Thus, the goal is to approximate these detailed models into an applied methodology for modelling impact-blast actions of certain magnitude.

1. DSTU-N B EN 1991-1-7 Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-7: General actions. Accidental actions. – In force since 01.07.2013. – Kyiv: Minregion of Ukraine, 2013. – 100 p.
2. DBN B.1.2-4:2019 Civil protection engineering and technical measures. – In force since 01.08.2019. – Kyiv: Minregion of Ukraine, 2019. – 28 p.
3. UFC 3-340-02 Structures to resist the effects of accidental explosions. – Release 05.12.2008. – United States: Department of Defense, Unified Facilities Criteria, 2008. – 1943 p. [https://doi.org/10.1061/41171\(401\)127](https://doi.org/10.1061/41171(401)127)
4. Fundamentals of Ukrainian energy sector critical infrastructure engineering protection from enemy air attacks: monograph / [M.V. Koval, V.V. Koval, A.S. Bilyk, V.I. Kotsiuruba, O.M. Kubrakov]; edited by A.S. Bilyk. – Kyiv: General Staff of the AFU, 2023. – 185 p.
5. Zhang, C., Gholipour, G., Mousavi, A.A. Nonlinear dynamic behaviour of simply-supported RC beams subjected to combined impact-blast loading. – Engineering Structures, 2019, Vol. 181, pp. 124–142. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.12.014>

Особливості застосування комп'ютерних методів при визначенні жорсткості сталевих вузлів

Вячеслав Адаменко, канд. техн. наук, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-7469-9585>

Олег Романишен, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0001-0925-8329>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Зaproвадження в Україні європейських будівельних норм ДСТУ-Н Б EN Єврокод вимагає підготовки кваліфікованих фахівців, здатних застосовувати їх у своїй роботі. З аналізу норм ДСТУ-Н Б EN [1] виявлено, що в практиці європейських країн існує ряд детально описаних розрахункових методів, які дозволяють більш детально спрогнозувати роботу сталевих конструкцій, зокрема через врахування жорсткості вузлів. Актуальність застосування комп'ютерних методів при розрахунку сталевих конструкцій приведена в роботі [2].

Будівля являє собою двохпролітну рамну конструкцію з прольотами 24м і 30м та висотою колон 13.5м і 16.5м відповідно, з кроком колон 6м по зовнішнім осям і 12м по внутрішній осі. У якості конструкції покриття прийняті ферми з гнүтозамкнених профілів з кроком 6м та підкрюкв'яні ферми по внутрішньому ряду колон довжиною 12м. Балкове перекриття влаштовано на відмітці 6.0м в обох прольотах та складається з головних і другорядних балок двотаврового перерізу по яких влаштовується залізобетонна плита. Просторова жорсткість будівлі в поздовжньому напрямку забезпечується системою в'язів по колонам та системою в'язів в межах висоти ферм.

Розрахункова схема змодельована в ПК «Robot Structures». Прикладені навантаження власної ваги, постійні на елементи прогонів та балок настилу, корисне навантаження 200 кг/м² на перекриття (на початковому етапі), снігові та вітрові навантаження, отримано розрахункові зусилля та підібрані перерізи елементів.

На наступному етапі, за результатами отриманих зусиль та підібраних перерізів, вузли примикання головних балок до колон були змодельовані в ПК «IdeaStatica» для варіантів шарнірного та жорсткого примикання головних балок. За результатами проведеного аналізу, було визначено жорсткість вузлів. Зокрема, отримано діаграму момент-кут повороту і табличні значення необхідних параметрів. На основі даної кривої та вибраного стандарту з'єднання було призначено клас вузла: шарнірний, жорсткий, напівжорсткий. Для якісного аналізу жорсткості вузлів задаються параметри теоретичної довжини елементів, діючі навантаження в площині визначення жорсткості, параметри розкріплення. Навантаження має бути прикладено тільки до елемента що аналізується. Якщо задано згинальний момент M_y , то аналізується крутильна жорсткість навколо осі y ; при заданому згинальному моменті M_z , аналізується крутильна жорсткість навколо осі z ; при заданій осьовій силі N , аналізується осьова жорсткість з'єднання. При цьому, ПК «IdeaStatica» дозволяє одночасне прикладення до елемента поздовжніх, поперечних, згинальних та крутих зусиль. Гранична величина деформації визначається у точці, в якій досягається одна з таких умов:

- досягнення розрахункового опору болта або анкера при розтязі, зсуві або сумісній дії розтягу та зсуву;
- досягнення розрахункового опору зварного шва;
- досягнення 15 % величини пластичних деформацій в елементах пластин.

1. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8 Єврокод 3: Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-8: Проектування з'єднань. – надано чинності 30.12.2011. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2013. – 203 с.
2. Адаменко, В. (2022). Розвиток методів розрахунку і конструювання сталевих будівель і споруд: від Ейфелевої вежі до Національного стадіону сингапурського спортивного комплексу. Будівельні конструкції. Теорія і практика, (11), 32–43. DOI: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.32-43>

Features of the Application of Computer Methods in Determining the Stiffness of Steel Joints

Vlacheslav Adamenko, PhD., Associate Professor of the Department of Steel and Timber Structures, <https://orcid.org/0000-0002-7469-9585>

Oleh Romanyshen, postgraduate student of the Department of Steel and Timber Structures, <https://orcid.org/0009-0001-0925-8329>

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)

The introduction of European building standards DSTU-N B EN Eurocode in Ukraine requires the preparation of qualified specialists capable of applying these standards in their work. An analysis of the DSTU-N B EN standards [1] has revealed that in European practice, there are a number of well-described analysis methods that allow for a more detailed prediction of the behavior of steel structures, particularly through the consideration of joint stiffness. The relevance of applying computer-based methods in the analysis of steel structures is discussed in work [2].

The building is a two-span frame structure with spans of 24 m and 30 m and column heights of 13.5 m and 16.5 m, respectively, with a column spacing of 6 m along the outer axes and 12 m along the inner axis. The roof structure consists of trusses made of cold-formed closed profiles spaced at 6 m, and sub-rafter trusses along the internal row of columns with a length of 12 m. A beam floor system is arranged at an elevation of 6.0 m in both spans and consists of primary and secondary I-beams supporting a reinforced concrete slab. The spatial rigidity of the building in the longitudinal direction is provided by a bracing system along the columns and within the height of the trusses.

The structural model was created in the software 'Robot Structures'. Loads applied include self-weight, permanent loads on purlins and decking beam elements, a live load of 200 kg/m² on the floor (at the initial stage), as well as snow and wind loads. Design internal forces were obtained, and cross-sections of the elements were selected accordingly.

At the next stage, based on the obtained internal forces and selected cross-sections, the connections between the main beams and columns were modeled in the 'IdeaStatica' software for both pinned and rigid connection scenarios. As a result of the analysis, the stiffness of the joints was determined. In particular, a moment-rotation diagram and tabular values of the required parameters were obtained. Based on this curve and the selected connection standard, the joint was classified as pinned, rigid, or semi-rigid.

For accurate stiffness analysis of the joints, parameters such as theoretical member lengths, acting loads in the stiffness analysis plane, and bracing conditions are specified. The load must be applied only to the element being analyzed. If a bending moment M_y is applied, the rotational stiffness around the y-axis is analyzed; for a bending moment M_z , the rotational stiffness around the z-axis is analyzed; for an axial force N , the axial stiffness of the joint is analyzed. The 'IdeaStatica' software allows simultaneous application of axial, transverse, bending, and torsional forces to the element.

The ultimate deformation value is determined at the point where one of the following conditions is met:

- the design resistance of a bolt or anchor in tension, shear, or combined tension and shear is reached;
- the design resistance of a weld is reached;
- 15% plastic strain is reached in the plate elements.

1. DSTU-N B EN 1993-1-8 Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-8: Design of connections. – entered into force on 30.12.2011. – Kyiv: Minregionalbud of Ukraine, 2013. – 203 p.

2. Adamenko, V. . (2022). Development of calculation and detailing methods of steel buildings: from the Eiffel Tower to the National Stadium of Singapore Sports HUB. Building Constructions. Theory and Practice, (11), 32–43. DOI: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.32-43>

Досвід використання ПК SCAD при проектуванні споруд подвійного призначення

Максим Вабіщевич, докт. техн. наук, професор кафедри будівельної механіки, <https://orcid.org/0000-0002-0755-5186>;

Ігор Фесун, аспірант кафедри будівельної механіки; <https://orcid.org/0000-0002-6678-9900>;

Дмитро Лукашевич, аспірант кафедри будівельної механіки; <https://orcid.org/0009-0001-3555-2353>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – аналіз та систематизація досвіду використання ПК SCAD при проектуванні споруд подвійного призначення.

Актуальність дослідження зумовлена потребою у будівництві та модернізації захисних споруд, зокрема споруд подвійного призначення, в умовах російської агресії. Ефективне використання чисельних програмних комплексів, таких як SCAD Office, може значно оптимізувати процес проектування, підвищити точність розрахунків та надійність прийнятих проектних рішень.

Для розгляду представлені варіації чисельного моделювання споруд подвійного призначення, що виконувалось в просторовій постановці з використанням ПК «SCAD» без та із урахуванням фізичної та геометричної нелінійності. Відповідно до вимог ДБН В.2.2-5:2023 навантаження від дії ударної вибухової хвилі реалізоване квазістатичним методом. Приклади скінченно-елементного моделювання різних споруд подвійного призначення наведені на рис. 1.

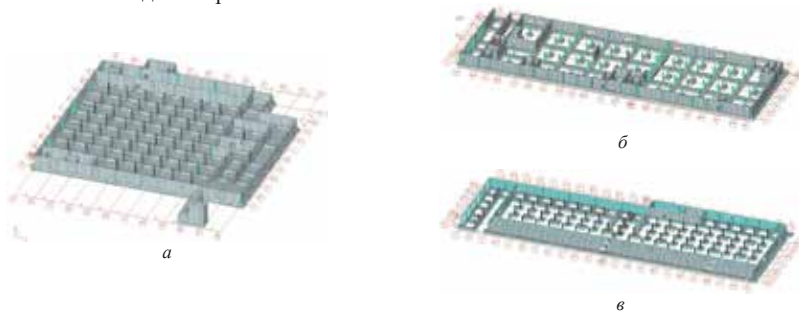


Рис.1 – Приклади скінченно-елементних моделей споруд подвійного призначення в ПК SCAD

Конструктивні схеми приведених моделей – неповний каркас. Внутрішні вертикальні несучі конструкції – колони залізобетонні монолітні квадратного та круглого перерізу, зовнішні вертикальні конструкції – стіни з пілястрами. Сітка вертикальних конструкцій 6x7x5 м та 6x6 м. Горизонтальні несучі конструкції – плити залізобетонна монолітна з капітелями на колонах. Мінімальні товщини зовнішніх огорожувальних конструкцій (стін та плит перекриття) – 400 мм. Клас бетону C25/30, армування із в'язаної арматури діаметром не менше 12 мм А500С.

Досвід використання ПК SCAD при проектуванні споруд подвійного призначення демонструє значний потенціал для підвищення ефективності та якості проектних робіт. Програмний комплекс надає потужні інструменти для моделювання та аналізу складних конструктивних систем, дозволяє враховувати специфічні навантаження та додаткові вимоги при проектуванні.

Experience of using SCAD software in the design of dual-purpose structures

Maksym Vabishchevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Structural Mechanics; <https://orcid.org/0000-0002-0755-5186>

Ihor Fesun, Postgraduate student of the Department of Structural Mechanics; <https://orcid.org/0000-0002-6678-9900>

Dmytro Lukashevych, Postgraduate student of the Department of Structural Mechanics; <https://orcid.org/0009-0001-3555-2353>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The purpose of the study is to analyse and systematise the experience of using SCAD software in the design of dual-purpose structures.

The relevance of the study is due to the need for the construction and modernisation of defence structures, including dual-purpose structures, in the context of Russian aggression. The effective use of numerical software systems, such as SCAD Office, can significantly optimise the design process, increase the accuracy of calculations and the reliability of design decisions.

For consideration, variations of numerical modelling of dual-purpose structures are presented, which was performed in a spatial setting using SCAD software without and with consideration of physical and geometric nonlinearity. In accordance with the requirements of DBN B.2.2-5:2023, the load from the blast wave was implemented by the quasi-static method. Examples of finite element modelling of various dual-purpose structures are shown in Fig. 1.

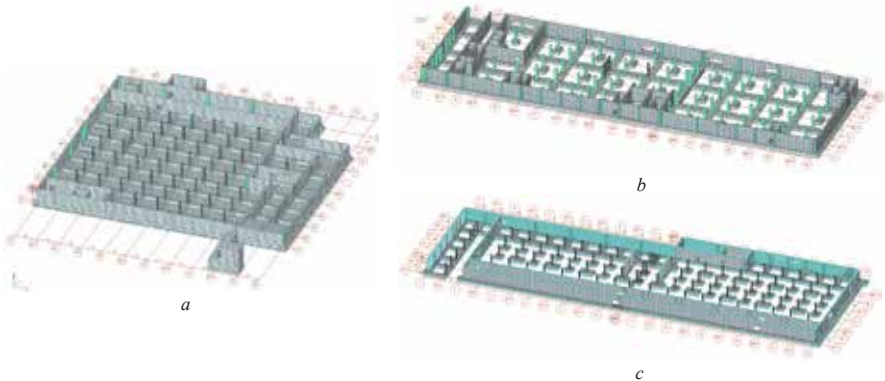


Fig. 1 - Examples of finite element models of dual-purpose structures in SCAD software

Structural schemes of the above models are incomplete frames. Internal vertical load-bearing structures are reinforced concrete monolithic columns of square and round cross-section, external vertical structures are walls with pilasters. The grid of vertical structures is 6x7x5 m and 6x6 m. The horizontal load-bearing structures are monolithic reinforced concrete slabs with column capitals. The minimum thickness of the external envelope structures (walls and floor slabs) is 400 mm. Concrete class C25/30, reinforcement of knitted reinforcement with a diameter of at least 12 mm A500C.

The experience of using SCAD software in the design of dual-purpose structures demonstrates significant potential for improving the efficiency and quality of design work. The software package provides powerful tools for modelling and analysing complex structural systems, and allows taking into account specific loads and additional requirements in the design process.

Методика проведення експериментальних досліджень підсилення монолітних залізобетонних конструкцій з використанням попередньо напружених арматурних канатів

Дмитро Сморкалов, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-7890-2686>;

Володимир Винокур, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0002-3218-5620>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

У сучасних умовах розвитку будівельної галузі в Україні спостерігається підвищений інтерес до застосування попередньо напружених канатів. Крім того, з огляду на зростаючу потребу у відновленні та підсиленні існуючих споруд, зумовлену воєнними діями та старінням інфраструктури, попереднє напруження стає особливо актуальним і широко впроваджується в будівельну практику.

Мета дослідження – розробка методики експериментального дослідження підсилення монолітних залізобетонних конструкцій з використанням попередньо напружених арматурних канатів. Для випробування було виготовлено 2 серії балок: 1 серія – балки без напруження (дивись рис. 1), 2 серія – балки з напруженими канатами (дивись рис. 2)

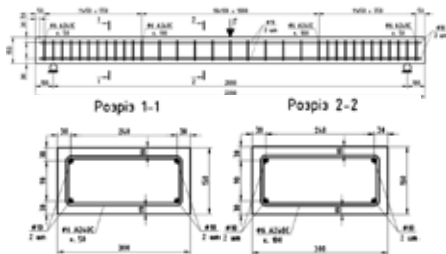


Рис.1 – Конструктивна схема залізобетонної балки без підсилення

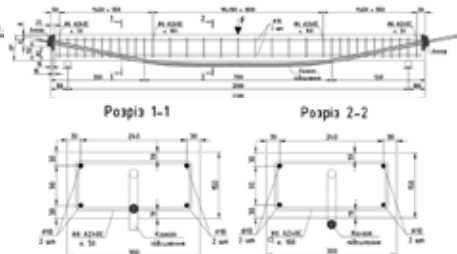


Рис.2 - Конструктивна схема залізобетонної балки, що підсилена попередньо напруженим арматурним канатом

Даний етап випробування є першим етапом експериментальних досліджень спрямований на вивчення роботи однопрілітних залізобетонних балок, які підсилено попередньо напруженими арматурними канатами на дію зосередженої сили.

Основна мета цього етапу полягає у перевірці можливості виконання експериментальних досліджень, зокрема у випробуванні обраної методики, оцінці її ефективності та визначенні технічних і організаційних аспектів, необхідних для подальших робіт. Результати, отримані на цьому етапі, формують науково обґрунтовану базу для розробки другого етапу експериментальних випробувань.

Для балок першого етапу застосовано бетон класу С 20/25. Для армування використовується арматура $\varnothing 10$ А500С. Для напруження застосовуються канати $\varnothing 15,7$ мм.

Після виконання експериментальних досліджень, за даною методикою, буде розроблено та удосконалено другий етап дослідження.

1. Сморкалов Д.В., Затилюк Г.А., Винокур В.С. Підсилення монолітних залізобетонних Конструкцій з використанням попередньо Напружених арматурних канатів. // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк, ЛНТУ. 2024, Випуск 21, С. 224-234. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-24](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-24)
2. Сморкалов Д.В. Винокур В.С. Методики розрахунку монолітних залізобетонних конструкцій з попереднім напруженням арматурних канатів// Збірник наук.праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика». КНУБА.- вип.12, 2023р. С. 73-83 <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.73-83>.

Methodology for conducting experimental studies of strengthening monolithic reinforced concrete structures using prestressed reinforcing ropes

Dmytro. Smorkalov, candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, <https://orcid.org/0000-0001-7890-2686> ;
Volodymyr. Vynokur, postgraduate student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, <https://orcid.org/0009-0002-3218-5620>

Kyiv National University of Construction and Architecture

In the current conditions of the development of the construction industry in Ukraine, there is an increased interest in the use of prestressed cables. In addition, given the growing need for restoration and reinforcement of existing structures, caused by military operations and aging infrastructure, prestressing is becoming especially relevant and is widely introduced into construction practice.

The purpose of the study is to develop a methodology for experimental research into the reinforcement of monolithic reinforced concrete structures using prestressed reinforcing cables. 2 series of beams were manufactured for testing: 1 series - beams without tension (see Fig. 1), 2 series - beams with tensioned cables (see Fig. 2)

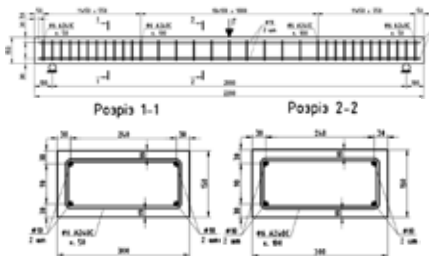


Fig. 1 – Structural diagram of a reinforced concrete beam without reinforcement

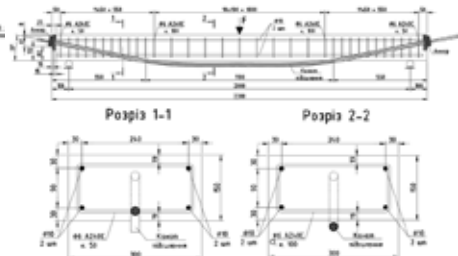


Fig. 2 - Structural diagram of a reinforced concrete beam reinforced with prestressed reinforcing wire

This stage of testing is the first stage of experimental research aimed at studying the operation of single-span reinforced concrete beams, which are reinforced with pre-stressed reinforcing ropes under the action of concentrated force.

The main goal of this stage is to verify the feasibility of conducting experimental research, in particular, to test the selected methodology, assess its effectiveness, and identify technical and organizational aspects necessary for further work. The results obtained at this stage form a scientifically sound basis for the development of the second stage of experimental testing.

For the beams of the first stage, concrete of class C 20/25 was used. For reinforcement, Ø10 A500C reinforcement is used. For tensioning, Ø15.7 mm ropes are used.

After conducting experimental studies, the second stage of the study will be developed and improved using this methodology.

1. Smorkalov D.V., Zatylyuk G.A., Vynokur V.S. Reinforcement of monolithic reinforced concrete structures using prestressed reinforcing ropes. // Modern technologies and calculation methods in construction. Lutsk, LNTU. 2024, Issue 21, pp. 224-234. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-24](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-24)
2. Smorkalov D.V., Vynokur V.S. Methods of calculation of monolithic reinforced concrete structures with prestressing of reinforcing ropes. // Building structures. Theory and practice. KNUBA.- issue 12, 2023. P. 73-83 <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.73-83>.

Дослідження стійкості оболонки мінімальної поверхні на трапецевидному контурі з урахуванням геометричної нелінійності при термосиловому навантаженню.

Григорій Іванченко, докт. техн. наук, професор кафедри будівельної механіки, <https://orcid.org/0000-0003-1172-2845>

Олександр Кошевий, доктор філософії, доцент кафедри теоретичної механіки, <https://orcid.org/0000-0002-1903-2905>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Дослідження стійкості тонких оболонок є важливим елементом несучої здатності. При розрахунку будь-яких будівельних конструкцій використовуються два граничних стани. За I граничним станом досліджується міцність та стійкість будівельної конструкції. За II граничним станом досліджується прогини та тріщиностійкість будівельної конструкції. В даному дослідженні використовується геометрична нелінійність, що дає можливість врахування дійсних напружень та переміщень для оболонок мінімальних поверхонь [1].

Оболонки мінімальних поверхонь, як окремих вид будівельних конструкцій, поділяються на два види. Перший вид, це аналітичні класичні поверхні по типу Шерка, або які вираховуються за допомогою чисел Фібоначі. Другий вид оболонок мінімальних поверхонь – це поверхні які побудовані на заданому контурі: квадратному, круглому, прямокутному, трапецевидному, трикутному. В даному дослідженні застосовується трапецевидний контур [2]. За допомогою власного програмного забезпечення відбувається автоматизована побудова оболонок мінімальної поверхні на заданому контурі.

Навантаження передбачено згідно будівельних норм України, а також додаткового у вигляді температури, перепад на поверхні оболонки складає 75 градусів.

Побудова розрахункової моделі відбувається методом скінчених елементів (МСЕ) в розрахунковому комплексі Femap with Nastran. Скінченні елементи представлені типом – **plate** (пластина). Після побудови скінченної елементної моделі відбувається зв'язок з диском землі за допомогою жорсткого защемлення. Та перевірочні розрахунки в режимі статички та власних коливань.

Після врахування всіх перевірочних розрахунків відбувається дослідження стійкості у нелінійній постановці з урахуванням геометричної нелінійності, яка дає можливість зменшити фактичні переміщення на 13% та напруження по Мізесу на 6%. Результатом крім переміщень на напружень є визначення 10 форм втрати стійкості з урахуванням геометричної нелінійності, що є основою для багатокритеріальної параметричної оптимізації стійкості та ваги оболонки мінімальної поверхні. Оптимізація стійкості відбувається за рахунок критерія λ . Якщо $\lambda < 1$ то оболонка втрачає стійкість, якщо $\lambda \geq 1$ то оболонка не втрачає стійкості. Досконалість цієї оптимізації можна досягнути тільки в результаті геометричної нелінійності, щоб не було похибок в статичній постановці.

На такій основі виконано дослідження шести оболонок мінімальних поверхонь: на трапецевидному контурі, квадратному контурі, прямокутному контурі, двохзв'язна конусна оболонка, прямокутний план, що складається з двох прямих лінійний і двох півківл, круглий контур, що складається із двох похилих еліпсів.

1. Ivanchenko G., & Kosheviy O. (2024) Чисельне дослідження стійкості оболонки мінімальної поверхні на круглому плані з урахуванням геометричної нелінійності при термосиловому навантаженні. // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. 2024. № 53. С. 39-48. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53\(1\).39-48](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(1).39-48)
2. Kosheviy O. (2025) Стійкість оболонки мінімальної поверхні на трапецевидному контурі з урахуванням геометричної нелінійності при термосиловому навантаженні. // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. 2025. № 55. С. 48-60. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55\(1\).48-60](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(1).48-60)

Investigation of the stability of a shell of minimal surface on a trapezoidal contour with consideration of geometric nonlinearity under thermal and power loading.

Grigory. Ivanchenko , doctor of technical sciences, Professor of the Department of Structural Mechanics; <https://orcid.org/0000-0003-1172-2845>

Oleksandr Kosheviy, Ph.D. , Associate Professor of the Department of Theoretical Mechanics <https://orcid.org/0000-0002-1903-2905>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The study of the stability of thin shells is an important element of load-bearing capacity. Two limit states are used in the calculation of any building structure. The strength and stability of a building structure are studied in the first limit state. The second limit state is used to study deflections and crack resistance of the building structure. In this study, geometric nonlinearity is used, which makes it possible to take into account the actual stresses and displacements for shells of minimal surfaces [1].

The shells of minimal surfaces, as a separate type of building structures, are divided into two types. The first type is analytical classical surfaces of the Sherk type, or those calculated using Fibonacci numbers. The second type of minimal surface shells are surfaces that are built on a given contour: square, round, rectangular, trapezoidal, triangular. In this study, a trapezoidal contour is used [2]. Using our own software, we automate the construction of a minimal surface shell on a given contour.

The load is provided for in accordance with the building codes of Ukraine, as well as an additional load in the form of temperature, the difference on the surface of the shell is 75 degrees.

The computational model is built using the finite element method (FEM) in the Femap with Nastran calculation package. Finite elements are represented by the plate type. After building a finite element model, the earth is connected to the earth's disk by means of rigid clamping. And verification calculations in the mode of statics and natural oscillations.

After all the verification calculations are taken into account, the stability is studied in a nonlinear formulation taking into account geometric nonlinearity, which makes it possible to reduce the actual displacements by 13% and the Mises stress by 6%. The result, in addition to the displacements and stresses, is the determination of 10 forms of stability loss taking into account geometric nonlinearity, which is the basis for multi-criteria parametric optimization of stability and weight of the minimum surface shell. Stability is optimized by the criterion λ . If $\lambda < 1$, the shell loses stability, if $\lambda \geq 1$, the shell does not lose stability. The perfection of this optimization can be achieved only as a result of geometric nonlinearity, so that there are no errors in the static formulation.

On this basis, six shells of minimal surfaces were studied: a trapezoidal contour, a square contour, a rectangular contour, a two-connected cone shell, a rectangular plan consisting of two straight lines and two semicircles, and a circular contour consisting of two inclined ellipses.

1. Ivanchenko, H., & Kosheviy, O. (2024). Numerical study of the stability of a shell of minimal surface on a circular plan with regard to geometric nonlinearity under thermal and power loading. *Ways to Improve Construction Efficiency*, 1(53), 39–48. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53\(1\).39-48](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(1).39-48).
2. Kosheviy O. . (2025). Stability of the shell of the minimum surface on a trapezoidal contour, taking into account geometric nonlinearity under thermal and power loading. *Ways to Improve Construction Efficiency*, 1(55), 48–60. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55\(1\).48-60](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.55(1).48-60)

Проблеми довговічності кам'яного цоколю будівель і споруд

Сергій Волков, доктор філософії, ст. викл. кафедри промислового цивільного та міського будівництва, <https://orcid.org/0000-0001-9444-5083>

Олександр Єрмоєнко, канд. техн. наук, доц. кафедри промислового цивільного та міського будівництва, <https://orcid.org/0000-0002-4030-9438>

Криворізький національний університет (м. Кривий Ріг)

Однією із основних конструктивних частин будівель і споруд є їх цокольна частина, тобто надземна частина зовнішньої стіни, яка розташована між відміткою тротуару (плануванням землі) та основною площиною фасаду. При цьому, вона забезпечує захист стін від впливу вологи, механічних ушкоджень та температурних коливань, а також несе архітектурно-декоративну функцію. Дефекти та пошкодження цокольної частини будівель і споруд, які можуть виникнути на різних етапах життєвого циклу об'єкту (проектування, будівництва та експлуатації), сприяють руйнуванню інших конструкцій і скороченню загального терміну експлуатації об'єкту. Зниження ризиків допущення дефектів цоколю на етапі проектування прямо залежить від рівня досконалості ДБН, ДСТУ та інших будівельних норм.

так, діючими будівельними нормами передбачені наступні конструктивні вимоги щодо проектування цокольної частини будівлі/споруди та її захисту від замокання:

- не допускається застосування: силікатних цегли, каменів і блоків; каменів і блоків з ніздрюватих бетонів; саману і керамічних каменів; глиняної цегли напівсухого пресування, п.1.2 [2]. Допускається застосування: керамічної плитки спеціального призначення, п.6.14 [2]; дрібних бетонних блоків і каменів, природних каменів правильної і неправильної форми, монолітного бетону та бутобетону, добре обпаленої керамічної цегли пластичного пресування, п.11.20.1 [2]. Однак, протягом нетривалого (до 10 років) періоду експлуатації, в цокольній частині будівель і споруд із керамічної цегли пластичного пресування виникають пошкодження – замокання та вивітрювання цегляного мурування, наведені на рис. 1 та 2.
- бетонний цоколь по периметру об'єкта повинен бути гідроізолюваний на висоту не менше 700 мм, вимощення навколо об'єкта повинно бути передбачено шириною не менше 1500 мм, по зовнішньому краю вимощення - водовідвідний канал, п.6.4.1 [1]. Однак, це розповсюджується на об'єкти з просторовим тонкостінним та/або пневматичним покриттям.
- при облицюванні плитами з природного каменю конструкції всіх виступаючих частин і швів будівлі не допускають потрапляння за облицювання води - всі виступаючі деталі виконувати з каменю твердих порід (карнизи, пояси цоколя тощо) і улаштувати їх з ухилом назовні для стоку води, п.11.13.29 [2].



Рис.1 – Цоколь будівлі із обпаленої керамічної цегли пластичного пресування



Рис.2 - Цоколь споруди конвеєру із обпаленої керамічної цегли пластичного пресування

У зв'язку із розрізненими конструктивними вимогами щодо проектування цокольної частини будівлі/споруди, як щодо можливості використання матеріалів, так і щодо самих конструктивних рішень є потреба в їх доопрацюванні та виокремленні в окремий розділ.

1. ДБН В.2.6-220:2017. Покриття будівель і споруд. Київ: 2017. 46 с.

2. ДСТУ Б В.2.6-207:2015. Розрахунок і конструювання кам'яних та армокам'яних конструкцій будівель та споруд. Київ: 2016. 264 с.

Problems of Durability of Stone Plinths in Buildings and Structures

Serhii Volkov, Doctor of Philosophy, lecturer of the Department of Industrial, Civil and Urban Construction, <https://orcid.org/0000-0001-9444-5083>

Olexandr Eremenko, candidate of technical sciences, docent of the Department of Industrial, Civil and Urban Construction, <https://orcid.org/0000-0002-4030-9438>

Kyryvi Rih National University (Kyryviy Rih)

One of the key structural components of buildings and structures is the plinth section, i.e., the above-ground part of the external wall located between the ground level (or ground surface) and the main plane of the façade. This section provides protection to the walls from moisture ingress, mechanical damage, and temperature fluctuations, while also serving an architectural and decorative function. Defects and damages to the plinth section, which may occur at various stages of the building's lifecycle (design, construction, and operation), contribute to the degradation of other structural elements and reduce the overall service life of the building. The reduction of risks associated with plinth defects during the design phase is directly related to the level of development and comprehensiveness of national building standards, such as DBN, DSTU, and other relevant construction codes.

In accordance with current building standards, the following structural requirements are specified for the design of the plinth section of buildings/structures and its protection against moisture ingress:

- the use of silicate bricks, stones, and blocks; stones and blocks made from aerated concrete; adobe and ceramic stones; and clay bricks produced by semi-dry pressing is prohibited (c. 1.2 [2]). Permissible materials include: special-purpose ceramic tiles (c. 6.14 [2]); small concrete blocks and stones; natural stones of both regular and irregular shapes; monolithic concrete and rubble concrete; and well-fired ceramic bricks produced by plastic pressing (clause 11.20.1 [2]). However, even within a relatively short service period (up to 10 years), defects such as moisture ingress and weathering of the brickwork are observed in the plinth sections of buildings and structures constructed with ceramic bricks produced by plastic pressing, as shown in Figures 1 and 2.
- the concrete plinth around the perimeter of the building must be waterproofed to a height of at least 700 mm. A blind area (paving apron) with a width of no less than 1500 mm must be provided around the structure, with a drainage channel installed along the outer edge of the blind area (c. 6.4.1 [1]). However, these requirements apply specifically to structures with spatial thin-walled and/or pneumatic coverings.
- when cladding with natural stone tiles, the design of all protruding parts and joints of the building must prevent water from penetrating behind the cladding. All protruding elements, such as cornices, plinth belts, etc., should be made from hard stone and designed with an outward slope to ensure proper water drainage (c. 11.13.29 [2]).



Fig. 1 – Plinth of the building made of fired ceramic brick produced by plastic molding



Fig. 2 – Plinth of the conveyor structure made of fired ceramic brick produced by plastic molding

Due to the varying structural requirements for the design of the plinth section of buildings and structures, including the choice of materials and the structural solutions themselves, there is a need to further develop and organize these requirements into a separate section.

1. DBN V.2.6-220:2017. Coverings of buildings and structures. Kyiv, 2017. 46 p.
2. DSTU B V.2.6.-207:2015. Structural analysis and design of masonry and reinforced masonry constructions for buildings and facilities. Kyiv, 2016. 264 p.

Використання збірних залізобетонних конструкцій в багатоповерхових каркасних вибухостійких будівлях

Галина Гетун¹, канд. техн. наук, професор кафедри архітектурних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-3317-3456>

Ірина Безклубенко¹, канд. техн. наук, доцент кафедри ІТППМ, <https://orcid.org/0000-0002-9149-4178>

Андрій Соломін², канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри біобезпеки і здоров'я людини, <https://orcid.org/0000-0002-5226-8813>

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

²*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського (м. Київ)*

За роки повномасштабної війни на території України в результаті російської агресії (бомбардувань, ракетних ударів, атак безпілотників, пожеж) було зруйновано багато будівель і споруд. Аналіз наслідків руйнування багатоповерхових будівель свідчить, що будівлі із залізобетонними монолітними каркасами мають кращу несучу здатність, у порівнянні з традиційними цегляними та сталевими каркасами. Залізобетон є негорючим матеріалом, має велику масу та інерційність, високі характеристики міцності та пластичності, деформується та перерозподіляє зусилля між суміжними конструкціями, запобігає виникненню каскадного руйнування будівель.

Для збереження життя людей в Україні треба проектувати вибухостійкі будівлі з монолітними залізобетонними каркасами і приміщеннями цивільного захисту населення, розміщеними нижче спланованого рівня землі. Конструкції перекриттів приміщень цивільного захисту населення, розміщені в підземних поверхнях таких будівель повинні витримувати великі навантаження, а тому раціонально їх проектувати монолітними залізобетонними ребристими з системами з головних і другорядних балок або з перехресно розташованими балками жорстко закріпленими до вертикальних несучих конструкцій [3].

Метою дослідження є обґрунтування актуальності проектування багатоповерхових каркасних будівель з використанням типових збірних залізобетонних конструкцій з рамними і рамно-в'язевими схемами несучих каркасів в умовах можливих ударно-вибухових і вогневих уражень. У колишньому Радянському Союзі була розроблена типова серія 1.020.1-2с/89 «Конструкції каркаса міжвидового застосування багатоповерхових громадських будівель, виробничих та допоміжних будівель промислових підприємств для будівництва в районах сейсмічності 7, 8 та 9 балів та в несейсмічних районах» з навантаженнями на перекриття до 21 кН/м² [1, 2]. Колони таких каркасів перерізом 400х400 мм у місцях примикання поперечних і поздовжніх ригелів мають випуски арматури у верхній зоні та кутикові сталеві консолі у нижніх зонах вузлів, призначені для з'єднання зварюванням. Ригелі мають полицки для спирання багатопустотних або ребристих плит перекриттів. Верхня зона ригелів має оголену поперечну арматуру за всією довжиною або на ділянках біля опор. Під час монтування у відкритій верхній зоні ригелів встановлюють поздовжню робочу арматуру, яку стикують з відповідними випусками арматури з колон. Центральні зони жорстких вузлів залізобетонних каркасів підсилюють додатковим армуванням у вигляді зварних сіток, спіралей або замкнугих хомутів. Горизонтальні сейсмічні та вибухові навантаження в багатоповерхових вибухостійких будівлях із збірними залізобетонними каркасами сприймають вертикальні сталеві в'язі або діафрагми жорсткості, розташовані в двох напрямках рівномірно і симетрично відносно центра ваги будівель.

1. Гетун Г. В., Куліков П. М., Плоский В. О., Чернишев Д. О. Конструкції будівель і споруд. Книга 2 Нежитлові будівлі: підручник Кам'янець-Подільський: ТОВ «Друкарня Рута» – 2023. – 900 с.
2. Куліков П. М., Плоский В. О., Гетун Г. В., Конструкції будівель і споруд. Книга 1: підручник Кам'янець-Подільський: ТОВ «Друкарня Рута» – 2021. – 880 с.
3. Гетун Г. В., Колякова В. М., Безклубенко І. С., Соломін А. В. (2023) Конструктивні рішення вибухостійких будівель з приміщеннями цивільного захисту населення. Будівельні конструкції. Теорія і практика, (13), 41–50. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.13.2023.41-50>

The use of prefabricated reinforced concrete structures in multi-story frame explosion-resistant buildings

Galyna. Getun¹, candidate of technical sciences, professor of the Department of Architectural Structures; <https://orcid.org/0000-0002-3317-3456>

Iryna. Bezklubenko¹, candidate of technical sciences, associate professor of the Department of ITPPM; <https://orcid.org/0000-0002-9149-4178>

Andriy. Solomin², candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the Department of Biosafety and Human Health, <https://orcid.org/0000-0002-5226-8813>

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

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv) (2)

Over the years of the full-scale war on the territory of Ukraine, as a result of Russian aggression (bombings, missile strikes, drone attacks, fires), many buildings and structures have been destroyed. An analysis of the consequences of the destruction of multi-story buildings indicates that structures with reinforced concrete monolithic frames have better load-bearing capacity compared to traditional brick and steel frames. Reinforced concrete is a non-combustible material with high mass and inertia, as well as excellent strength and plasticity characteristics. It deforms and redistributes loads between adjacent structures, preventing the cascading collapse of buildings.

To save lives in Ukraine, it is necessary to design explosion-resistant buildings with monolithic reinforced concrete frames and civil protection shelters located below the planned ground level. The ceilings of such civil protection shelters, placed on underground levels, must withstand high loads, and it is therefore rational to design them as monolithic reinforced concrete ribbed structures with systems of primary and secondary beams or with intersecting beams rigidly connected to vertical load-bearing elements.

The purpose of this research is to substantiate the relevance of designing multi-story frame buildings using typical prefabricated reinforced concrete structures with frame and frame-brace load-bearing schemes, under conditions of potential shock-explosive and fire impacts. In the former Soviet Union, a typical series 1.020.1-2s/89 was developed: "Framework structures for cross-industry applications for multi-story public buildings, industrial and auxiliary buildings of industrial enterprises for construction in areas with seismicity of 7, 8, and 9 points, as well as in non-seismic zones," designed for slab loads of up to 21 kN/m² [1, 2]. Columns of these frames, with a cross-section of 400x400 mm, have reinforcement protrusions in the upper zones and corner steel consoles in the lower zones of the nodes intended for welded connections. Beams feature ledges for supporting hollow-core or ribbed floor slabs. The upper zone of the beams is equipped with exposed transverse reinforcement either along the entire length or near the supports. During installation, the longitudinal working reinforcement is placed in the open upper zone of the beams and joined with the corresponding column reinforcement protrusions. The central zones of the rigid nodes of reinforced concrete frames are further reinforced with additional armature in the form of welded meshes, spirals, or closed stirrups. Horizontal seismic and explosive loads in multi-story explosion-resistant buildings with prefabricated reinforced concrete frames are absorbed by vertical steel braces or shear walls, arranged in two directions evenly and symmetrically relative to the center of gravity of the buildings.

1. Getun G. V., Kulikov P. M., Ploskyi V. O., Chernyshov D. O. Structures of Buildings and Constructions. Book 2: Non-Residential Buildings: Textbook. Kamianets-Podilskyi: LLC "Ruta Printing House" – 2023. – 900 pages.
2. Kulikov P. M., Ploskyi V. O., Hetun H. V. Structures of Buildings and Constructions. Book 1: Textbook. Kamianets-Podilskyi: LLC "Ruta Printing House" – 2021. – 880 pages.
3. Getun G. V., Kolyakova V. M., Bezklubenko I. S., Solomin A. V. (2023). Structural Solutions of Explosion-Resistant Buildings with Civil Protection Shelters. Construction Structures: Theory and Practice, (13), 41–50. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.13.2023.41-50>

Особливості моделювання болтових з'єднань тонкостінних сталевих елементів в задачах модального аналізу

Олег Дедов, доктор технічних наук, професор кафедри машин і обладнання технологічних процесів, <https://orcid.org/0000-0001-5006-772X>;

Дмитро Савчук, аспірант кафедри будівельної механіки, <https://orcid.org/0009-0006-0366-0532>;

Сергій Новіков, аспірант кафедри будівельної механіки, <https://orcid.org/0009-0004-7502-3255>;

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Болтові з'єднання в наш час є одним з найпоширеніших способів фіксації елементів в будівельних (і не тільки) конструкціях, що використовуються в різних галузях інженерії. Особливий інтерес викликають холодно-катані тонкостінні профілі, які, завдяки своїм геометричним та механічним характеристикам, активно застосовуються у сучасному будівництві та машинобудуванні.

Метою даного дослідження є розробка, верифікація та вдосконалення моделей болтових з'єднань тонкостінних профілів. Це дозволить створити ефективну систему моніторингу, яка забезпечить прогнозування стану з'єднань, запобігання аварійним ситуаціям та оптимізацію конструктивних рішень. Для дослідження було використано експериментальну модель, що складається з головних і другорядних балок С-подібних профілів холодного формування зі сталі S390GD-Z275MA з товщиною стінок 4 мм (рис. 1). Профілі з'єднані між собою болтами M12 класу міцності 8.8 за допомогою Г-подібної пластини зі сталі S350GD+Z275 товщиною 3 мм (рис. 2).

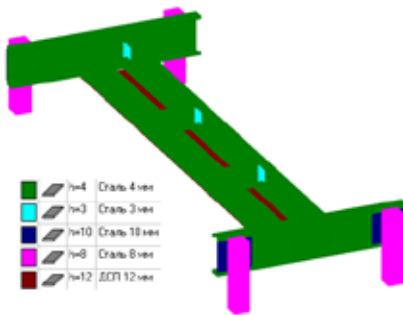


Рис.1 – Розрахункова модель конструкції



Рис.2 – Болтове з'єднання профілів

Отримані результати підтвердили коректність розрахункової моделі, розробленої в SCAD Office, оскільки вони продемонстрували високу відповідність результатам, отриманим у розрахунковому комплексі Abaqus, а також експериментальним дослідженням, проведеним у лабораторії КНУБА. Це свідчить про коректність використаних числових методів та адекватність моделі для прогнозування поведінки конструкції у реальних умовах експлуатації.

1. Вабіщевич М.О., Дедов О.П., Савчук Д.О. Сучасний стан проблеми чисельного дослідження металоконструкцій на основі динамічного моніторингу// Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2024. – Вип. 112. – С. 52-57. – Англ. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.112.52-57>
2. EN 1993-1-8:2005 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1–8: Design of joints. 2005

Features of modeling bolted connections of thin-walled steel elements in modal analysis problems

Oleg Dedov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Machines and Equipment of Technological Processes, <https://orcid.org/0000-0001-5006-772X>;

Dmytro Savchuk, postgraduate of the Department of Structural Mechanics, <https://orcid.org/0009-0006-0366-0532>;

Serhii Novikov, postgraduate of the Department of Structural Mechanics, <https://orcid.org/0009-0004-7502-3255>;

Kyiv National University of Construction and Architecture

Bolted connections are currently one of the most common ways of fixing elements in building (and not only) structures used in various branches of engineering. Of particular interest are cold-rolled thin-walled profiles, which, due to their geometric and mechanical characteristics, are actively used in modern construction and mechanical engineering.

The purpose of this study is to develop, verify and improve models of bolted connections of thin-walled profiles. This will allow creating an effective monitoring system that will provide prediction of the state of connections, prevention of emergency situations and optimization of design solutions. The research used an experimental model consisting of main and secondary beams of cold-formed C-shaped profiles made of S390GD-Z275MA steel with a wall thickness of 4 mm (Fig. 1). The profiles are interconnected by M12 bolts of strength class 8.8 using an L-shaped plate made of S350GD Z275 steel with a thickness of 3 mm (Fig. 2).

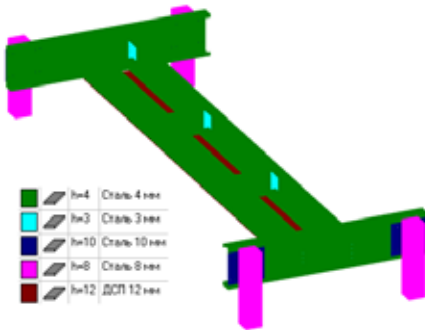


Fig. 1 – The model of the structure



Fig. 2 – Bolted connection of profiles

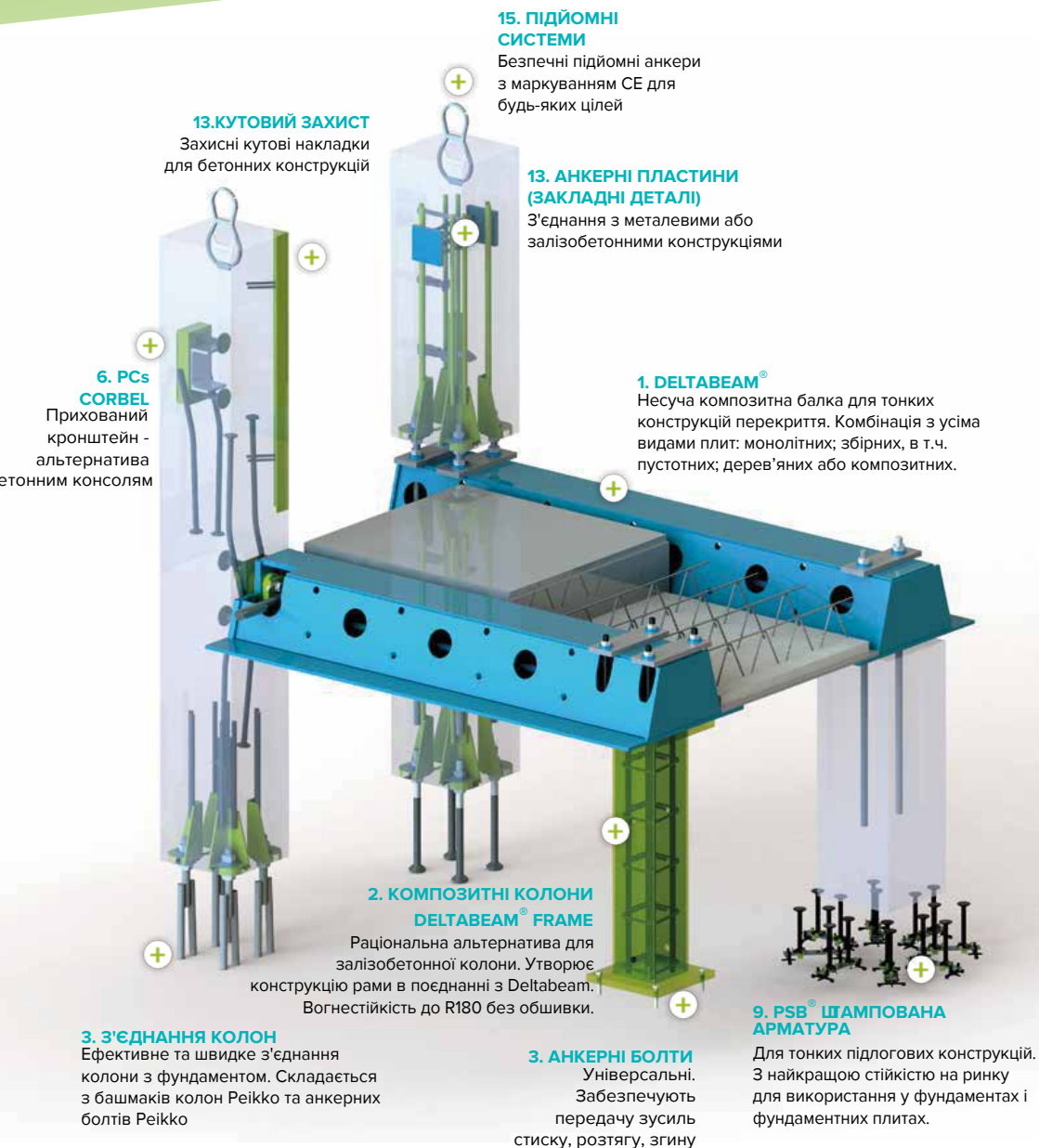
The obtained results confirmed the correctness of the model developed in SCAD Office, as they demonstrated a high correspondence with the results obtained in the computational complex Abaqus, as well as with experimental studies conducted in the laboratory of the KNUBA. This indicates the correctness of the numerical methods used and the adequacy of the model for predicting the behavior of the structure in real operating conditions.

1. Vabishcheych M.O., Dedov O.P., Savchuk D.O. The current state of the problem of numerical investigation of metal structure refusal based on dynamic monitoring // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles. – K.: KNUBA, 2024. – Issue. – P. 52-57. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.112.52-57>
2. EN 1993-1-8:2005 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1–8: Design of joints. 2005

НОВИЙ ПОГЛЯД у майбутнє



СИСТЕМНІ КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ



13. КУТОВИЙ ЗАХИСТ
Захисні кутові накладки
для бетонних конструкцій

15. ПІДЙОМНІ СИСТЕМИ

Безпечні підйомні анкери
з маркуванням CE для
будь-яких цілей

13. АНКЕРНІ ПЛАСТИНИ (ЗАКЛАДНІ ДЕТАЛІ)

З'єднання з металевими або
залізобетонними конструкціями

1. DELTABEAM®

Несуча композитна балка для тонких
конструкцій перекриття. Комбінація з усіма
видами плит: монолітних; збірних, в т.ч.
пустотних; дерев'яних або композитних.

2. КОМПОЗИТНІ КОЛОНИ DELTABEAM® FRAME

Рациональна альтернатива для
залізобетонної колони. Утворює
конструкцію рами в поєднанні з Deltabeam.
Вогнестійкість до R180 без обшивки.

3. З'ЄДНАННЯ КОЛОН

Ефективне та швидке з'єднання
колони з фундаментом. Складається
з башмаків колон Peikko та анкерних
болтів Peikko

3. АНКЕРНІ БОЛТИ

Універсальні.
Забезпечують
передачу зусиль
стиску, розтягу, згину

9. PSB® ШАМПОВАНА АРМАТУРА

Для тонких підлогових конструкцій.
З найкращою стійкістю на ринку
для використання у фундаментах і
фундаментних плитах.

Сучасні тенденції в галузі будівництва із залізобетону

Юрій Тромса, директор <https://orcid.org/0009-0008-8371-0062>

ТОВ «ПЕЙККО УКРАЇНА» (м. Київ)

Практика останніх десятиліть у країнах Європи підтверджує економічну доцільність застосування збірних конструкцій [1] у сфері цивільного, житлового та промислового будівництва. Зазначений досвід є надзвичайно цінним для України в умовах відбудови інфраструктурних об'єктів, зруйнованих унаслідок війни, особливо з урахуванням сучасних інженерних рішень і технологій, розроблених протягом останніх років [2].



Рис. 1 – Система болтового з'єднання стінових панелей

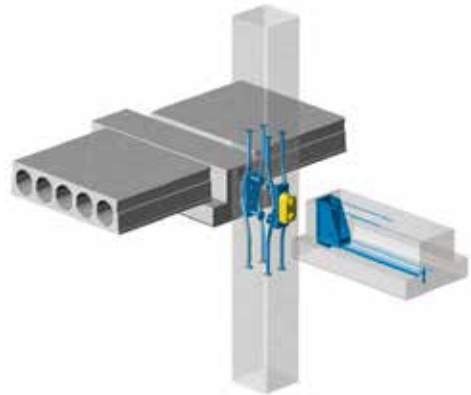


Рис.2 – Рішення з'єднання колони з балкою від Peikko на прихованих кронштейнах

Хоча індустріальні технології зведення будівель наразі не мають широкого застосування в Україні, вони можуть стати ефективним інструментом у процесі відновлення житла та об'єктів різного призначення. Серед ключових переваг — висока швидкість, надійність та мінімальна потреба в робочій силі на етапі монтажу, що особливо актуально в умовах дефіциту кадрів у будівельній галузі. Іноземні інвестори здебільшого надають перевагу саме збірним технологіям будівництва, на відміну від традиційних для України монолітних рішень. Це обумовлено не лише високою якістю та швидкістю реалізації, а й контрольованістю будівельного процесу. Західний підхід передбачає мінімізацію «мокрих процесів» і забезпечує чітке планування витрат ще на стадії проєктування, що, своєю чергою, дозволяє досягти прозорості собівартості будівництва.

Війна стала каталізатором суттєвих змін у підходах до проєктування та будівництва. Враховуючи нові реалії, можна з упевненістю припустити, що під час відбудови Україна зосередиться на більш раціональних та економічно обґрунтованих рішеннях, зокрема на впровадженні технологій збірного будівництва.

1. Yrjölä, J., and J. Bujnak. 2021. Shear Tests on Demountable Precast Column Connections. *Structural Concrete* 22 (4): 2432–2442. <https://doi.org/10.1002/suco.202000635>.
2. Kinnunen, J. 2017. ETA Tests and ETA Design of HPKM Column Shoe Connections. *Procedia Engineering* 172: 521–528. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.061>

Modern trends in the construction industry of reinforced concrete

Yurii Tromsa, director <https://orcid.org/0009-0008-8371-0062>

PEIKKO UKRAINE LLC (Kyiv)

The practice of recent decades in European countries confirms the economic feasibility of using prefabricated structures [1] in civil, residential and industrial construction. This experience is extremely valuable for Ukraine in the context of reconstruction of infrastructure facilities destroyed as a result of the war, especially taking into account modern engineering solutions and technologies developed in recent years [2].



Fig. 1 – Bolted wall panel connection system

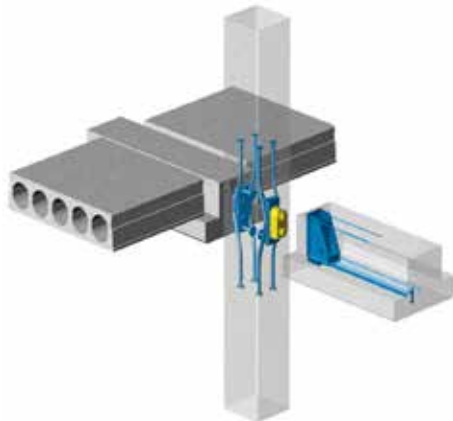


Fig. 2 – Solution for connecting a column to a beam from Peikko on hidden brackets

Although industrialized building construction technologies are not currently widely used in Ukraine, they can be an effective tool in the process of restoring housing and facilities for various purposes. Key advantages include high speed, reliability, and minimal labor requirements during the installation phase, which is especially important given the shortage of personnel in the construction industry. Foreign investors mostly prefer prefabricated construction technologies, as opposed to monolithic solutions that are traditional for Ukraine. This is due not only to the high quality and speed of implementation, but also to the controllability of the construction process. The Western approach minimizes «wet processes» and ensures clear cost planning at the design stage, which, in turn, allows for transparency of construction costs.

The war was a catalyst for significant changes in approaches to design and construction. Given the new realities, it is safe to assume that Ukraine will focus on more rational and cost-effective solutions during the reconstruction process, including the introduction of prefabricated construction technologies.

1. Yrjölä, J., and J. Bujnak. 2021. Shear Tests on Demountable Precast Column Connections. *Structural Concrete* 22 (4): 2432–2442. <https://doi.org/10.1002/suco.202000635>.
2. Kinnunen, J. 2017. ETA Tests and ETA Design of HPKM Column Shoe Connections. *Procedia Engineering* 172: 521-528. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.061>

Впровадження рішень з болтовим з'єднанням для залізобетонних конструкцій

Леонід Скорук, канд. техн. наук, доц. кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-7362-1348>;

Олександр Паливода, канд. техн. наук, інженер, <https://orcid.org/0000-0001-9787-9653>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)
ТОВ «ПЕЙККО УКРАЇНА» (м. Київ)

Мета дослідження – довести доцільність використання збірних залізобетонних конструкцій з прогресивними рішеннями на прикладі техніко-економічного порівняння рішень з болтовим з'єднанням елементів колони (див. рис. 1,2).

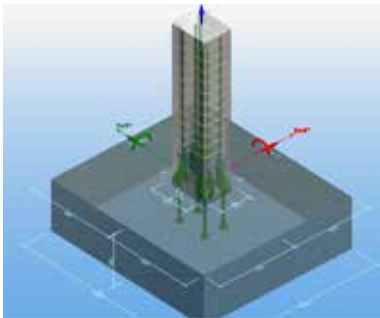


Рис. 1. Розрахункова модель вузла приєднання фундаменту на анкерних болтах



Рис. 2. Загальний вигляд рішення болтового з'єднання колон будівлі церкви (м. Львів)

Використання болтових з'єднань, зокрема анкерних болтів, не можна назвати новим. Навпаки – поява цього рішення передувала багатьом іншим. З'єднанням залізобетонних конструкцій на болтах були присвячені численні дослідження, зокрема і українських вчених [1], де було висвітлено ряд їх переваг. Проте у масового застосування такі рішення ще не набули, зважаючи на різні причини. Зокрема виробнича база не настільки могутня. До того ж певні традиції проектування прагнуть до обрання класичних, перевірених рішень.

Проте у країнах Європи, зокрема у скандинавському регіоні, дані рішення пройшли вельми широку апробацію. Варто відзначити, що на теренах України вже є реалізовані проекти із застосуванням рішень з болтовим з'єднанням залізобетонних конструкцій.

Загалом процес проектування болтових з'єднань є цілком контрольованим та не громіздким. Існують відомі алгоритми обчислення ключових параметрів при розрахунку такого рішення [2]. Зокрема при визначенні міцності болтового з'єднання визначають площу поперечного перерізу (діаметр) болтів, їх кількість, призначають глибину анкерування, задаються класом сталі, контролюють зусилля затягування болтів.

1. Інноваційні технології каркасного будівництва: навч. посібник / Г.М. Тонкачев, О.С. Молодід, В.Г. Тонкачев, О.Г. Шандра; Під ред. проф. Г.М. Тонкачєва. Київ: Видавництво Ліра-К. 2024. 316с.
2. Kinnunen, J. 2017. ETA Tests and ETA Design of НРКМ Column Shoe Connections. *Procedia Engineering* 172: 521-528. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.061>

Implementation of solutions with bolted connection for reinforced concrete structures

Leonid Skoruk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, <https://orcid.org/0000-0002-7362-1348>;

Oleksandr Palyvoda, Candidate of Technical Sciences, engineer, <https://orcid.org/0000-0001-9787-9653>

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)
PEIKKO UKRAINE LTD (Kyiv)

The purpose of the study is to prove the feasibility of using precast concrete structures with advanced solutions on the example of a technical and economic comparison of solutions with bolted connection of column elements (Figs. 1, 2).

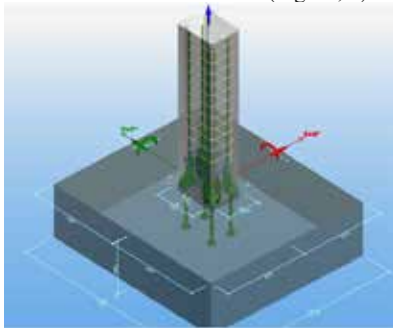


Fig. 1. Design model of the connection node foundation on anchor bolts of the columns



Fig. 2. General view of the bolted connection solution of the church building (Lviv)

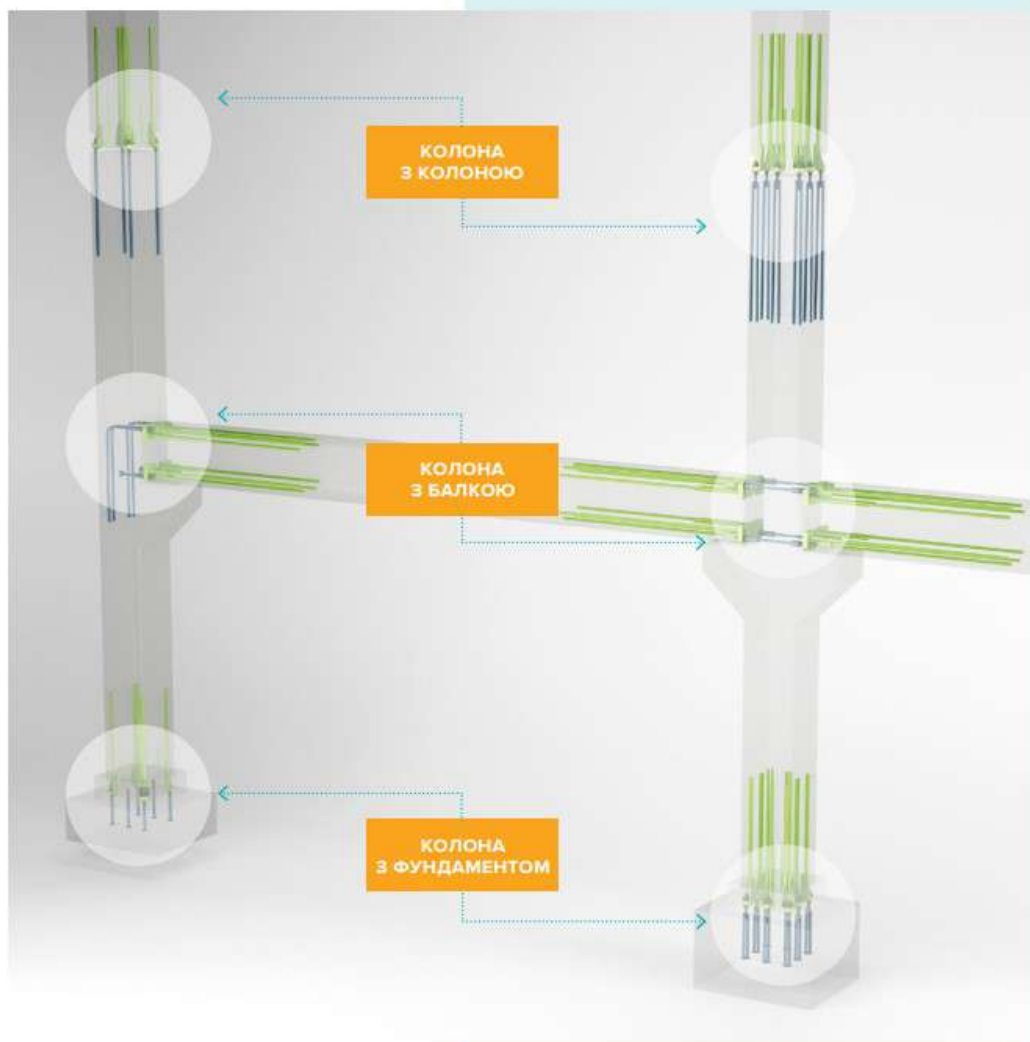
The use of bolted connections, in particular anchor bolts, cannot be called new. On the contrary, the emergence of this solution preceded many others. Numerous studies have been devoted to bolted connections of reinforced concrete structures, including by Ukrainian scientists [1], which highlighted a number of their advantages. However, such solutions have not yet become widely used for various reasons. In particular, the production base is not so powerful. In addition, certain design traditions tend to choose classic, proven solutions.

However, in European countries, particularly in the Scandinavian region, these solutions have been widely tested. It is worth noting that there are already completed projects in Ukraine that use bolted solutions for reinforced concrete structures.

In general, the process of designing bolted connections is quite controlled and not cumbersome. There are well-known algorithms for calculating key parameters in the calculation of such a solution [2]. In particular, when determining the strength of a bolted connection, the cross-sectional area (diameter) of the bolts, their number, the depth of anchoring, the steel class, and the bolt tightening force are determined.

1. Innovative technologies of frame construction: textbook / G.M. Tonkacheiev, O.S. Molodid, V.G. Tonkacheiev, O.G. Shandra: Edited by Prof. G.M. Tonkacheiev. Kyiv: Lyra-K Publishing House. 2024. 316c.
2. Kinnunen, J. 2017. ETA Tests and ETA Design of HPKM Column Shoe Connections. *Procedia Engineering* 172: 521-528. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.061>

ВСІ З'ЄДНАННЯ ЗБІРНИХ КАРКАСІВ ВІД РЕІККО



Швидший, безпечніший та стійкіший спосіб проектування і будівництва

Peikko постачає тонкі конструкції перекриттів, елементи для вітроенергетичних систем та технології з'єднання для збірних і монолітних конструкцій. Інноваційні рішення Peikko роблять ваш будівельний процес більш ефективним.



📍 КОНСУЛЬТАЦІЇ ЕКСПЕРТІВ НА МІСЦЕВОМУ РІВНІ

Peikko пропонує експертні консультації як на етапі проектування, так і на етапі будівництва, що робить використання DELTABEAM® простішим.

www.peikko.com



Peikko Ukraine

03067 Kyiv, Ukraine

53 Borestsotsky prospect

Tel.: +380 50 994 56 85

oleksandr.kosminsky@peikko.com

Збірно-монолітні конструкції для будівництва спеціальних споруд із захисту населення

Микола Доброхлос, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, Заслужений будівельник України, <https://orcid.org/0000-0001-6393-786X>;
Василь Бачинський, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, Заслужений будівельник України, <https://orcid.org/0009-0004-7426-4049>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Запропоновано нову конструктивну систему для захисту населення в умовах війни від уражень бомбами та військовими снарядами. В мирний час, для економічного його використання, сховище експлуатують, як складські приміщення для власних потреб.

Найбільш поширені захисні споруди цивільної оборони для укриття населення є сховище.

Сховища повинні витримувати динамічні навантаження від ударної хвилі бомб і військових снарядів, а також перебування в приміщенні не менше – 4 години.

За кількістю розміщення людей сховища поділено на три типи: малі, середні та великі.

Малі: 100÷150 осіб, площею до 150 м², розмірами – 12х12м;

Середні: 150÷450 осіб, площею до 300 м², розмірами – 12х24м;

Великі: більше 600 осіб, площею 650 м², розмірами – 18х36м.

Місцями для розташування сховищ можуть бути підвали житлових, громадських та промислових будівель, тобто – вбудовані, і окремо від будівель.

На основі результату обстежень виявлено три типи сховищ за конструктивним рішенням:

- 1) повно-каркасний: зовнішні стіни із збірних панелей, колони збірні залізобетонні та перекриття із збірних плоских залізобетонних плит і монолітного шару бетону;
- 2) неповно-каркасний: зовнішні стіни із збірних бетонних блоків, колони із збірних бетонних блоків, перекриття із збірних залізобетонних балок, збірних залізобетонних плит і монолітного шару бетону;
- 3) безкаркасний: зовнішні та внутрішні стіни і перекриття із монолітного залізобетону.

За несними властивостями перший і другий тип сховищ не придатні для експлуатації за призначенням і можуть виконувати захисні функції, як протирадіаційні укриття. А тому, на основі досліджень робимо висновок, що для забезпечення захисту населення в умовах війни від уражень бомбами та військовими снарядами, для сховищ, котрі б забезпечували надійний захист та скорочували термін будівництва, необхідно розробити новий тип конструктивних рішень *систему із збірно-монолітних конструкцій*.

Збірні залізобетонні несучі огорожувальні конструкції мають наступні характеристики:

- зовнішні стіни: збірні залізобетонні панелі «П»-подібної форми з петльовими випусками товщиною 300÷400 мм, висотою 3300 мм та шириною 2400 мм,
- збірні залізобетонні стакани для укладання колон з випусками арматури для з'єднання з монолітною фундаментною плитою розмірами: 1200х1200х1000 мм,
- збірні залізобетонні колони з випусками арматури у верхній частині розмірами: 2300х500х500 мм,
- збірні залізобетонні плити перекриття з отворами для розміщення випусків із колон розмірами: 400÷600х1500х1500 мм.

Нижня та верхня плити перекриття з'єднуються зі стіновими панелями та надколонними плитами за допомогою арматурних петльових випусків. Товщина монолітних плит – 400 мм.

В складі конструктивних рішень сховища повинна бути теплоізоляція, котра б давала захист від дії пожежі внутрішніх поверхонь стін, не більше 30⁰С.

Precast-Monolithic Structures for the Construction of Special Protective Facilities for the Population

Mykola Dobrokhlop, PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Honored Builder of Ukraine, <https://orcid.org/0000-0001-6393-786X>

Vasyl Bachynskiy, PhD student of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Honored Builder of Ukraine, <https://orcid.org/0009-0004-7426-4049>

Kyiv National University of Construction and Architecture

A new structural system has been proposed for protecting the population during wartime from the impact of bombs and military projectiles. In peacetime, for more efficient use, the shelter can be utilized as warehouse premises for internal needs.

The most widespread civil defense protective structures intended to shelter the population are protective shelters. These shelters must withstand dynamic loads from blast waves caused by bombs and projectiles and ensure a safe stay for people for no less than 4 hours. Shelters are categorized by capacity into three types:

Small: 100–150 people, with an area up to 150 m², dimensions – 12×12 m.

Medium: 150–450 people, with an area up to 300 m², dimensions – 12×24 m.

Large: more than 600 people, with an area of 650 m², dimensions – 18×36 m.

Potential locations for shelters include the basements of residential, public, or industrial buildings (integrated), or they may be constructed separately from buildings. Based on the results of field inspections, three main types of shelters by structural design were identified:

1. Full-frame: external walls made of precast panels; precast reinforced concrete columns; floor slabs made of precast flat reinforced concrete plates with a monolithic concrete topping.
2. Partial-frame: external walls made of precast concrete blocks; columns made of precast blocks; slabs composed of precast reinforced concrete beams, slabs, and a monolithic layer.
3. Frameless: external and internal walls and floor slabs made entirely of monolithic reinforced concrete.

The first and second types, due to their load-bearing limitations, are not suitable for their intended use under wartime conditions. They may only serve as radiation protection shelters. Based on the conducted studies, it is concluded that a new structural system using precast-monolithic components is required to ensure both reliable protection and faster construction timelines.

Structural characteristics of the proposed precast reinforced concrete enclosing and load-bearing elements include:

- External walls: precast reinforced concrete U-shaped panels with looped rebar projections, 300–400 mm thick, 3300 mm high, and 2400 mm wide;
- Precast reinforced concrete sockets for column installation with reinforcement projections for connection with the monolithic foundation slab, dimensions: 1200×1200×1000 mm;
- Precast reinforced concrete columns with reinforcement projections at the top, dimensions: 2300×500×500 mm;
- Precast reinforced concrete floor slabs with holes for column reinforcement projections, dimensions: 400–600×1500×1500 mm.

The top and bottom floor slabs are connected to the wall panels and over-column slabs through reinforcement loops. The thickness of the monolithic floor slabs is 400 mm.

The structural system of the shelter must also include thermal insulation to ensure that the internal wall surfaces are protected from fire exposure, maintaining temperatures not exceeding 30 °C.

Раціональні конструкції сталевих ферм із паралельними поясами з урахуванням дії зосередженого імпульсного навантаження

Артем Білик, канд. техн. наук, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-9219-920X>;

Максим Терновий, асистент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0003-7586-7872>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – розробити принципи проектування нового класу сталевих конструкцій покриттів з підвищеними захисними властивостями (ПЗВ) для будівель і споруд критичної інфраструктури і цивільного призначення. Характерною конструктивною ознакою таких конструкцій є розрахунок на дію імпульсного навантаження від падіння уламків засобів повітряного нападу. Методологія визначення коефіцієнтів динамічності приведена в роботі [1]. Окремі числові дослідження коефіцієнтів динамічності під час дії зосередженого імпульсу приведені в роботах [1,2].

Узагальненим коефіцієнтом, який приводить кілька типів конструкцій сталевих ферм з паралельними поясами до роботи ідеального двотавра з підвищеною деформацією є параметр деформації зсуву перерізу (k_G). Запропоновано у [1] коефіцієнт (k_G) визначають через відношення прогину сталеві ферми як ідеального двотавра без деформації зсуву перерізу - $\eta_{tr,bim}$ до дійсного прогину сталеві конструкції при статичному навантаженні $\eta_{tr,st}$. Момент інерції сталеві ферми покриття ($I_{tr,x}$) приймається як для ідеального двотавра ($I_{tr,b,x}$) $I_{tr,x} = k_G I_{tr,b,x}$ ($0,5 \leq k_G \leq 0,9$). Для числових досліджень важливе визначення коефіцієнта динамічності за прогинами $k_{din,\eta,2}$ та коефіцієнта динамічності за згинальним моментом $k_{din,M,2}$ (1).

$$k_{din,\eta,2} = \frac{96}{\pi^4} \sum_{j=1,3,5..2n-1}^{n \rightarrow \infty} \frac{2 \sin\left(\frac{\omega_j \tau_1}{2}\right)}{j^4} \sin\left[\omega_j \left(t - \frac{\tau_1}{2}\right)\right], \quad (1)$$
$$k_{din,M,2} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{j=1,3,5..2n-1}^{n \rightarrow \infty} \frac{2 \sin\left(\frac{\omega_j \tau_1}{2}\right)}{j^2} \sin\left[\omega_j \left(t - \frac{\tau_1}{2}\right)\right].$$

Записана цільова функція витрат сталі на конструкцію покриття в класичній постановці. Проведені числові дослідження витрат сталі і визначені закономірності зміни раціональної висоти ферми покриття в залежності від коефіцієнтів динамічності і співвідношення між імпульсним навантаженням і вагою захисних конструкцій покриття, встановлено вплив часу дії імпульсу (τ_1) і значення коефіцієнта k_G на вибір найкращого рішення сталеві конструкції ферми покриття. Враховано також вплив зміни висоти конструкції на колову частоту власних коливань і на коефіцієнти динамічності. Встановлені нові закономірності впливу часу дії імпульсного навантаження на коефіцієнти динамічності та раціональну висоту сталеві ферми покриття з підвищеними захисними властивостями.

1. Білик А.С., Терновий М.І. Числові дослідження коефіцієнтів динамічної роботи сталевих ферм покриття приведених до балкової конструкції при дії зосередженого імпульсивного навантаження/ А.С.Білик, М.І. Терновий // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-техн. збірник. – К.:КНУБА, 2024. – Вип. 113. – С. 265-274. DOI:[10.32347/2410-2547.2024.113.265-274](https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.113.265-274).
2. Ternovyy M. I., Bilyk A. S., Daurov M. K. A new research method for the dynamic properties of the steel roof trusses using reducing bending rigidity and the shear deformation of the ideal i-beam model/ // Future of science: innovations and perspectives. Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference. SSPG Publish. Stockholm, Sweden. 2025. Pp. 69-72. URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-future-of-science-innovations-and-perspectives-26-28-01-2025-stokholm-shvetsiya-arhiv/>. ISBN 978-91-87224-03-4.

Rational designs of steel trusses with parallel chords taking into account the action of concentrated impulse loading

Artem Bilyk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of steel and timber structures, <https://orcid.org/0000-0002-9219-920X>;

Maksym Ternovy, Assistant Professor of the Department of steel and timber structures, <https://orcid.org/0009-0003-7586-7872>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The purpose of the study is to develop a principles for designing a new class of steel structures of roof trusses with increased protective properties for buildings and structures of critical infrastructure and civil purposes. A characteristic design feature of such structures is the calculation of the action of impulse loading from falling fragments of UAS. The methodology for determining dynamic coefficients is given in [1]. Separate numerical studies of dynamic coefficients during the action of a concentrated impulse are given in [1,2].

The generalized coefficient that leads several types of steel truss structures with parallel chords to the operation of an ideal I-beam with increased deformation is the shear deformation parameter of the section (kG). The coefficient (kG) is proposed to be determined through the ratio of the deflection of the steel truss as an ideal I-beam without shear deformation of the section $\eta_{tr,bim}$ to the actual deflection of the steel structure under static loading $\eta_{tr,st}$. The moment of inertia of the steel truss of the roof ($I_{tr,x}$) is taken as for an ideal I-beam ($I_{tr,b,x}$) $I_{tr,x} = kGI_{tr,b,x}$ ($0.5 \leq kG \leq 0.9$). For numerical studies, it is important to determine the dynamic coefficient for deflections $k_{din,\eta,2}$ and the dynamic coefficient for bending moment $k_{din,M,2}$ (1).

$$k_{din,\eta,2} = \frac{96}{\pi^4} \sum_{j=1,3,5..2n-1}^{n \rightarrow \infty} \frac{2 \sin\left(\frac{\omega_j \tau_1}{2}\right)}{j^4} \sin\left[\omega_j \left(t - \frac{\tau_1}{2}\right)\right], \quad (1)$$
$$k_{din,M,2} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{j=1,3,5..2n-1}^{n \rightarrow \infty} \frac{2 \sin\left(\frac{\omega_j \tau_1}{2}\right)}{j^2} \sin\left[\omega_j \left(t - \frac{\tau_1}{2}\right)\right].$$

The steel weight target function for the roof structure is written in classical terms. Numerical studies of steel weight were carried out and the patterns of changes in the rational height of the roof truss were determined depending on the dynamic coefficients and the ratio between the impulse load and the weight of the protective structures of the roof, the influence of the pulse action time (τ_1) and the value of the kG coefficient on the choice of the best solution for the steel structure of the roof truss were established. The influence of the change in the height of the structure on the circular frequency of its own vibrations and dynamic coefficients was also taken into account. New patterns of the influence of the impulse load action time on the dynamic coefficients and the rational height of the steel roof truss with increased protective properties were established.

1. Bilyk A. S., Ternovy M. I., Numerical research of the coefficients of the dynamic work of steel framing covers reduced to a beam structure under the action of a concentrated impulsive load // Strength of Materials and Theory of Structures. Scientific-and-technical collected articles. – K.: KNUBA, 2024. – Issue 113. – P. 265-274. DOI:10.32347/2410-2547.2024.113.265-274.
2. Daurov M. K. A new research method for the dynamic properties of the steel roof trusses using reducing bending rigidity and the shear deformation of the ideal i-beam model/ // Future of science: innovations and perspectives. Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference. SSPG Publish. Stockholm, Sweden. 2025. Pp. 69-72. URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-future-ofscience-innovations-and-perspectives-26-28-01-2025-stokgolm-shvetsiya-arhiv/>. ISBN 978-91-87224-03-4.

Вплив конструкційно-технологічних рішень захисного огородження ядерного реактора AP1000 на організацію будівельних процесів

Король Скіба, магістер, аспірант; <https://orcid.org/0009-0001-6303-3825>

Роман Кінаш, професор, д.техн.наук, Факультет цивільної інженерії та управління ресурсами, <https://orcid.org/0000-0001-6715-9583>

Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця (м. Краків, Польща)

Проект ядерного реактора AP1000 передбачає низку інноваційних конструкційно-технологічних рішень для будівельних конструкцій. Прикладами унікальних рішень є захисна оболонка та захисна будівля. Будівля реактора складається з внутрішньої захисної оболонки, сталевго корпусу під тиском і навколишньої захисної будівлі. Захисна будівля укрита запроектована як сталобетонна композитна конструкція, здатна витримувати екстремальні зовнішні ризики, такі як землетруси та удари літаків, забезпечуючи таким чином вищий рівень захисту порівняно з традиційними залізобетонними конструкціями. Внутрішній захисний корпус є невід'ємною частиною пасивної системи охолодження шафи, призначеної для відведення надлишкової теплової енергії без використання активних пристроїв. Крім того, в реакторі AP1000 використовують системи сейсмічної ізоляції та демпфери маси для зменшення впливу сейсмічних поштовхів, що ще більше підвищує стабільність і безпечну роботу електростанції як в нормальних, так і в аварійних умовах [1].

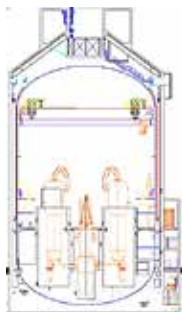


Рис.1 - Розріз AP1000 [2]

Рис.2 - Контейнерна ємність [1]

Рис.3 - Панель захисної будівлі [1]

Однією з ключових інновацій проекту AP1000 є використання технології модульного будівництва. Завдяки попередньому виготовленню конструкційних і технологічних компонентів за межами будівельного майданчика та збірці їх на місці, проект може значно скоротити час виконання робіт, знизити витрати та підвищити якість виконання. Однак використання модульного виробництва також створює певні проблеми, зокрема логістичні вимоги до транспортування великогабаритних модулів і точної координації збірки на місці.

Метою цієї статті є визначення ключових унікальних будівельних процесів, включаючи логістичні процеси, що впливають на реалізацію проекту AP1000. Проаналізовано вплив конструкційних і технологічних рішень на організацію та технологію будівництва, терміни виконання робіт, рівень проектних ризиків. Уроки минулих проектів AP1000 є цінним джерелом знань для майбутніх ядерних інвестицій, вказуючи на важливість стратегічного планування, інтеграції сучасних будівельних технологій та гнучкого підходу до місцевих особливостей проектування.

1. Westinghouse AP1000 Design Control Document Rev. 18 - Tier 2 Chapter 3 - Design of Structures, Components, Equipment and Systems, <https://www.nrc.gov/docs/ML1034/ML103480517.pdf>
2. Schulz, T. L. (2006). Westinghouse AP1000 advanced passive plant. Nuclear Engineering and Design, 236(14–16), 1547–1557. <https://doi.org/10.1016/J.NUCENGDES.2006.03.049>

Impact of the design and material solutions of the AP1000 reactor containment building on the construction processes organisation

Karol Skiba, PhD Student, AGH Doctoral School, <https://orcid.org/0009-0001-6303-3825>

Roman Kinasz, professor (Full), PhD. D.Sc. Eng., professor of the Department Geomechanics, Civil Engineering and Geotechnics, Faculty of Civil Engineering and Resource Management, <https://orcid.org/0000-0001-6715-9583>

AGH University of Science and Technology in Krakow, Poland

The design of the AP1000 nuclear reactor introduces numerous innovative design and material solutions in the field of civil engineering. A notable example of these unique solutions is the containment building and the surrounding shield building. The reactor building consists of an internal containment, a steel pressure vessel, and the outer shield building. The shield building is designed as a composite steel-concrete structure, capable of withstanding extreme external hazards such as seismic events and aircraft impacts, thereby providing a higher level of protection compared to traditional reinforced concrete designs.

The internal containment vessel is an integral part of the passive containment cooling system, which is designed to remove excess thermal energy without the use of active mechanical systems. Furthermore, the AP1000 reactor employs seismic isolation systems and tuned mass dampers, which mitigate the impact of seismic shocks, further enhancing the stability and operational safety of the plant under both normal and accident conditions. [1]

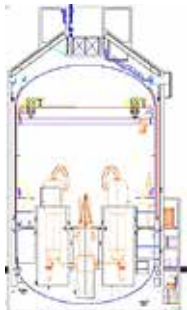


Fig.1. AP1000 Section [2]



Fig.2. Containment Vessel [1]



Fig.3. Shield Building Panel [1]

One of the key innovative features of the AP1000 design is the implementation of modular prefabrication technology. The off-site prefabrication of structural elements, followed by their on-site assembly, allows for a significant reduction in construction time, cost savings, and improved quality of workmanship. However, modular prefabrication also presents challenges, including the logistical requirements for transporting large modules and the need for precise coordination during on-site assembly.

The aim of this study is to identify the key unique construction processes, including logistical processes, that influence the course of AP1000 project execution. The analysis focuses on the impact of design and material solutions on construction organization and technology, project execution time, and risk management. The conclusions drawn from past AP1000 projects provide valuable insights for future nuclear investments, emphasizing the importance of strategic planning, the integration of advanced construction technologies, and a flexible approach to local project conditions.

1. Westinghouse AP1000 Design Control Document Rev. 18 - Tier 2 Chapter 3 - Design of Structures, Components, Equipment and Systems, <https://www.nrc.gov/docs/ML1034/ML103480517.pdf>
2. Schulz, T. L. (2006). Westinghouse AP1000 advanced passive plant. Nuclear Engineering and Design, 236(14–16), 1547–1557. <https://doi.org/10.1016/J.NUCENGDDES.2006.03.049>

Оцінка впливу імпульсного навантаження спричиненого вибухом та ударом на заглиблені захисні споруди та ґрунтове середовище

Віктор Носенко, канд. техн. наук, завідувач кафедри геотехніки, <https://orcid.org/0000-0002-8261-1846>

Дмитро Нечипоренко, аспірант кафедри геотехніки, <https://orcid.org/0009-0006-6697-2381>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – оцінка впливу вибуху та удару снаряду на заглиблену в ґрунтове середовище захисну споруду.

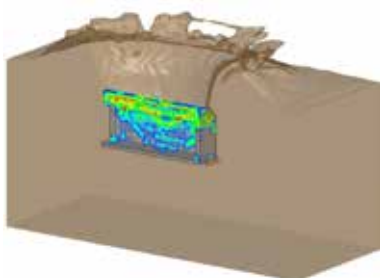


Рис.1 - Розподіл пластичних деформацій в споруді на глибині 0,5 м в результаті дії вибуху

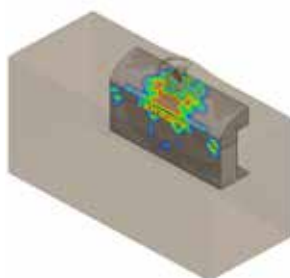


Рис.2 - Розподіл пластичних деформацій в споруді на глибині 0,5 м в результаті удару

В роботі представлені результати оцінки впливу вибуху та удару на заглиблену у ґрунт захисну споруду виконані у програмному комплексі Ansys/LS-Dyna. Споруда, що аналізувалась є модульною конструкцією яка складається з двох крупнорозмірних залізобетонних елементів, занурена в ґрунтове середовище, в якості якого обраний піщаний ґрунт.

При створенні розрахункової моделі заглиблена споруда моделювалась сіткою Лагранжа, а ґрунт, повітря, простір навколо заглибленої споруди та зона вибуху за допомогою сітки Ейлера. Такий підхід дає змогу використати переваги обох методів.

Розрахунки на дію впливу вибухової ударної хвилі спричиненої вибухівкою масою 50 кг у тротиловому еквіваленті проводилися для трьох варіантів заглиблення споруди: обсіпка ґрунтом товщиною 0,5 м; заглиблення в ґрунт на 1,0 м та на 1,5 м. Досліджено, що збільшення глибини занурення споруди з 0,5 м до 1 м зменшує тиск, що виникає на поверхні споруди в 20 разів, її переміщення зменшуються в 4 рази, напруження в арматурі зменшуються на 68% та значно менше розміри зони пластичних деформацій.

При дослідженні впливу від удару снаряду масою 200 кг, що рухається зі швидкістю 50 м/с під кутом 60° до поверхні ґрунту споруда занурювалась на глибини 0,1 м та 0,5 м. Встановлено, що збільшення глибини занурення споруди знижує ступінь пошкодження заглибленої споруди, кількість пошкоджених ударом зон при збільшенні з 0,1 м до 0,5 м зменшується на 80% тобто ґрунтовий прошарок товщиною 0,5 м добре виконує демфуючу функцію.

1. Bojanowski, C., & Kulak, R. F. (2010, June). Comparison of lagrangian, SPH and MM-ALE approaches for modeling large deformations in soil. In 11th International LS-DYNA® Users Conference, Dearborn, MI, pp11-45 to (pp. 11-55).
2. Tabatabaei, Z. S., & Volz, J. S. (2012, June). A comparison between three different blast methods in LS-DYNA: LBE, MM-ALE, Coupling of LBE and MM-ALE. In 12th International LS-DYNA Users Conference (Vol. 3, pp. 1-10).

Assessment of the impact of impulse loading caused by explosion and impact on underground protective structures and soil

Viktor. Nosenko, candidate of technical sciences, head of the Department of Geotechnics.
<https://orcid.org/0000-0002-8261-1846>

Dmytro. Nechyporenko, postgraduate of the Department of Geotechnics,
<https://orcid.org/0009-0006-6697-2381>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The purpose of the study is assessment of the impact of an explosion and shell strike on a protective structure embedded in the soil environment.

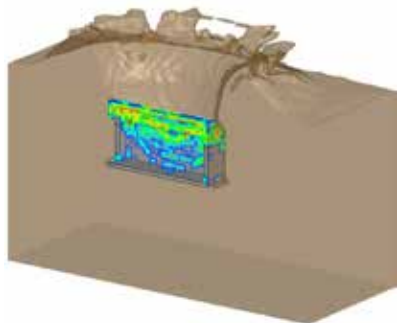


Fig.1 - Distribution of plastic deformations in the structure at a depth of 0.5 m as a result of the explosion.

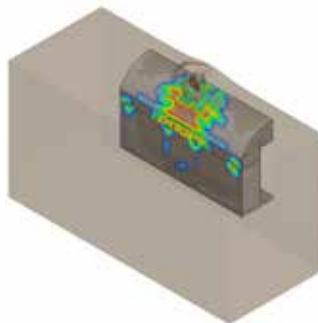


Fig.2 - Distribution of plastic deformations in the structure at a depth of 0.5 m as a result of the impact.

This study presents the results of an assessment of the effects of explosion and impact on a buried protective structure using the Ansys/LS-Dyna software suite. The analyzed structure is a modular construction consisting of two large-sized reinforced concrete elements, embedded in a soil environment modeled as sandy soil.

In the creation of the computational model, the buried structure was modeled using a Lagrangian mesh, while the soil, air, space around the structure, and the explosion zone were modeled using an Eulerian mesh. This hybrid approach allows for the benefits of both methods to be utilized.

The simulations of explosive impact caused by a 50 kg TNT-equivalent charge were conducted for three burial depth scenarios: soil backfill of 0.5 m; burial depths of 1.0 m and 1.5 m. It was found that increasing the burial depth from 0.5 m to 1.0 m reduces the pressure on the structure's surface by a factor of 20, reduces displacements by a factor of 4, decreases reinforcement stress by 68%, and significantly reduces the size of the plastic deformation zone.

In the study of impact effects from a 200 kg projectile traveling at 50 m/s at a 60° angle to the soil surface, the structure was buried at depths of 0.1 m and 0.5 m. It was determined that increasing the burial depth significantly reduces the extent of damage to the buried structure: the number of damaged zones decreased by 80% when the burial depth increased from 0.1 m to 0.5 m. This indicates that a 0.5 m thick soil layer effectively performs a damping function.

1. Bojanowski, C., & Kulak, R. F. (2010, June). Comparison of lagrangian, SPH and MM-ALE approaches for modeling large deformations in soil. In 11th International LS-DYNA® Users Conference, Dearborn, MI, pp11-45 to (pp. 11-55).
2. Tabatabaei, Z. S., & Volz, J. S. (2012, June). A comparison between three different blast methods in LS-DYNA: LBE, MM-ALE, Coupling of LBE and MM-ALE. In 12th International LS-DYNA Users Conference (Vol. 3, pp. 1-10).

Аналіз впливу способів моделювання основи плитних фундаментів на розподіл напружень і деформацій у конструкціях будівель

Олександр Гаврилюк, асистент кафедри геотехніки, <https://orcid.org/0000-0001-7252-0679>;

Вероніка Жук, канд. техн. наук, доцент кафедри геотехніки, <https://orcid.org/0000-0002-1114-3192>;

Остан Кашиоїда, PhD, доцент кафедри геотехніки, <https://orcid.org/0000-0002-9234-4489>.

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

У дослідженні проаналізовано вплив методу моделювання основи плитного фундаменту в системі «основа-фундамент-надземні конструкції» на розподіл напружень і деформацій у конструкціях будівель. Розглянуто два підходи до моделювання основи: 1) застосування коефіцієнтів жорсткості основи (рис.1); 2) використання об'ємних скінченних елементів з пружним законом деформування (рис.2).

Досліджувана будівля включає дві суміжні секції, кожна з яких має: дев'ять надземних поверхів виконаних із збірних залізобетонних стінових панелей товщиною 160 мм; один підземний поверх (виконаний із монолітного залізобетону), який виконуватиме функцію споруди подвійного призначення (СПП).

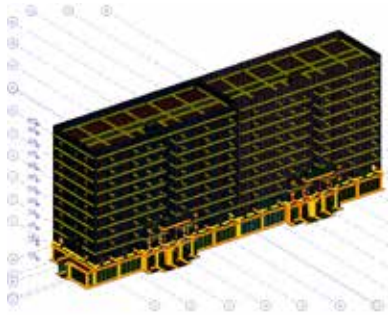


Рис.1 – Модель із використанням коефіцієнтів жорсткості основи для врахування взаємодії з ґрунтом

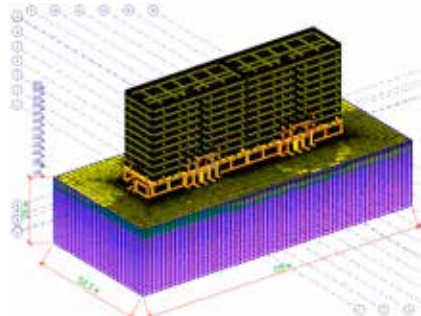


Рис.2 – Модель із використанням об'ємних скінченних елементів для моделювання ґрунтового масиву

В межах будівельного майданчику виявлено п'ять інженерно-геологічних елементів (ІГЕ): 1) насипний ґрунт; 2) суглинок тугопластичний, $E=25\text{МПа}$; 3) пісок мілкий, середньої щільності, малого ступеня водонасичення, $E=32\text{МПа}$; 4) суглинок м'якопластичний, $E=16\text{МПа}$; 5) пісок мілкий, щільний, малого ступеня водонасичення, $E=39\text{МПа}$.

Виконано порівняння: а) осідання фундаментів; б) згинаючих моментів у фундаментах; в) вертикальні та горизонтальні напруження у монолітних залізобетонних стінах підвалу; г) згинальних моментів у плиті перекриття над спорудою подвійного призначення (СПП); д) горизонтальні та вертикальні напруження у стінових панелях типового поверху; е) переміщення парапетних стінових панелей у горизонтальній площині; ж) витрачений час на розрахунок моделі.

1. Носенко В.С. Вплив жорсткості несучих конструкцій будинку зі збірного залізобетону на напружено-деформований стан фундаментів із буройн'єкційних пал / В.С. Носенко, О.А. Кривенко // Основи та фундаменти : науково-технічний збірник / - Київ : КНУБА, 2020. - Вип. 40. - С. 48 – 57. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.40.2020.48-57>
2. Жупаненко І.В. Чисельний аналіз методів розрахунку ґрунтової основи та методів визначення коефіцієнтів постелі/І.В. Жупаненко // Основи та фундаменти : науково-технічний збірник / - Київ : КНУБА, 2020. - Вип. 41. - С. 64 – 71. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.41.2020.64-71>

Analysis of the influence of methods for simulation the base of slab foundations on the distribution of stresses and deformations in building structures

Oleksandr Gavrilyuk, assistant, Department of Geotechnics, <https://orcid.org/0000-0001-7252-0679>

Veronika Zhuk, candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Geotechnics, <https://orcid.org/0000-0002-1114-3192>

Ostap Kashoida, PhD in Civil Engineering, Associate Professor, Department of Geotechnics, <https://orcid.org/0000-0002-9234-4489>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The study analyzes the influence of the slab foundation base simulation method in the "base-foundation-above-ground structures" system on the distribution of stresses and strains in building structures. Two approaches to base simulation are considered: 1) the use of base rigidity coefficients (Fig.1); 2) the use of volumetric finite elements with an elastic deformation law (Fig.2).

The building under study includes two adjacent sections, each of which has: nine above-ground floors made of precast reinforced concrete wall panels 160 mm thick; one underground floor (made of monolithic reinforced concrete), performing the function of a dual-purpose structure (DPS).

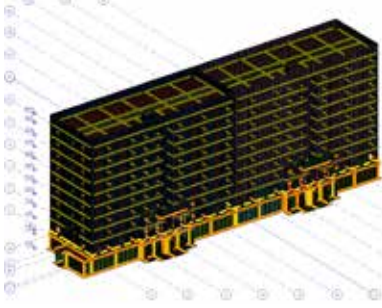


Fig.1 - Model using foundation stiffness coefficients to account for interaction with soil

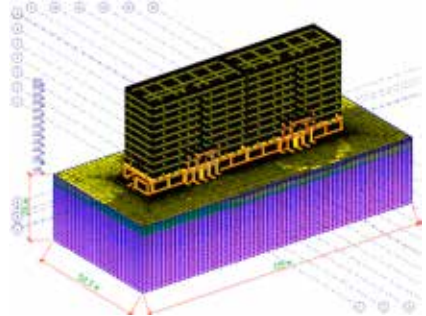


Fig.2 - A model using volumetric finite elements for modeling a soil mass

Five engineering-geological elements (EGE) were found within the construction site: 1) fill soil; 2) firm-stiff silt, $E=25$ MPa; 3) fine sand, medium density, low water saturation, $E=32$ MPa; 4) firm silt, $E=16$ MPa; 5) fine, dense sand, low water saturation, $E=39$ MPa.

The following was compared: a) foundation settlement; b) bending moments in foundations; c) vertical and horizontal stresses in monolithic reinforced concrete basement walls; d) bending moments in the floor slab above a dual-purpose structure (DPS); e) horizontal and vertical stresses in wall panels of a typical floor; f) displacement of parapet wall panels in the horizontal plane; g) time spent on model calculation.

1. Nosenko V.S., Krivenko O.A. Vplyv zhorstkosti nesuchih konstrukcij budinki zi zbirnogo zalizobetonu na napruzhenno-deformovanij stan fundamentiv iz buroin'ekcijnih pal' (Influence of house bearing construction rigidity of precast reinforced concrete on stress-strain state Continuous Flight Auger (CFA) piles foundations) / V.S.Nosenko, O.A.Krivenko // Bases and Foundation. – 2020. – issue 40. – p. 48 – 57. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.40.2020.48-57>
2. Zhupanenko I.V. Chisel'nij analiz metodiv rozrahunku rnutovoi osnovi ta metodiv viznachennya koeficientiv posteli (Numerical analysis of methods for calculating the soil base and methods for determining bed coefficients) / I.V.Zhupanenko // Bases and Foundation. – 2020. – issue 41. – p. 64 – 71. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.41.2020.64-71>

Динамічна поведінка висотної будівлі, розташованої поблизу руху залізничного транспорту

Ольга Лук'янченко, докт. техн.наук, професор кафедри будівельної механіки, <https://orcid.org/0000-0003-1794-6030>

Андрій Козак, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельної механіки, <https://orcid.org/0000-0002-3192-1430>

Денис Костін, аспірант кафедри будівельної механіки <https://orcid.org/0009-0000-2191-933X>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Поглиблення співпраці з Євросоюзом у транспортній сфері та використання транзитного потенціалу України є важливим напрямком спільної транспортної політики. Сьогодні реалізуються інфраструктурні проекти та проекти технічної і військової допомоги. Найбільш актуальними для мегаполісів є питання, пов'язані із зростанням парку транспортних засобів та руху залізничного транспорту поблизу цивільних будівель і споруд. Відомо, що рухомий склад є джерелом вібрацій у ґрунті, які впливають на прилеглі до залізничних магістралей будівлі. Вібрації можуть викликати нерівномірне осідання фундаментів та додаткові напруження в елементах каркасу будівель. На теперішній час немає достатньої кількості вірогідних даних як вібрації від рухомого складу розповсюджуються в ґрунті і впливають на споруди. Особливо, важливими є врахування додаткових динамічних навантажень від рухомого складу при дослідженні динамічної поведінки багатоповерхових будівель, які є більш чутливими до сейсмічного та вітрового навантажень. Виконання умов безаварійної експлуатації багатоповерхових будівель є необхідним для попередити їх руйнуванню та збереження життя людей.

Досліджено вплив навантажень від рухомого складу на каркас висотної секції офісного центру, що розташована поблизу руху залізничних потягів у міській забудові. Математичне моделювання динамічної поведінки багатоповерхової будівлі при дії навантаження від рухомого складу виконано в два етапи. На першому етапі досліджено вплив навантаження від рухомого складу, що передається через баластову призму, на динамічну поведінку основи. Скінченноелементна модель баластової призми і ґрунту побудована у вигляді плоского пружнопластичного напівпростору довжиною 200 м і глибиною 60 м. Баластова призма і ґрунт змодельовані сукупністю плоских прямокутних і трикутних елементів із шістьма степенями вільності у вузлі з відповідними фізико-механічними характеристиками. На другому етапі за допомогою квазістатичного методу досліджено напружено-деформований стан будівлі при дії кінематичного збудження ґрунту. Сформована 3D модель 25-поверхової монолітно-каркасної секції офісного центру з 9-поверховим паркінгом. Виконаний модальний аналіз будівлі, отримані форми і частоти власних коливань. Кінематичне збудження ґрунту представлено у вигляді векторів прискорень, що прикладені по висоті фундаменту будинку. Динамічна поведінка висотної будівлі досліджена за допомогою спектрального методу. Перевірені умови надійності і конструктивної безпеки будівлі при дії комбінації навантажень, що включає вплив вібрації ґрунту основи.

Представлений чисельний підхід дозволив дослідити динамічний вплив рухомого складу на розповсюдження вібрацій в ґрунті, визначити прискорення ґрунту на різних відстанях і глибинах основи, дослідити динамічну поведінку багатоповерхової каркасної будівлі при дії розрахункових навантажень без і з урахуванням вібрацій від рухомого складу. Дослідження продемонструвало, що вплив вібрації ґрунту від рухомого складу є помітним на рівні основи будівлі, навіть на відстані, що дозволена державними будівельними нормами

1 Лук'янченко О.О., Костіна О.В., Герашенко О.В. Вплив навантаження від рухомого складу на динамічну поведінку багатоповерхової будівлі // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2014. – № 93. – С. 100-109. <http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-93/14.pdf>

Dynamic behavior of a high-rise building located near railway traffic

Olga Lukianchenko, *Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Structural Mechanics* <https://orcid.org/0000-0003-1794-6030>

Andrii Kozak, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structural Mechanics* <https://orcid.org/0000-0002-3192-1430>

Denys Kostin, *postgraduate of the Department of Structural Mechanics*
<https://orcid.org/0009-0000-2191-933X>

Kyiv National University of Construction and Architecture

Enhancing collaboration with the European Union in the transport sector and utilizing Ukraine's transit potential are important directions in joint transport policy. Today, infrastructure projects and initiatives involving technical and military assistance are being implemented. The most pressing issues for metropolises concern the growing number of vehicles and railway traffic near civilian buildings and structures. It is well-known that rolling stock generates vibrations in the soil that affect buildings located near railway lines. These vibrations can lead to uneven settlement of foundations and additional stresses in the structural elements of buildings. Currently, there is a lack of reliable data on how vibrations from rolling stock propagate through the soil and impact nearby structures. Of particular importance is the consideration of additional dynamic loads from rolling stock when analyzing the dynamic behavior of multi-storey buildings, which are more sensitive to seismic and wind loads. Ensuring safe operational conditions for multi-storey buildings is essential to prevent their destruction and protect human lives.

The influence of loads from rolling stock on the frame of the high-rise section of an office center located near railway traffic in an urban area has been investigated. The mathematical modeling of the dynamic behavior of a multi-story building under rolling stock loads was carried out in two stages. In the first stage, the impact of the rolling stock load, transmitted through the ballast prism, on the dynamic behavior of the foundation was studied. The finite element model of the ballast prism and the soil was developed in the MSC NASTRAN software environment as a planar elastic-plastic half-space with a length of 200 meters and a depth of 60 meters. The ballast prism and soil were modeled as a combination of flat rectangular and triangular elements with six degrees of freedom at each node, incorporating appropriate physical and mechanical properties. In the second stage, using the quasi-static method, the stress-strain state of the building under the action of soil kinematic excitation was analyzed. A 3D model of a 25-story monolithic-frame section of the office center with a 9-story parking structure was created. A modal analysis of the building was conducted, and the forms and frequencies of its natural oscillations were obtained. The soil kinematic excitation was represented by vectors of accelerations applied along the height of the building's foundation. The dynamic behavior of the high-rise building was examined using the spectral method. Reliability and structural safety conditions of the building under a combination of loads, including the effect of soil vibration, were verified.

The proposed numerical approach enabled the investigation of the dynamic impact of rolling stock on vibration propagation in the soil, the determination of ground accelerations at various distances and depths of the foundation, and the analysis of the dynamic behavior of a multi-storey frame building under calculated loads, both with and without the influence of vibrations caused by rolling stock. The study demonstrated that ground vibrations caused by rolling stock are noticeable at the building's foundation level, even at distances permitted by national construction standards.

1. Lukianchenko O.O., Kostina O.V., Geraschenko O.V. Influence of loading is from a rolling stock on the dynamic behavior of multi-storey building // *Strength of Materials and Theory of Structures*. – 2014. – Issue. 93. – P. 100-109. <http://opir.knuba.edu.ua/files/zbirnyk-93/14.pdf>

Ескізне формоутворення дискретних оболонок споруд спеціального призначення, що перебувають під впливом зовнішніх комбінованих впливів

Віталій Плюскій, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри архітектурних констукцій, <https://orcid.org/0000-0002-2632-8085>;

Роман Пасько, PhD, докторант, кафедра архітектурних констукцій, <https://orcid.org/0000-0002-3313-0368>;

Олександр Іщук, здобувач, <https://orcid.org/0009-0009-8265-3438>;

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – проектування дискретних оболонок споруд спеціального призначення (ОССП) під впливом зовнішніх комбінованих впливів із застосуванням статико-геометричного методу (СГМ) прикладної геометрії [1]. Використання СГМ та елементів теорії поля дозволяє описувати рівновагу дискретних моделей ОССП під дією функціонально описаних зовнішніх впливів, заданих у формі векторних компонентів, прикладених до вузлів відповідних моделей.

Принципи роботи конструктивних елементів та форма ОССП, як правило, визначається ще на етапі ескізування. На цьому ж етапі встановлюються й принципи взаємодії усіх конструктивних елементів (включаючи способи їх сполучення) [3]. СГМ є ефективним інструментом формоутворення, який дозволяє отримувати раціоналізовані дискретні образи, у елементах яких не виникає згинальних та крутних моментів, що робить одержану форму довговічнішою, стійкішою до різних видів навантажень та функціональнішою в експлуатації.

Прообразом роботи утворених дискретних образів є сітчасті структури, елементи яких працюють виключно на тиску або розтяг. Водночас СГМ є доволі простим і наочним засобом моделювання. Математичне вирішення задачі формоутворення за СГМ полягає в складанні системи рівнянь статичної рівноваги для усіх вільних вузлів моделі, з подальшим її розв'язком відносно невідомих координат її вільних вузлів [2]:

$$\sum_{j=1}^n \bar{R}_{i,j} + \bar{P}_i = 0. \quad (1)$$

Тут: n – кількість вузлів суміжних з i -м; P_i – векторна сума сил, що діє на кожен вузол; $R_{i,j}$ – внутрішні зусилля, що виникають у стержнях; індекси i,j відповідають вільним вузлам моделі, сполучених ланкою.

Проекціюючи векторні компоненти рівняння (1) на координатні осі, можемо записати його у розгорнутій формі:

$$\left(\sum_{j=1}^n k_{i,j}\right) \cdot s_i - \sum_{j=1}^n (k_{i,j} \cdot s_j) + P_{i_s} = 0. \quad (2)$$

Тут, s – узагальнене позначення декартових координат (x , y та z); $k_{i,j}$ – коефіцієнт пропорційності внутрішніх сил $R_{i,j}$ до довжин відповідних ланок моделі $\delta_{i,j}$.

Завжди існує такий варіант, розподілу зусиль у елементах конструкції, за якого усі коефіцієнти $k_{i,j}$ рівні між собою: $k_{i,j} = k = const$. В такому випадку рівняння (2) спрощується до наступної форми:

$$n \cdot s_i - \sum_{j=1}^n s_j + P_{i_s}/k = 0. \quad (3)$$

Застосування відповідного підходу до моделювання значно скорочує процес побудови рівнянь рівноваги та формоутворення шуканого дискретного образу, незалежно від його вимірності та кількості вузлів. Даний підхід дозволяє працювати з образами, що містять як регулярні, так і нерегулярні фрагменти сітчастих структур. Векторні компоненти поля зовнішнього впливу P_{i_s} можуть змінювати своє значення у кожній точці простору, а також мати як статичний так і динамічний характер дії. Безмоментність отриманих форм конструкцій призводить до зниження витрат будівельних матеріалів та енергії на їх зведення.

1. Ковальов С.М. Формування дискретних моделей поверхонь просторових архітектурних констукцій. Дис. ... доктора техн. наук. 05.01.01. М. : МАІ, 1986.
2. Счочко В.І. Методи інтерпретаційного геометричного моделювання сітчастих структур та їх застосування. Дис. ... доктора техн. наук : 05.01.01. К. : КНУБА, 2021.
3. Бовда Т., Счочко В. , Дискретне формоутворення поверхонь. Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених «Буд-Майстер-Клас-2018»: тези доп. Київ: КНУБА, 2018. С. 260-261.

Preliminary shaping of discrete shells of special-purpose structures under the influence of external combined effects

Vitalii Ploskyi, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Architectural Constructions, <https://orcid.org/0000-0002-2632-8085>

Roman Pasko, PhD, Doctoral student, Department of Architectural Structures, <https://orcid.org/0000-0002-3313-0368>

Oleksandr Ishchuk, Student, <https://orcid.org/0009-0009-8265-3438>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The aim of the study is to design discrete shells of special-purpose structures (SSPS) under the influence of external combined effects using the static-geometric method (SGM) of applied geometry [1]. The use of the StGM and elements of field theory allows us to describe the equilibrium of discrete models of special-purpose structures under the influence of functionally described external influences, given in the form of vector components applied to the nodes of the corresponding models.

Typically, the principles of operation of OSSP structural elements and forms are determined in the sketch phase. At the same time, the principle of interaction of all structural elements (including the ways of their connections) is determined [3]. SGM is an effective moulding tool that allows for orderly discrete representations that do not generate element bending moments and torque, which is more robust, resistant to various types of stress, and operates and performs. The aim of this study is to develop discrete shells from special poses (SSPs). [1]. Using elements of SGM and field theory, we are able to describe the balance of modest models of special structures under the influence of functionally explained externalities, specified as vector components applied to the nodes of the respective model.

The prototype of the work of the formed discrete images is mesh structures, the elements of which work exclusively in compression or tension. At the same time, the SGM is a fairly simple and visual modelling tool. The mathematical solution to the problem of shaping using the SGM consists in drawing up a system of static equilibrium equations for all free nodes of the model, followed by its solution with respect to the unknown coordinates of its free nodes [2]:

$$\sum_{j=1}^n R_{i,j} + \vec{P}_i = 0.$$

Here: n is the number of nodes adjacent to the i -th; P_i is the vector sum of forces acting on each node; $R_{i,j}$ is the internal forces arising in the rods; indices i, j correspond to the free nodes of the model connected by the link.

By projecting the vector components of equation (1) onto the coordinate axes, we can write it in an expanded form:

$$\left(\sum_{j=1}^n k_{i,j}\right) \cdot s_i - \sum_{j=1}^n (k_{i,j} \cdot s_j) + P_{is} = 0.$$

Here, s is a generalised notation for Cartesian coordinates (x , y and z); $k_{i,j}$ is the coefficient of proportionality of internal forces $R_{i,j}$ to the lengths of the corresponding links of the model $\delta_{i,j}$.

There is always such a variant of force distribution in structural elements in which all the coefficients $k_{i,j}$ are equal to each other: $k_{i,j} = k = \text{const}$. In this case, equation (2) is simplified to the following form:

$$n \cdot s_i - \sum_{j=1}^n s_j + P_{is}/k = 0.$$

Using the appropriate modelling approach will significantly reduce the design of the discrete image of interest, regardless of the process of building the equilibrium equation and its size and number of nodes. This approach allows you to work with images containing both normal and irregular fragments of the network structure. The vector components of the external fields P_{is} can change their values in any space and have both static and dynamic effects. The resulting lack of instantaneous shape leads to a reduction in the consumption of building materials and energy for construction.

1. Kovalev S.M. Formation of discrete models of surfaces of spatial architectural structures. Thesis ... Doctor of Technical Sciences. 05.01.01. M.: MAI, 1986.
2. Skochko V.I. Methods of interpretive geometric modelling of mesh structures and their application. Dissertation ... Doctor of Technical Sciences: 05.01.01. K.: KNUBA, 2021.
3. Bovda T., Skochko V., Discrete shaping of surfaces. International Scientific and Practical Conference of Young Scientists «Build-Master-Class-2018»: abstracts. Kyiv: KNUBA, 2018. C. 260-261.

Прогресуюче руйнування купольних конструкцій

Олена Костіна, канд.техн.наук, доцент кафедри будівельної механіки, <https://orcid.org/0000-0002-6692-6231>

Богдан Самойленко, аспірант кафедри будівельної механіки <https://orcid.org/0009-0003-0342-9654>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Екстремальні або випадкові навантаження можуть спричинити локальні збої всередині конструкції, що зрештою призведе до прогресуючого обвалення. Це руйнування відбувається, коли відмова одного або групи елементів ініціює подальші відмови, що в кінцевому підсумку призводить до часткового або повного руйнування конструкції. Руйнування структури відбувається, коли системі не вдається досягти нового стану рівноваги після локальної відмови. Конструкційний колапс може бути класифікований як прогресуючий, якщо поширення руйнування є результатом локального руйнування, а остаточне обвалення є непропорційним початковому локальному пошкодженню. Причиною прогресуючого обвалення можуть бути не тільки вибух або пожежа, але й вихід елементів конструкції з ладу через неpravильне проектування, недотримання технології виготовлення, або умов експлуатації. Важливість аналізу прогресуючого обвалення конструкцій значно зросла через різноманітні аварії конструкцій у світі і в Україні.

Дослідження прогресуючого обвалення оболонкових купольних конструкцій (рис. 1) розпочалися пізніше, ніж каркасних, насамперед через відносно меншу кількість випадків прогресуючого обвалення конструкцій цього класу порівняно з каркасними. Кількість публікацій по темі прогресуючого обвалення оболонкових конструкцій обмежена. Це підкреслює необхідність подальших досліджень.

Якщо на початку вивчення цієї проблеми дослідників цікавило поширення локальної нестабільності, що призводить до загальної відмови, то пізніші дослідження в основному зосереджені на двох напрямках: аналіз поведінки конструкції, що вивчає реакцію після видалення елемента та виявлення механізмів запобігання руйнуванню.

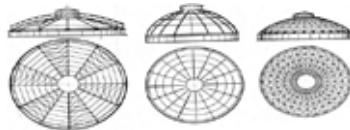


Рис.1. Купольні конструкції

Експериментальні дослідження з визначення опору прогресуючому руйнуванню або критичних елементів, які в основному засновані на методі альтернативного шляху, широко представлені в зарубіжній літературі [1]. Результати експериментів для виявлення механізмів запобігання обваленню просторових ґратчастих конструкцій шляхом дослідження підструктур наведені в [2]. Експериментальні дослідження є складними, затратними і трудомісткими, тому широко застосовуються чисельні методи за рахунок застосування високоефективних програмних комплексів з точним і швидким аналізом даних.

Аналітичні дослідження виступають як додатковий підхід для проведення експериментальних і чисельних досліджень оболонкових конструкцій та може бути потужним інструментом для розуміння їх поведінки при обваленні. При цьому проблема прогресуючого обвалення сітчастих оболонок розглядається шляхом знаходження критичних елементів конструкцій.

1. Y. Xu, Q.-H. Han, G. Parke, Y.-M. Liu, Experimental study and numerical simulation of the progressive collapse resistance of single-layer latticed domes, *Journal of Structural Engineering* 143 (9) (2017) 04017121. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001868](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001868)
2. L. Tian, J. Wei, J. Hao, Anti-progressive collapse mechanism of long-span single-layer spatial grid structures, *Journal of Constructional Steel Research* 144 (2018) 270–282. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2018.02.004>
3. Лізунов, П., Лук'яненко, О., Костіна, О. (2022). Моделювання прогресуючого руйнування каркасних будівель від сейсмічного впливу. *Scientific Collection «InterConf+»*, (24|121), 374–384. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.08.2022.035>

Progressive collapse of dome structures

Olena Kostina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Structural Mechanics <https://orcid.org/0000-0002-6692-6231>

Bogdan Samoilenko, postgraduate of the Department of Structural Mechanics
<https://orcid.org/0009-0003-0342-9654>

Kyiv National University of Construction and Architecture

Extreme or random loads can cause local failures within a structure, eventually leading to progressive collapse. This type of failure occurs when the failure of one or a group of components triggers subsequent failures, ultimately resulting in partial or total structural destruction. Structural collapse happens when the system cannot achieve a new equilibrium state after a local failure. A destruction is considered progressive if the spread of failure is a result of local destruction, and the final collapse is disproportionate to the initial localized damage. Progressive collapse can be caused not only by explosions or fires but also by the failure of structural components due to improper design, non-compliance with manufacturing technology, or operational conditions. The importance of analyzing progressive structural collapse has grown significantly due to various structural failures worldwide and in Ukraine.

The study of progressive collapse in dome shell structures (fig.1) began later than in frame structures, primarily due to the relatively fewer cases of progressive collapse in shell structures compared to frame structures. The number of publications on the topic of progressive collapse of shell structures is limited, emphasizing the necessity for further research.

Initially, research on this problem focused on the propagation of local instability leading to overall failure. Later studies have been primarily concentrated on two directions: analyzing structural behavior to study the response after the removal of an element and identifying mechanisms to prevent collapse.

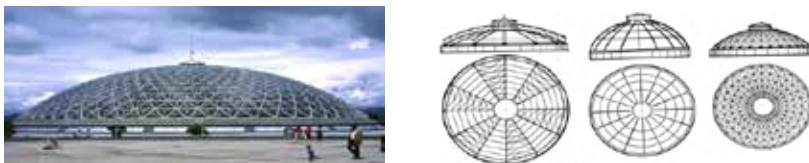


Fig 1. Dome structures

Experimental studies to determine resistance to progressive collapse or critical elements, mostly based on the alternate path method, are widely represented in foreign literature [1]. The results of experiments aimed at identifying mechanisms to prevent the collapse of spatial lattice structures by studying substructures are presented in [2]. Experimental studies are complex, costly, and labor-intensive, which is why numerical methods are widely applied, leveraging high-performance software packages for precise and fast data analysis.

Analytical studies serve as a complementary approach to experimental and numerical studies of shell structures and can be a powerful tool for understanding their behavior during collapse. The problem of progressive collapse in lattice shells is addressed by identifying critical structural elements.

1. Y. Xu, Q.-H. Han, G. Parke, Y.-M. Liu, Experimental study and numerical simulation of the progressive collapse resistance of single-layer latticed domes, *Journal of Structural Engineering* 143 (9) (2017) 04017121. [https://DOI:10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001868](https://DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001868)
2. L. Tian, J. Wei, J. Hao, Anti-progressive collapse mechanism of long-span single-layer spatial grid structures, *Journal of Constructional Steel Research* 144 (2018) 270–282. <https://DOI:10.1016/j.jcsr.2018.02.004>
3. Lizunov, P., Lukianchenko O., Kostina O. (2022). Modeling the progressive destruction of frame buildings from seismic impact. *Scientific Collection «InterConf+»*, (24)(121), 374–384. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.08.2022.035>

Порівняння методик розрахунку параметрів вибухово-ударної хвилі для розрахунку споруд інженерного захисту

Денис Михайловський, докт. техн. наук, професор кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0003-3151-8630>;

Олег Комар, аспірант кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, <http://orcid.org/0009-0004-4507-9178>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Метою даної роботи є огляд існуючих методик інженерно-аналітичних розрахунків визначення основних характеристик вибухово-ударної хвилі (далі – ВУХ) від засобів повітряного нападу противника. Розрахунок параметрів ВУХ залишається актуальним і зараз, хоча йому присвячено досить велика кількість публікацій. В цій роботі спробуємо узагальнити і навести основні існуючі методики визначення параметрів ВУХ.

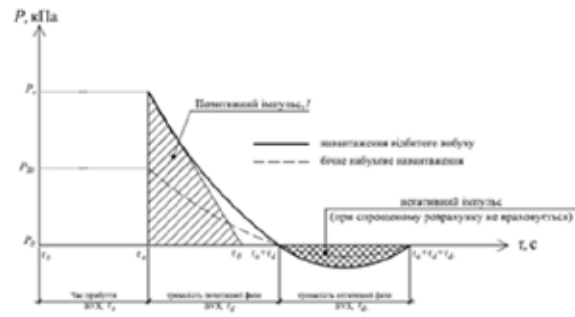


Рис. 1. Параметри детонаційної вибухово-ударної хвилі

В рамках даної роботи було виконано порівняння параметрів ВУХ визначених за наступними методиками:

1. Розрахунок за емпіричними формулами М.О. Садовського;
2. Розрахунок за методикою запропонованою Бірбраером І.А.;
3. Розрахунок за методикою Броне;
4. Розрахунок за методикою Кіннея і Грахама;
5. Розрахунок за методикою Кінгері-Булмаша з використанням графіків UFC 4- 023-02.

Проведено аналіз і порівняння результатів для кожної з методик визначення параметрів ВУХ для наземного та повітряного вибуху при двох розрахункових ситуаціях:

- при непряму ураженні ракети Х-22 на відстані 15 м від споруди, що розраховується;
- при непряму ураженні БПЛА типу “Shahed -136” з детонацією на відстані 5 м від споруди, що розраховується.

Проведений аналіз дає можливість зрозуміти різницю в визначенні параметрів ВУХ за різними методиками, а отже і рекомендувати конкретні методики для проведення подальших розрахунків споруд відомими методами будівельної механіки.

1. Denys Mykhailovskiy, Ihor Skliarov Methods of calculation and engineering protection of critical infrastructure objects and other strategic facilities against long-range projectiles / Strength of Materials and Theory of Structures: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2023. – Вип. 111. – С. 155-171. DOI: [10.32347/2410-2547.2023.111.155-1712](https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.111.155-1712).
2. Михайловський Д. В., Білик А. С., Склярів І. О. Розрахунок конструкцій будівель і споруд на дії основних факторів ураження засобів повітряного нападу: Монографія / Михайловський Д. В., Білик А. С., Склярів І. О. Київ: Каравела, 2024. – 92 с. ISBN 978-960-801-874-7

Analysis of calculation methods for explosion shock wave parameters in the design of protective structures

Denys Mykhailovskyi, doctor of technical sciences, professor of the Department of Metal and Wooden Structures, <https://orcid.org/0000-0003-3151-8630>

Oleg Komar, postgraduate student of the Department of Metal and Wooden Structures, <http://orcid.org/0009-0004-4507-9178>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The purpose of this work is to review the existing methods of engineering and analytical calculations for determining the main characteristics of the explosive shock wave (hereinafter - ESW) from enemy air attack means. The calculation of ESW parameters remains relevant even now, although a fairly large number of publications. In this work we will try to summarize and present the main existing methods for determining ESW parameters.

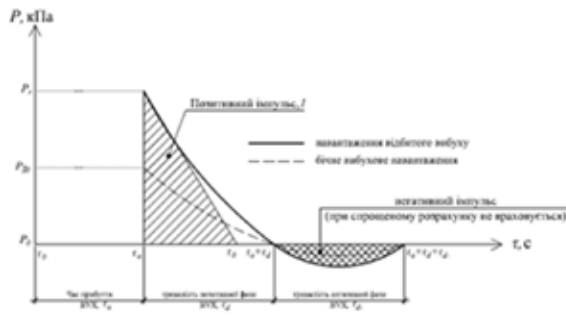


Fig. 1. Parameters of the detonation explosion shock wave

In the framework of this work, we compared the calculation of the parameters of the ESW by the following methods:

1. Calculation by the empirical formulas of M.O. Sadovsky;
2. Calculation by the method proposed by Birbraer I.A.;
3. Calculation by the method of Brodeur;
4. Calculation by the method of Kinney and Graham;
5. Calculation by the Kingery-Bulmash method using UFC 4-023-02 charts.

After the analysis, the results for each method of determining the parameters of the ESW for a ground and air explosion were calculated and compared in two design situations:

- indirect hit by an X-22 missile at a distance of 15 m from the structure under consideration;
- indirect hit by a Shahed-136 UAV with detonation at a distance of 5 m from the structure under consideration.

The analysis makes it possible to understand the difference in determining the parameters of the ESW by different methods, and therefore to recommend specific methods for further calculations of structures by known methods of structural mechanics.

1. Denys Mykhailovskyi, Ihor Skliarov Methods of calculation and engineering protection of critical infrastructure objects and other strategic facilities against long-range projectiles / Strength of Materials and Theory of Structures: наук.-тех. збірн. – К.: KNUCA, 2023. –rel. 111. – p. 155-171. DOI: [10.32347/2410-2547.2023.111.155-1712](https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.111.155-1712).
2. Mykhailovskyi D.V., Bilyk A.S., Skliarov I.O. Rozrakhunok konstruksii budivel i sporud na dii osnovnykh faktoriv urazhennia zasobiv povitrianoho napadu (Calculation of building and structure structures based on the main factors of impact of adverse air attacks): Monohrafiia / Mykhailovskyi D. V., Bilyk A. S., Skliarov I. O. Kyiv: Karavela, 2024. – 92 s. ISBN 978-960-801-874-7.

Сталеві балки із змінним перерізом, вибір оптимальної топології

Любомир Джанов, асистент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій,
<https://orcid.org/0000-0001-5144-3424>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – виконати числові дослідження з вибору раціональної конструкції консольної балки покриття навісу над трибунами, яка виготовлена із двотавра із зміною шириною полиці і змінною висотою стінки.

Особливістю роботи балок змінного із змінною висотою стінки і висотою полиці є виникнення максимальних напружень в переріз, який не співпадає із перерізом, де діє максимальний згинальний момент [1,3]. Пошук раціональної топології конструкції балки при лінійній зміні градієнта тільки ширини полиці і постійною висотою стінки приведений в роботах [2,3]. В роботі [4] виконано дослідження із пошуку раціональних конструкцій рам із змінною висотою стінки і постійною висотою стінки.

Задача вибору найкращого рішення топології конструкції при лінійній зміні ширини полиці і стінки вирішена методом множників Лагранжа [1]. В основу конструктивного рішення доказана умова оптимальності всієї конструкції через виконання умови оптимальності кожного перерізу: площа стінки дорівнює площі двох полиць. Але при лінійному зменшенні висоти стінки і ширини полиць у напрямку зменшення згинальних моментів збільшення ширини полиці в перерізі де діє максимальний згинальний момент, але не виникають максимальні напруження приводить до додатковим витратам сталі, а сама топологія конструкції не може бути оптимальною.

Запропоновано підхід використання у фізико-математичні моделі використовувати полиці зі змінним напрямком градієнта зміни полиці. Такий новий підхід раціонального конструктивного рішення приводить до наближення до оптимальної конструкції двотаврового перерізу при лінійній зміні висоти стінки і полиці більшість перерізів конструкції по довжині.

Проведені числові дослідження визначення раціональної топології конструкції за зведеними витратами сталі. На прикладі відношенні поточних напружень по довжині в перерізах різних конструкцій показано, що чим більше є ділянок зміни градієнта зміни перерізу стінок і полиць тим більше конструкція наближається до оптимальної. Так як кількість зміни перерізу ділянок є не технологічним конструктивним рішенням, показано, що в межах достатніх витрат сталі є допустима множина конструктивних рішень за витратами сталі. Таким чином, задача пошуку раціонального перерізу сталевих двотаврових балок із лінійною змінною шириною полиці і стінки є задачею із адекватними умовами оптимізації.

1. Dzhanov L.V., Bilyk S.I., Bilyk A.C. Rational topology of steel I-beams with different rates of web height and flange width variation at specified sections along the beam length. – K.: KNUBA, 2025. – Issue 114. – P. 329–338. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2025.114.329-338>.
2. Білик, А. ., Білик, С. ., Глітін, О., Джанов, Л. (2022). Оптимальна висота сталевих двотаврових балок зі змінною шириною полиць. Будівельні конструкції. Теорія і практика, (12), 42–52. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.42-52>
3. Білик А, Нужний В, Джанов Л, Перестюк В. (2020). Особливості аналітичного розв'язку задачі про переміщення консольних сталевих балок зі змінною шириною полиць. Будівельні конструкції. Теорія і практика, (7), 85–92. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.7.2020.85-92>
4. Bilyk S.I., Bilyk A.S., Nilova T.O., Shpynda V.Z., Tsyupyn E.I. Buckling of the steel frames with the I-shaped cross-section columns of variable web height // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2018. – Issue 100. – P. 140-154. http://nbuv.gov.ua/UJRN/omts_2018_100_13

Topology optimization of steel beams with variable geometry

Liubomyr Dzhanov, assistant lecturer, Department of Metal and Wooden Structures;
<https://orcid.org/0000-0001-5144-3424>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The aim of this study is to conduct a numerical investigation to identify a rational structural solution for a cantilever roof beam above stadium stands, fabricated from an I-section with variable flange width and web height.

A key feature of the behavior of I-beams with variable geometry is the emergence of maximum stresses in cross-sections that do not coincide with those subjected to the maximum bending moment [1,3]. Previous studies [2,3] explored rational topology in beams with linearly varying flange width and constant web height, while [4] examined the inverse—variable web height and constant flange width in steel frames.

The current work extends these results by addressing the topology optimization problem under simultaneous linear variation of both flange width and web height, using the Lagrange multipliers method [1]. The proposed structural principle is based on the proven optimality condition, stating that in a rational cross-section, the area of the web equals the total area of the flanges.

However, in cases of monotonic reduction of web height and flange width along the span, increased flange area at the point of maximum bending moment—but not maximum stress—leads to additional steel consumption, making the design suboptimal.

A new approach is proposed by introducing reverse-gradient flange variation into the physical–mathematical model. This leads to topological configurations that more closely approximate the optimal shape for beams with linear geometric variation in most of their span.

The numerical results evaluate the rationality of a beam's topology based on normalized steel consumption. It is shown that the more segments with variable gradient in web and flange geometry, the closer the design approaches optimality. Since an excessive number of variation segments may be impractical for fabrication, the study also demonstrates that there exists an admissible set of rational structural solutions within acceptable steel usage limits.

Thus, the problem of determining the rational cross-section for a steel I-beam with linearly variable flange width and web height is formulated as an optimization task with well-defined and adequate constraints.

1. Dzhanov L.V., Bilyk S.I., Bilyk A.C. Rational topology of steel I-beams with different rates of web height and flange width variation at specified sections along the beam length. – K.: KNUBA, 2025. – Issue 114. – P. 329–338.
<https://doi.org/10.32347/2410-2547.2025.114.329-338>.
2. Bilyk, A., Bilyk, S. ., Glitsn, O., & Dzhanov, L., (2022). Optimal height of steel I-beams with changing the width of the flanges. *Building constructions Theory and Practice*, (12), 42–52. – Ukr
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.42-52>
3. Bilyk, A., Nuzhniy, V., Dzhanov, L., & Perestiuk, V. (2020). Features of the analytical solution of the problem of displacement cantilever steel beams with variable flange depth. *Building Constructions. Theory and Practice*, (7), 85–92. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.7.2020.85-92> – Ukr
4. Bilyk S.I., Bilyk A.S., Nilova T.O., Shpynda V.Z., Tsyupyn E.I. Buckling of the steel frames with the I-shaped cross-section columns of variable web height // *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles* – Kyiv: KNUBA, 2018. – Issue 100. – P. 140-154.
http://nbuv.gov.ua/UJRN/oms_2018_100_13

Вогнестійкість стінових конструкцій із керамзитобетонних блоків

Олег Фесенко¹, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-8154-2239>;

Віра Колякова¹, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <http://orcid.org/0000-0001-6879-8520>

Петро Попруза², канд. техн. наук, начальник лабораторії з контролю виробництва, <https://orcid.org/0000-0001-8319-8099>

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

²ПП «Київ-Ресурс»

Розрахунок на вогнестійкість стінових конструкцій із блоків керамзитобетонних потребує наявності даних щодо зміни теплофізичних характеристик керамзитобетону за підвищених температур в умовах вогневого впливу пожежі. Національні стандарти з розрахунку на вогнестійкість ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2 і ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2 містять обмежені дані щодо теплофізичних характеристик легких бетонів, зокрема керамзитобетону. Порівняльний аналіз цих характеристик наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Нормативні теплофізичні характеристики легких бетонів

Нормативний документ	Густина, ρ_0 , кг/м ³	Температура, θ_c , °C	Теплопровідність, λ_0 , Вт/(м·К)	Питома теплоємність, c_0 , Дж/(кг·К)
1	2	3	4	5
ДСТУ-Н Б EN 1996-1-2	400-600	20	0,10-0,15	1170
	600-1000	20	0,21	1170
	1000-1600	–	–	–
ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2	1600-2000	$20 \leq \theta_c \leq 800$	1,0 – ($\theta_c / 1600$)	840
		$\theta_c > 800$	0,5	

Розрахункові теплофізичні характеристики керамзитобетону за підвищених температур в умовах пожежі були прийняті з урахуванням експериментальних даних, що наведені у публікаціях [1, 2]. Розподіл температур у перерізі стіни завтовшки 250 мм з повітряним прошарком зі спарених блоків керамзитобетонних, після 180 хв вогневого впливу пожежі, було отримано за результатами розрахунку методом скінченних елементів у програмному комплексі LIRA-FEM 2024.

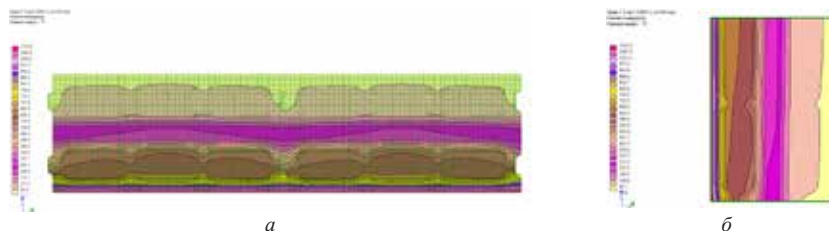


Рис.1 – Розподіл температур у перерізі стіни після 180 хв вогневого впливу пожежі:

а- горизонтальному; б- вертикальному

1. Mehran Shahpari, Patrick Bamonte, Shahram Jalali Mosallam, An experimental study on mechanical and thermal properties of structural lightweight concrete using carbon nanotubes (CNTs) and LECA aggregates after exposure to elevated temperature, Construction and Building Materials, Volume 346, 2022, 128376, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128376>
2. Martínez-Martínez, J.E.; Álvarez Rabanal, F.P.; Lázaro, M.; Alonso-Martínez, M.; Alvear, D.; del Coz-Díaz, J.J. Assessment of Lightweight Concrete Thermal Properties at Elevated Temperatures. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 10023. <https://doi.org/10.3390/app112110023>

Fire resistance of the expanded clay aggregate masonry wall structures

Oleg. Fesenko¹, PhD, Associate professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, <https://orcid.org/0000-0001-8154-2239>

Vira. Koliakova¹, PhD, Associate professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, <https://orcid.org/0000-0001-6855-0031>

Petro. Popruha², PhD, head of the production control laboratory, <https://orcid.org/0000-0001-8319-8099>

¹Kyiv National University of Construction and Architecture

²PE 'Kyiv-Resource

Structural fire design of the expanded clay aggregate masonry wall structures needs the availability of the thermal properties of expanded clay aggregate at elevated temperatures in case of fire exposure. National standards for structural fire design, such as DSTU-N B EN 1994-1-2 and DSTU-N B EN 1996-1-2, contain limited data on the thermal properties of lightweight aggregate concrete, particularly of the expanded clay aggregate. A comparative analysis of this data on the thermal properties is given in Table 1.

Table 1. Characteristic values of thermal properties of lightweight aggregate concrete

National Standard	Density, ρ_0 , kg/m ³	Temperature, θ_c , °C	Thermal conductivity, λ_0 , W/(m·K)	Specific heat capacity, c_0 , J/(kg·K)
1	2	3	4	5
DSTU-N B EN 1996-1-2	400-600	20	0,10-0,15	1170
	600-1000	20	0,21	1170
	1000-1600	–	–	–
DSTU-N B EN 1994-1-2	1600-2000	$20 \leq \theta_c \leq 800$	1,0 – ($\theta_c/1600$)	840
		$\theta_c > 800$	0,5	

Design values of the thermal properties of expanded clay aggregate at elevated temperatures in case of fire exposure were taken with account of experimental data given in [1, 2]. Thermal distribution in the wall cross-section with a 250 mm thickness with an air cavity between leaves of double leaf wall under 180 minutes duration of standard fire exposure was taken as a result of finite element method (FEM) analysis with LIRA-FEM 2024 software.

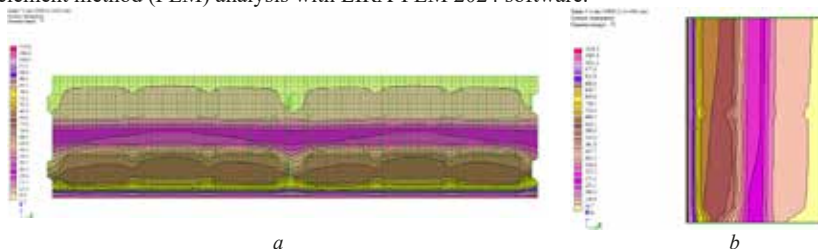


Fig.1. Thermal distribution in the wall cross-section under 180 minutes duration of standard fire exposure:
a- horizontal; b- vertical

- Mehran Shahpari, Patrick Bamonte, Shahram Jalali Mosallam, An experimental study on mechanical and thermal properties of structural lightweight concrete using carbon nanotubes (CNTs) and LECA aggregates after exposure to elevated temperature, *Construction and Building Materials*, Volume 346, 2022, 128376, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128376>
- Martínez-Martínez, J.E.; Álvarez Rabanal, F.P.; Lázaro, M.; Alonso-Martínez, M.; Alvear, D.; del Coz-Díaz, J.J. Assessment of Lightweight Concrete Thermal Properties at Elevated Temperatures. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 10023. <https://doi.org/10.3390/app112110023>

Енергоефективні матеріали та конструкції в автоматизованих системах теплопостачання

Олексій Нікітенко, аспірант кафедри міського будівництва і архітектури, <https://orcid.org/0000-0002-0052-5427>

Запорізький національний університет (м. Запоріжжя)

Дослідження спрямоване на вивчення сучасних енергоефективних матеріалів і конструкцій, з особливою увагою до матеріалів із фазовим переходом (PCM), з метою підвищення ефективності автоматизованих систем теплопостачання житлових будинків.

У дослідженні особлива увага приділена інноваційним матеріалам з фазовим переходом (PCM), які здатні акумулювати та віддавати значні обсяги теплової енергії при зміні агрегатного стану. В таблиці 1 представлено порівняльний аналіз основних характеристик різних типів PCM.

Табл. 1. Властивості матеріалів з фазовим переходом

Тип PCM	Температура плавлення, °C	Теплота фазового переходу, кДж/кг	Переваги	Недоліки
Парафіни	20-70	120-210	Стабільність, нетоксичність	Низька теплопровідність
Жирні кислоти	16-65	155-180	Висока теплоємність	Корозійна активність
Гідрати солей	15-117	150-240	Висока теплота плавлення	Розшарування
Евтектичні суміші	-5-140	100-230	Точна температура плавлення	Висока вартість

Експериментальна модель системи теплопостачання з інтегрованими PCM була розроблена на базі лабораторії Humber Polytechnic North Campus м. Торонто.

Основні параметри експериментальної моделі:

- теплоносієй – вода, температурний графік 65°C подачі та 45°C зворотної води;
- теплова потужність електричного котельного агрегату – 5 кВт;
- об'єм тепло-акумулятора з PCM – 50 л;
- тип PCM – парафін з температурою плавлення 45°C;
- система управління – на базі програмованого логічного контролера *PLC серії Siemens S7-1200*;

В ході експерименту досліджувались:

- матеріали і конструкції з фазовим переходом (PCM);
- здатність PCM згладжувати пікові теплові навантаження;
- ефективність роботи системи за різних режимів споживання;
- взаємодія PCM з автоматизованою системою управління.

Навантаження змінювалося відповідно до чотирьох режимів:

- Режим 1 – стандартне навантаження (50% від розрахункової потужності);
- Режим 2 – підвищене навантаження (80% від розрахункової потужності);
- Режим 3 – максимальне навантаження (100% від розрахункової потужності);
- Режим 4 – змінний режим, що відтворює добову динаміку споживання.

Результати експериментальних досліджень показали, що впровадження PCM дозволяє знизити пікове споживання енергії на 25-30%, зменшити коливання температури теплоносія до $\pm 1,5^\circ\text{C}$ та підвищити загальну енергоефективність системи теплопостачання на 15-20%.

1. Сміт, Дж., & Браун, Р. (2023). Сучасні матеріали для енергоефективних будівельних систем. *Енергія та будівлі*, 135, 167–185. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113215>
2. Джонсон, П. (2022). Матеріали з фазовим переходом у системах ОВКП: огляд. *Міжнародний журнал теплових наук*, 80, 238–254. <https://doi.org/10.1016/j.jthermalsci.2022.107777>

Energy-efficient materials and structures in automated heating systems

Oleksii Nikitenko, PhD student at the department of urban construction and architecture, <https://orcid.org/0000-0002-0052-5427>

Zaporizhzhia National University (Zaporizhzhia)

The study focuses on examining modern energy-efficient materials and structures, with special attention given to phase change materials (PCM) to enhance the efficiency of automated heating systems in residential buildings.

Particular emphasis in the research is placed on innovative phase change materials (PCM), which can store and release significant amounts of thermal energy during phase transitions. Table 1 presents a comparative analysis of the key characteristics of different types of PCM.

Table 1. Properties of Phase Change Materials

PCM Type	Melting Temperature, °C	Heat of Phase Transition, kJ/kg	Advantages	Disadvantages
Paraffins	20-70	120-210	Stability, non-toxicity	Low thermal conductivity
Fatty Acids	16-65	155-180	High heat capacity	Corrosive activity
Salt Hydrates	15-117	150-240	High heat of fusion	Delamination
Eutectic Mixtures	-5-140	100-230	Precise melting temperature	High cost

An experimental model of a heating system with integrated PCMs was developed at the Humber Polytechnic North Campus laboratory in Toronto.

Main parameters of the experimental model:

- heat carrier - water, temperature schedule 65°C supply and 45°C return water;
- thermal power of the electric boiler unit - 5 kW;
- volume of the heat accumulator with PCM - 50 L;
- PCM type - paraffin with a melting point of 45°C;
- control system - based on a Siemens S7-1200 series programmable logic controller PLC;

The experiment investigated:

- materials and structures with phase change (PCM);
- the ability of PCM to smooth peak thermal loads;
- system performance under different consumption modes;
- interaction of PCM with the automated control system.

The load varied according to four modes:

- Mode 1 - standard load (50% of the design capacity);
- Mode 2 - increased load (80% of the design capacity);
- Mode 3 - maximum load (100% of the design capacity);
- Mode 4 - variable mode, which reproduces the daily consumption dynamics.

The experimental results showed that the implementation of PCM allows to reduce peak energy consumption by 25-30%, reduce heat carrier temperature fluctuations to $\pm 1.5^\circ\text{C}$, and increase the overall energy efficiency of the heating system by 15-20%.

1. Smith, J., & Brown, R. (2023). Advanced Materials for Energy Efficient Building Systems. *Energy and Buildings*, 135, 167-185. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113215>
2. Johnson, P. (2022). Phase Change Materials in HVAC Systems: A Review. *International Journal of Thermal Sciences*, 80, 238-254. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107777>

Визначення граничної сейсмостійкості сталевих каркасних будівель критичної інфраструктури лінійно спектральним методом

Іван Трусов, аспірант кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, начальник відділу оцінки сейсмостійкості філії "Відокремлений підрозділ", <https://orcid.org/0000-0002-9351-6633>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)
Науково-технічний центр "АТ "НАЕК "ЕНЕРГОАТОМ"

Мета дослідження – визначення граничної сейсмостійкості сталевих каркасних будівель критичної інфраструктури лінійно спектральним методом.



Рис.1 - Розрахункова схема турбінного відділення АЕС

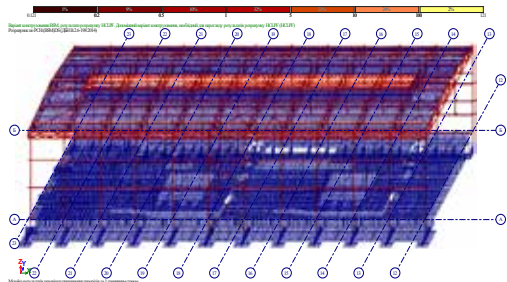


Рис.2 – Візуалізація отриманих значень параметра HCLPF

Розглянуто особливості визначення значення граничної сейсмостійкості HCLPF (Висока забезпеченість низької ймовірності відмови) сталевих каркасних будівель критичної інфраструктури лінійно спектральним методом. Розрахунковий аналіз сейсмостійкості елементів діючих АЕС в рамках методу граничної сейсмостійкості проводиться з метою визначення інтегрального параметра HCLPF, що характеризує рівень сейсмічної стійкості цього елемента.

Описані методи отримання коефіцієнту сейсмічного запасу (FS) для критеріїв граничних станів з подальшим визначенням значень інтегрального параметра HCLPF.

Описані підходи до використання лінійно спектрального методу при розрахунку на сейсмічний вплив, з урахуванням демпфування будівельних конструкцій та визначенням динамічних характеристик ґрунту згідно зі СНиП 2.02.05-87 «Фундаменти машин із динамічними навантаженнями».

В результаті визначений безрозмірний коефіцієнту непружного поглинання енергії F_d для оцінки сейсмостійкості металевих конструкцій з урахуванням переважаючих деформацій тиску, вигину, зсуву.

1. Гензерський Ю.В., Барабаш М.С., Трусов І.О., Первушова Л.Ф. Методика оцінки сейсмостійкості будівельних конструкцій та споруд атомних електростанцій в ПК ЛІРА САПР. Опір матеріалів і теорія споруд №11, 2023.-С.125-139 <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.111.125-139>

Methods of calculation of the in-structure response spectra of critical infrastructure buildings and structures

Ivan Trusov, PhD student of the Department of Metal and Wooden Constructions; Head of Seismic Resistance Assessment Department Affiliate «SS <https://orcid.org/0000-0002-9351-6633>;

Kyiv National University of Construction and Architecture
«Scientific and Technical Centre» JSC «NNEGC «Energatom»

The purpose of the study is to determine the maximum seismic resistance of steel frame buildings of critical infrastructure by the linearly spectral method.

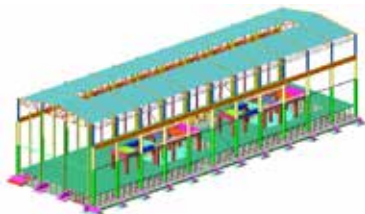


Fig.1 - Design diagram of the turbine compartment of a nuclear power plant

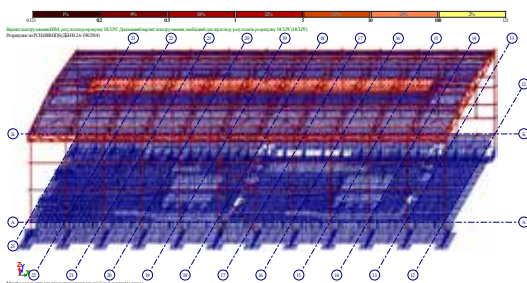


Fig.2 – Visualization of the obtained values of the HCLPF parameter

The peculiarities of determining the value of the maximum seismic resistance HCLPF (High Confidence Low Probability of Failure) of steel frame buildings of critical infrastructure by the linearly spectral method are considered. Calculation analysis of seismic resistance of elements of operating nuclear power plants within the framework of the method of extreme seismic resistance is carried out in order to determine the integral parameter HCLPF, which characterizes the level of seismic resistance of this element.

The results of obtaining the seismic reserve coefficient (FS) for the criteria of boundary states are described, followed by the determination of the values of the integral parameter HCLPF.

Approaches to the application of the linear spectral method in the calculations of seismic impact, taking into account the damping of building structures and determination of the dynamic characteristics of the soil according to SNiP 2.02.05-87 "Foundations of machines with dynamic loads" are described.

As a result, a dimensionless coefficient of inelastic energy absorption F_{μ} was determined to assess the seismic resistance of metal structures, taking into account the prevailing deformations of compression, bending, and shear.

1. Henzerkyi Y.V., Barabash M.S., Trusov I.O., Pervushova L.F. Methods of assessing the seismic resistance of building structures and nuclear power plant structures in Lira-SAPR program // Strength of Materials and Theory of Structures. - K.: KNUBA, 2023. - Issue 111. - P. 125-139. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.111.125-139>

Дослідження впливу циклічного навантаження на залізобетонні конструкції з використанням методу монте-карло

Тетяна Чирва¹, канд. техн. наук, доцент кафедри архітектурних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-6657-5443>;

Віра Колякова¹, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-6879-8520>

Володимир Чирва², канд. техн. наук, заст. директора, <https://orcid.org/0000-0001-9163-0144>

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

²ТОВ «Придніпров'є», (м. Кривий Ріг)

Сучасні будівельні конструкції в процесі експлуатації зазнають впливів динамічного характеру [1-3], що мають тенденцію до повторення та можуть суттєво перевищувати проєктні значення. До таких впливів належать коливання вітрового навантаження, сейсмічні поштовхи, аварійні ситуації, технологічні перевантаження та зміни температурно-вологісних умов. Існуючі нормативні методики не враховують у повній мірі особливості поведінки залізобетону при дії випадкових навантажень, що спричиняє кумулятивне накопичення деформацій, інтенсифікацію тріщиноутворення, зниження адгезії між бетоном і арматурою, а в подальшому – до втрати несучої здатності. Серед усіх конструктивних елементів найбільш критичними до дії циклічних навантажень виявляються стиснуті елементи, зокрема колони. Це обумовило необхідність проведення спеціального дослідження, спрямованого на вивчення їх напружено-деформованого стану в умовах багаторазового навантаження.

В роботі [1] наведені методи активного експерименту. За варіюючі фактори були обрані: кількість циклів навантаження (n), відносний рівень навантаження (η) та відносний ексцентриситет (e_0/h). Отримані результати свідчать про істотне підвищення несучої здатності досліджуваних зразків при циклічному навантаженні – на 18-30% порівняно з одноразовим навантаженням, причому цей ефект значно залежить від величини ексцентриситету та інтенсивності навантаження.

Для математичного моделювання випадкового характеру навантажень був застосований апарат теорії ймовірностей та випадкових процесів, реалізований через метод статистичних випробувань Монте-Карло. Суть методики полягає у комп'ютерній генерації псевдовипадкових чисел, що імітують реалізації процесу навантаження з заданими статистичними характеристиками. Експериментальні дослідження бетонних призм дозволили отримати емпіричні дані про їх напружено-деформований стан.

Проведена статистична обробка експериментальних результатів дала змогу визначити основні ймовірнісні характеристики досліджуваних параметрів та побудувати регресійні залежності між напруженнями (σ_s) і деформаціями (ϵ_s) для різних циклів навантаження. Для перевірки адекватності запропонованого підходу було проведено порівняння розрахункових значень несучої здатності з експериментальними даними, отриманими на основі регресійних моделей повного факторного експерименту. Результати порівняння демонструють добру збіжність, що підтверджує ефективність запропонованої методики. Розроблений підхід може знайти застосування при оцінці міцнісних характеристик та надійності будівельних конструкцій, що працюють в умовах дії різноманітних динамічних навантажень.

1. Чирва Т.Л., Колякова В.М., Мартинов В.Л., Чирва В.М. Вплив випадкових навантажень на міцність бетонних і залізобетонних конструкцій// Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА. 2024. – Вип. 113. – С. 139-148. – Укр. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.113.139-148>
2. Чирва Т.Л., Чирва В.Н., Черкаська Н.А. Уточнення характеру та особливостей впливу випадкових навантажень на залізобетонні конструкції. «Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості – 2007-Кривий Ріг, 2007.- с.59-63.
3. Барашков А.Я., Колякова В.М. Вплив історії навантаження на тривалу міцність бетону при двовісному стиску / А.Я., Барашков, В.М. Колякова. // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник "Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону. НДІБК – 2003. – Вип. 59. – С. 103-108

Research on the Impact of Cyclic Loading on Reinforced Concrete Structures Using the Monte Carlo Method

Tetiana Chyrva¹, *Cand. Tech. Sci., Associate Professor of the Department of Architectural Constructions, <https://orcid.org/0000-0002-6657-5443>*

Vira Koliakova¹, *Cand. Tech. Sci., Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, <https://orcid.org/0000-0001-6879-8520>*

Volodymyr Chyrva², *Cand. Tech. Sci., Deputy Director, <https://orcid.org/0000-0001-9163-0144>*

¹*Kyiv National University of Construction and Architecture*

²*Prydniprovia LLC, Kryvyi Rih, Ukraine*

Modern building structures during operation are subjected to dynamic impacts that tend to repeat and may significantly exceed design values [1-3]. Such impacts include wind load fluctuations, seismic shocks, emergencies, technological overloads, and changes in temperature and humidity conditions. Existing regulatory methodologies do not fully account for the behavior of reinforced concrete under random loading, leading to cumulative deformation accumulation, intensified crack formation, reduced adhesion between concrete and reinforcement, and ultimately, a loss of load-bearing capacity.

Among all structural elements, compressed members, particularly columns, are most critical under cyclic loading. This necessitated a specialized study aimed at investigating their stress-strain state under repeated loading conditions.

In the study [1], methods of active experimentation are presented. The varying factors selected were: the number of loading cycles (n), the relative load level (η), and the relative eccentricity (e_0/h). The obtained results indicate a significant increase in the load-bearing capacity of the tested specimens under cyclic loading—by 18–30% compared to single loading. Moreover, this effect is highly dependent on the magnitude of eccentricity and loading intensity. For mathematical modeling of the random nature of loads, the apparatus of probability theory and random processes was applied, implemented through the Monte Carlo statistical testing method. The essence of the technique lies in computer-generated pseudorandom numbers that simulate load process realizations with specified statistical characteristics. Experimental studies of concrete prisms provided empirical data on their stress-strain state.

Statistical processing of the experimental results enabled the determination of key probabilistic characteristics of the studied parameters and the construction of regression relationships between stresses (σ_s) and strains (ϵ_s) for various loading cycles. To verify the adequacy of the proposed approach, a comparison was made between calculated load-bearing capacity values and experimental data obtained from regression models of a full factorial experiment. The comparison results demonstrate good agreement, confirming the effectiveness of the proposed methodology.

The developed approach can be applied in assessing the strength characteristics and reliability of building structures operating under various dynamic loads. The use of probability theory tools allows for the refinement of computational models and improves the accuracy of predicting the durability of reinforced concrete structures.

1. Chyrva, T.L., Koliakova, V.M., Martynov, V.L., & Chyrva, V.M. (2024). Influence of random loads on the strength of concrete and reinforced concrete structures. *Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-Technical Collection*, 113, 139-148. Kyiv: KNUBA. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2024.113.139-148>
2. Chyrva, T.L., Chyrva, V.N., & Cherkaska, N.A. (2007). Refinement of the nature and features of random loads impact on reinforced concrete structures. *Sustainable Development of Mining and Metallurgical Industry - 2007* (pp. 59-63). Kryvyi Rih. (in Ukrainian)
3. Barashikov, A.Ya., & Koliakova, V.M. (2003). Influence of loading history on long-term strength of concrete under biaxial compression. *Building Structures. Interdepartmental Scientific-Technical Collection "Scientific-Technical Problems of Modern Reinforced Concrete"*, 59, 103-108. Research Institute of Building Constructions (NDIBK). (in Ukrainian).

Оптимізація конструктивно-технологічних рішень відновлення залізобетонного шляхопроводу

Ігор Шумаков, доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри технології та організації в будівництві <https://orcid.org/0000-0002-1502-051X>

Володимир Бугаєвський, аспірант кафедри технології та організації в будівництві, <https://orcid.org/0000-0003-2861-0268>

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

Метою статті є раціоналізація параметру тривалості ремонтних робіт при виконанні капітального ремонту залізобетонного шляхопроводу. Для досягнення поставленої мети визначено завдання: визначити основні дефекти та пошкодження конструкцій шляхопроводу, що впливають на несучу здатність споруди; розробити ефективні конструктивні та технологічні рішення з відновлення та посилення конструкцій стійок з використанням незнімної опалубки, що скорочують тривалість відновлювальних робіт та підвищують несучу здатність і термін служби. Після виявлення корозії до 30 % перерізу стержня робочої арматури опор, було запропоновано видалення пошкодженого бетону, збереження центральної частини тіла робочого бетону стійок, посилення стійки додатковою конструктивною арматурою та її обетонування в незнімній металевій опалубці (рис. 1, 2) з початковим варіантом використання важкого бетону.



Рис. 1 – Конструкція відновлення і посилення стійки проміжної опори за допомогою незнімної сталеві опалубки

Рис. 2 – Монтаж додаткового армування і встановлення оболонки незнімної опалубки

Необхідність використання вібраторів для ущільнення бетонної суміші сорочки підсилення виявило технологічну проблемну ситуацію: стислий простір між арматурою, опалубкою і тілом стійки та складність кріплення і контролю ущільнення вібраторами, що не гарантує отримання проєктної щільності матеріалу обетонування. Запропоновано скоригувати проєктне рішення з використанням для цього високоміцного тиксотропного безусадкового текучого цементного розчину (для прикладу Maregrout Colabile).

Використання такого розчину замість звичайного важкого бетону дозволив якісно подати і укласти суміш в обмежений простір із належним самоущільненням без використання вібраторів, що гарантує високу якість ремонтних робіт, збільшену адгезію (більше 2 МПа) до існуючого бетону, додаткову міцність стійки на вигин (12 МПа) та стиснення (75 МПа).

Наведена технологія відновлення і підсилення стійки дозволила: зберегти існуюче армування стійки і його анкерування в тілі палі; запобігти утворенню усадочних тріщин у тілі сорочки підсилення; значно скоротити тривалість відновлювальних робіт (17%), що є вирішальним в умовах будівництва у містах-мільйонниках; довести параметри несучої здатності і проєктний термін служби відновленої стійки до параметрів нової конструкції.1.

1. Shumakov, I., & Buhaiievskiy, V. (2024). Оптимізація параметрів ремонтно-будівельних робіт при відновленні залізобетонного шляхопроводу. Будівельне виробництво, 77, 3–10. <https://doi.org/10.36750/2524-2555.77>

Optimization of constructive and technological solutions for renovation of reinforced concrete lines

Igor Shumakov, doctor of technical sciences, Head of the Department of Technology and Organization in Construction <https://orcid.org/0000-0002-1502-051X>

Volodymyr. Buhaievskiy, postgraduate of the Department of Technology and Organization in Construction <https://orcid.org/0000-0003-2861-0268>

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

The purpose of the article is to rationalize the parameter of the duration of repair work during the overhaul of a reinforced concrete overpass. To achieve this goal, the following tasks were defined: to identify the main defects and damage to the overpass structures that affect the bearing capacity of the structure; to develop effective structural and technological solutions for the restoration and strengthening of pillar structures using fixed formwork, which reduce the duration of restoration work and increase the bearing capacity and service life. After detecting corrosion of up to 30% of the cross-section of the rod of the working reinforcement of the supports, it was proposed to remove the damaged concrete, preserve the central part of the body of the working concrete of the pillars, strengthen the pillar with additional structural reinforcement and concreting it in a fixed metal formwork (Fig. 1, 2) with the initial option of using heavy concrete.



Fig. 1 – Design of restoration and reinforcement of the intermediate support column using fixed steel formwork



Fig. 2 – Installation of additional reinforcement and installation of fixed formwork shell

The need to use vibrators to compact the concrete mixture of the reinforcement jacket revealed a technological problem situation: a narrow space between the reinforcement, formwork and the column body and the complexity of fastening and controlling the compaction with vibrators, which does not guarantee obtaining the design density of the concreting material. It is proposed to adjust the design solution using a high-strength thixotropic non-shrinking fluid cement mortar for this (for example, Mapegrout Colabile). The use of such a mortar instead of conventional heavy concrete allowed for high-quality application and placement of the mixture in a limited space with proper self-compaction without the use of vibrators, which guarantees high quality repair work, increased adhesion (more than 2 MPa) to the existing concrete, additional bending strength of the column (12 MPa) and compression (75 MPa). The presented technology of restoration and reinforcement of the column allowed: to preserve the existing column reinforcement and its anchoring in the pile body; to prevent the formation of shrinkage cracks in the body of the reinforcement jacket; to significantly reduce the duration of restoration work (17%), which is crucial in the conditions of construction in cities with a population of millions; to bring the parameters of the bearing capacity and the design service life of the restored column to the parameters of the new structure.

1. Shumakov, I., & Buhaievskiy, V. (2024). Optimization of parameters of repair and construction works during the restoration of a reinforced concrete overpass. Construction production, 77, 3–10. <https://doi.org/10.36750/2524-2555.77>

Плоске полегшене залізобетонне збірно-монолітне перекриття з порожнинами із пластикових куль

Олена Буцька, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-4377-3746>;

Микола Махінько, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-5541-8672>;

Олена Маринченко, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньою програмою «Промислове і цивільне будівництво»

Український державний університет науки та технологій (м. Дніпро)

Питання розвитку методів розрахунку плоских полегшених збірно-монолітних перекриттів і на сьогодні є актуальним. Хоча сучасні програмні комплекси для розрахунку збірно-монолітних конструкцій перекриттів мають високий рівень розвитку, їхнє правильне застосування вимагає від інженера-проектувальника спеціальних знань та навичок розрахунку таких конструкцій.

Метою дослідження є оцінка ефективності збірно-монолітного плоского перекриття з порожнечами, утвореними пластиковими кульками, шляхом чисельного аналізу його напружено-деформованого стану.

Конструктивна схема та розрахункова модель плоского полегшеного залізобетонного збірно-монолітного перекриття з порожнечами із пластикових куль наведені на рис. 1 та 2.[1]

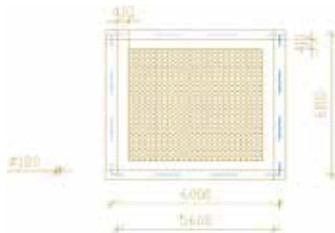


Рис.1 - Конструктивна схема плоского полегшеного залізобетонного збірно-монолітного перекриття з порожнечами із пластикових куль

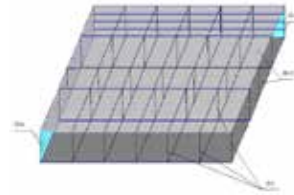


Рис.2 - Розрахункова модель плоского полегшеного залізобетонного збірно-монолітного перекриття з порожнечами із пластикових куль

Запропонована конструкція перекриття складається з армуючого каркаса, монолітного бетону та пластикових кульок, що створюють порожнини всередині плити (рис. 1). Це дозволяє знизити масу конструкції до 35% у порівнянні з традиційними монолітними плитами.

Було виконано дослідження перекриття у програмному комплексі «Ліра-САПР» для різних прольотів (6 м, 7 м, 8 м) та діаметрів порожнечеутворювачів (180 мм, 315 мм, 500 мм). Розрахунок виконувався за першою та другою групами граничних станів.

Висновки. Дослідження показали, що найбільш раціональним є застосування пластикових куль діаметром 315 мм у перекриттях з прольотами 6–8 м, що дозволяє знизити масу конструкції до 35% порівняно з монолітними плитами. Отримані максимальні вертикальні деформації не перевищували 2,75 мм, що відповідає нормативним вимогам. При цьому конструкція перекриття витримала навантаження 4,46 кН/м² (постійне) і 1,5 кН/м² (тимчасове), зберігаючи цілісність та несучу здатність. Отже, дана конструктивна система є раціональним і надійним рішенням для сучасного будівництва.

1. Буцька О. Л., Нікіфорова Т. Д., Буцький Р. В. Моделювання полегшеного плоского перекриття з пустотами із пластиковими кульками // Український журнал будівництва та архітектури. – 2024. – № 2 (020). – С. 45–52 <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.260324.7.1036>

Flat lightweight reinforced concrete precast-monolithic slab with voids formed by plastic spheres.

Olena Butska, Ph.D. Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures; <https://orcid.org/0000-0002-4377-3746>

Mykola Makhinko, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures; <https://orcid.org/0000-0001-5541-8672>

Olena Marynchenko, Bachelor's Student

Ukrainian State University of Science and Technologies (Dnipro)

The development of calculation methods for flat lightweight precast-monolithic slabs remains a relevant issue today. Although modern software packages for analyzing precast-monolithic slab structures are highly advanced, their proper application requires the structural engineer to possess specialized knowledge and skills in calculating such types of constructions.

The aim of the study is to assess the efficiency of a flat precast-monolithic slab with voids formed by plastic spheres through a numerical analysis of its stress-strain state.

The structural layout and the analytical model of the flat lightweight reinforced concrete precast-monolithic slab with voids formed by plastic spheres are shown in Figures 1 and 2 [1].

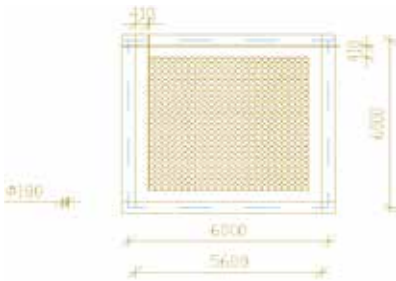


Fig.1 - Structural layout of a flat lightweight reinforced concrete precast-monolithic slab with voids formed by plastic spheres.

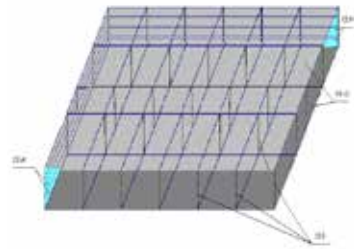


Fig.2 - Calculated model of a flat lightweight reinforced concrete precast-monolithic slab with voids formed by plastic spheres

The proposed slab design consists of a reinforcement cage, cast-in-place concrete, and plastic spheres that create voids within the slab (Figure 1). This allows for a reduction in the structure's weight by up to 35% compared to traditional solid cast-in-place slabs.

The slab was analyzed using the "Lira-SAPR" software for different spans (6 m, 7 m, 8 m) and void former diameters (180 mm, 315 mm, 500 mm). The calculations were carried out according to the first and second limit states.

Conclusions. The study showed that the most efficient solution is the use of plastic spheres with a diameter of 315 mm in slabs with spans ranging from 6 to 8 meters, which allows for a reduction in structural weight by up to 35% compared to solid cast-in-place slabs. The obtained maximum vertical deformations did not exceed 2.75 mm, which complies with regulatory requirements. At the same time, the slab structure withstood a load of 4.46 kN/m² (permanent) and 1.5 kN/m² (live), maintaining its integrity and load-bearing capacity. Therefore, this structural system represents a rational and reliable solution for modern construction.

1. Butska O., Nikiforova T., Butskiy R. Modeling of Lightweight Flat Slab with Voids Formed by Plastic Spheres // Ukrainian Journal of Construction and Architecture – 2024. – № 2 (020). – С. 45–52 <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.260324.7.1036>

Numerical studies of the performance of reinforced concrete arches under the action of static short-term loads

Bohdan Karavan, (Ph.D.), Senior Lecturer, Department of Industrial, Civil Engineering and Engineering Structures, <https://orcid.org/0000-0002-0499-7544>;

Viktor Karavan, candidate of technical sciences, associate Professor of the Department of Industrial, Civil Engineering and Engineering Structures, <https://orcid.org/0000-0002-8261-692X>

Serhii Filipchuk, doctor of technical sciences, professor at the Department of Industrial, Civil Engineering and Engineering Structures, <https://orcid.org/0000-0002-4464-4620>

The National University of Water and Environmental Engineering (Rivne)

The aim is to investigate the stress-strain state of a two-hinged reinforced concrete arch made of high-strength concrete under the action of short-term single loads using modern, progressive computational complexes. To achieve this goal, analytical studies were carried out based on the study of existing methods of stress-strain state of structures, analysis of open literature sources, and theoretical studies. A numerical experiment was also carried out to calculate the experimental arch using the finite element method, and finally a statistical analysis of the convergence of experimental and theoretical studies was performed.

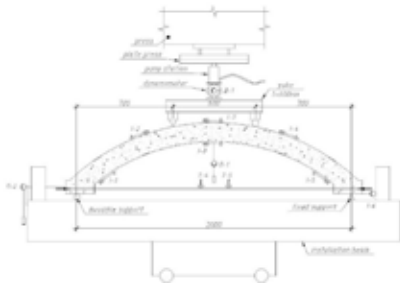


Fig.1 – Scheme of arch test with tightening

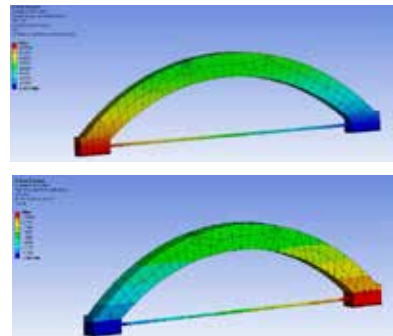


Fig.2 – Deflections (mm) in the arch under load P=10 kN, P=50kH

The reinforced concrete monolithic arch had the following geometric parameters: nominal length – 216 cm; span $l = 200$ cm; nominal height – 52 cm; lifting boom $f = 40$ cm; ratio $f/l = 1/5$; radius of the arch arc $R = 145$ cm; cross-sectional dimensions of the belt $h \times b = 14 \times 10$ cm (Fig. 1). To test the double-hinged reinforced concrete arch, a PG-200 hydraulic press was used, on the basis of which special equipment was mounted. The arch was tested under the action of a static step-increasing load until failure.

The numerical calculation of the reinforced concrete arch was performed in the ANSYS PC at a load $P=10$ kN, 50 kN (Fig. 2).

The results of the calculation of the arch using the finite element method in the ANSYS PC have satisfactory agreement with the data obtained from the results of experimental studies.

1. Karavan B. V. Experimental studies of the stress-strain state of reinforced concrete arches made of high-strength concrete Resource-saving materials, structures, buildings and structures: Collection of scientific papers. Issue 41. Rivne, 2022. P. 135-143. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i41.015>
2. Babich E.M. "Study of the operation of two-hinged reinforced concrete arches under short-term repeated loading" / E.M. Babich, D.Ya. Kyslyuk / Resource-saving materials, structures, buildings and structures. Collection of scientific papers. Issue 16 - Rivne: NUVGP, 2008. 18p.

Числові дослідження роботи залізобетонної арки на дію статичних короткочасних навантажень

Богдан Караван, докт. філософії (Ph.D.), старший викладач кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0000-0002-0499-7544>;

Віктор Караван, канд. техн. наук, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0000-0002-8261-692X>

Сергій Філіпчук, докт. техн. наук, професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0000-0002-4464-4620>

Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне)

Ставиться за мету дослідити напружено-деформований стан двохшарнірної залізобетонної арки з високоміцного бетону за дії короткочасних одноразових навантажень за допомогою сучасних, прогресивних розрахункових комплексів. Для досягнення поставленої мети виконувались аналітичні дослідження, що базуються на вивченні існуючих методів напружено-деформованого стану конструкцій, аналіз відкритих літературних джерел, проведення теоретичних досліджень. Також проводиться числовий експеримент з розрахунку дослідної арки методом скінченних елементів і нарешті було виконано статистичний аналіз збіжності експериментальних та теоретичних досліджень.

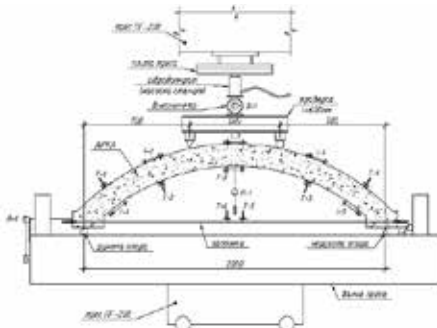


Рис.1 – Схема випробування арки із затяжкою

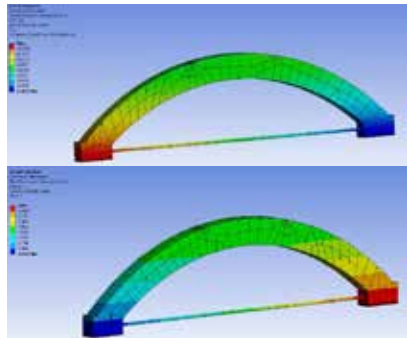


Рис.2 – Прогини в арці при навантаженні 10 кН та 50 кН

Залізобетонна монолітна арка наступні геометричні параметри: номінальна довжина – 216 см; проліт $l = 200$ см; номінальна висота – 52 см; стріла підйому $f = 40$ см; відношення $f/l = 1/5$; радіус дуги арки $R = 145$ см; розміри поперечного перерізу поясу $h \times b = 14 \times 10$ см (рис. 1). Для випробування двохшарнірної залізобетонної арки використовувався гідравлічний прес ПГ-200, на базі якого було змонтоване спеціальне устаткування. Випробування арки виконувалось на дію статичного ступенево-зростаючого навантаження до руйнування.

Числовий розрахунок залізобетонної арки виконано в ПК ANSYS при навантаженні $P = 10$ кН, 50 кН (рис.2).

Результати розрахунку арки методом скінченних елементів в ПК ANSYS мають задовільну збіжність з даними отриманими за результатами експериментальних досліджень.

1. Караван Б. В. Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних арок з високоміцного бетону Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. Вип. 41. Рівне, 2022. С. 135-143. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i41.015>
2. Бабич С.М. „Дослідження роботи двохшарнірних залізобетонних арок при короткочасному повторному навантаженні” / С.М.Бабич, Д.Я.Кислюк / Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Випуск 16 - Рівне : НУВГП, 2008. 18с.

Методика розрахунку поверхових спектрів відгуку будівель і споруд об'єктів критичної інфраструктури

Любов Перушова, аспірант кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, старший інженер відділу оцінки сейсмостійкості філії "Відокремлений підрозділ"; <https://orcid.org/0009-0004-7706-8131>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)
"Науково-технічний центр" АТ "НАЕК "ЕНЕРГОАТОМ"

Мета дослідження – розробка методики визначення поверхових спектрів відгуку будівельних конструкцій енергоблоків атомних станцій під впливом сейсмічних навантажень.

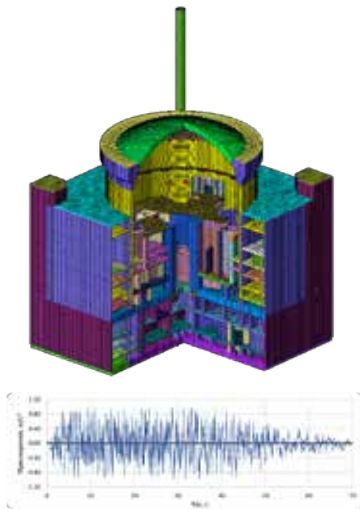


Рис.1 - Розрахункова схема реакторного відділення та вихідна акселерограма високочастотної спектра інтенсивністю МРЗ PGA = 0,10g



Рис.2 - Сейсмограма рівня впливу МРЗ PGA= 0,10g

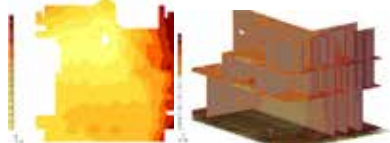


Рис.3 - Ізополі максимальних вузлових прискорень вузлових акселерограм за напрямком Z

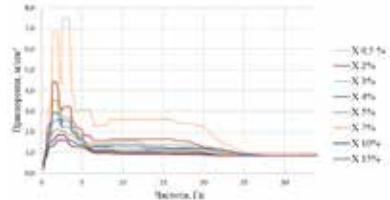


Рис.4 - Поверхові спектри відгуку при різних значеннях демпфування за напрямком X

Розглянуто особливості розрахунку конструкцій реакторного відділення на сейсмічні впливи прямим методом інтегрування рівнянь руху з врахуванням демпфування, як матеріального, так і взаємодії ґрунт-основа. В якості методу моделювання взаємодії основи та споруди прийнято метод еквівалентних динамічних характеристик, відповідно до якого запропоновано чотири незалежні етапи: на 1-ому етапі визначається сейсмічні навантаження (динаміка в часі), а саме сейсмограми прикладаються в кожному вузлу фундаментної плити в трьох напрямках; на 2-ому етапі виконується модальний аналіз для визначення перших форм коливань будівлі та подальшого визначення коефіцієнтів пропорційності маси α і жорсткості β ; на 3-ому етапі виконуються розрахунки для характерних точок установки обладнання і всіх розрахункових сейсмограм; на 4-ому етапі виконується обробка поверхових спектрів за правилами, що застосовуються при проектуванні АЕС в США.

1. Гензерський Ю.В., Барабаш М.С., Трусов І.О., Перушова Л.Ф. Методика оцінки сейсмостійкості будівельних конструкцій та споруд атомних електростанцій в ПК ЛІРА САПР. Опір матеріалів і теорія споруд №11, 2023.-С.125-139. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.111.125-139>

Methods of calculation of the in-structure response spectra of critical infrastructure buildings and structures

Liubov Pervushova, PhD student of the Department of Metal and Wooden Constructions; Senior engineer in Seismic Resistance Assessment Department Affiliate «SS «Scientific and Technical Centre», <https://orcid.org/0009-0004-7706-8131>;

Kyiv National University of Construction and Architecture
JSC «NNEGC «Energoatom»

The purpose of the study is to develop a methodology for determining response spectra of buildings and structures of nuclear power plants under the impact of seismic loads.

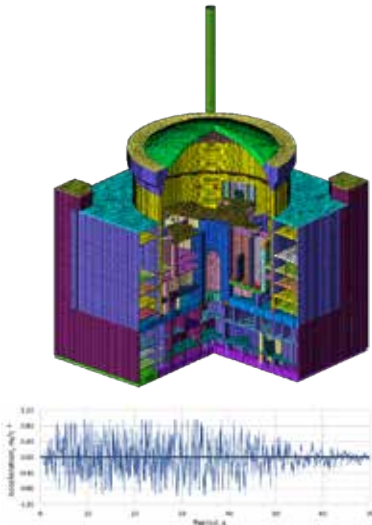


Fig.1 - The calculation scheme of the reactor building and the output accelerogram of the high-frequency intensity spectrum SL-2 PGA = 0,10g



Fig.2 - Seismogram of the impact level SL-2 PGA= 0,10g

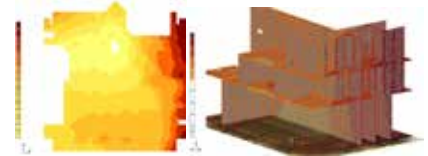


Fig.3 - Maximum nodal accelerations of nodal accelerograms in the Z direction

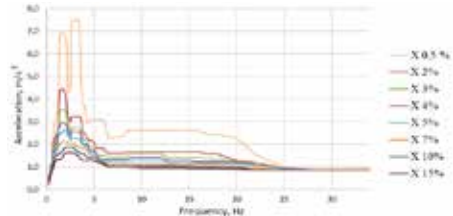


Fig.4 - Response spectra with different damping values in the X direction

The features of the calculation of reactor building structures by seismic effects by the direct method of integrating the equations of motion taking into account damping, both material and soil-base interaction, are considered. The method of equivalent dynamic characteristics is adopted as a method for modeling the interaction of the base and the structure, according to which four independent stages are proposed: at the 1st stage, seismic loads are determined (dynamics in time), namely, seismograms are applied at each node of the foundation slab in three directions; at the 2nd stage, a modal analysis is performed to determine the first forms of building vibrations and further determine the mass proportionality coefficients α and stiffness β ; at the 3rd stage, calculations are performed for equipment installation points and all calculated seismograms; at the 4th stage, response spectra are processed according to the rules used in the design of nuclear power plants in the USA.

1. Henzerkyi Y.V., Barabash M.S., Trusov I.O., Pervushova L.F. Methods of assessing the seismic resistance of building structures and nuclear power plant structures in Lira-SAPR program // Strength of Materials and Theory of Structures. - K.: KNUBA, 2023. - Issue 111. - P. 125-139. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.111.125-139>

Рациональна конструкційна система сталезалізобетонних автодорожніх мостів

Юрій Круль, канд. техн. наук, ст. викл. кафедри будівельних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-0069-4191>;

Павло Фірсов, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-9119-3968>

Хаммуд Мохаммад Тахран, аспірант кафедри будівельних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-5509-8741>

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

Мета дослідження – поліпшення характеристик перфорованих елементів та конструкцій шляхом зміни конфігурації та кроку отвору. Пропонована конструкція являє собою просторову двокомпонентну систему, що складається з металевих перфорованих блоків коробчастого перерізу і включається в роботу за допомогою зсувної системи, ефективну легку залізобетонну дорожню плиту (рис. 1).

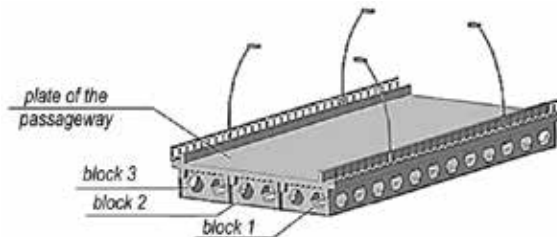


Рис 1. Фрагмент пропонованої сталезалізобетонної прогонової конструкції.

В роботі викладено принцип нового способу виготовлення таких конструкцій [1]. Особливістю є той факт, що перфоровані елементи спроектовані на основі методу біонічно-енергетичної оптимізації (БЕО) [1]. Він заснований на двох критеріях [2]:

- твердження, мінімізації потенційної енергії деформації:

$$U = \inf U(a^k), k=1, 2$$

де U - енергія деформації; k – кількість варіантів рівняння; M – набір допустимих значень зовнішніх геометричних параметрів [3].

- вимога ізоенергетичного стану системи:

$$e\{\bar{x}\} = \text{const}$$

де e – щільність енергії деформації; \bar{x} - вектор внутрішніх параметрів.

В результаті роботи БЕО-методу отримано рішення для розрізних балок у вигляді конструкції зі ступінчастою зміною висоти секцій [6]. Далі, згідно розробленого алгоритму, ця балка замінюється на еквівалентну перфоровану балку зі змінними відстанями між отворами та їх розмірами.

1. Babaev V., Evzerov I., Evel S., Lantuh-Lyashenko A., Shevetovsky V., Shimanovsky O., Shmukler V., Suhonos M.. Рациональное проектирование конструктивных строительных систем. Издательство «Будинок». Берлін/Німеччина; 2021 рік.
2. Vasilkov G. Еволюційні проблеми будівельної механіки. Синергетична парадигма. Інфосервіс; 2003.
3. Shmukler V., Lugchenko O., Nagem O. Чисельна верифікація одного підходу біонічної раціоналізації структур. Збірник наукових праць Українського державного університету шляхів сполучення: с. 189: Харків 2020.

Experimental research of the flat reinforced concrete slab with strengthening by external prestressed reinforcement

Yuriy Krul, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Building Structures; <https://orcid.org/0000-0002-0069-4191>

Pavel Firsov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures <https://orcid.org/0000-0001-9119-3968>

Hammoud Mohammad Tahrán, postgraduate student of the Department of Building Structures, <https://orcid.org/0000-0002-5509-8741>

Kharkiv National University of Urban Economy named after O. M. Beketov

The purpose of the study is to improve the characteristics of perforated elements and structures by changing the configuration and pitch of the holes. The proposed structure is a spatial two-component system consisting of metal perforated blocks of box section and is included in the work using a sliding system, an effective lightweight reinforced concrete road slab (Fig. 1).

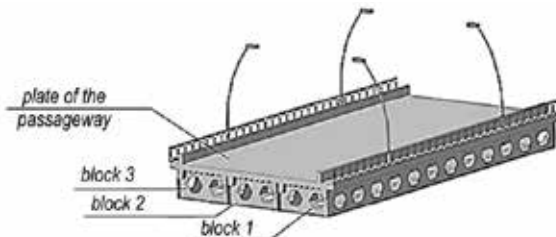


Fig. 1. Fragment of the proposed steel-reinforced concrete girder structure.

The paper presents the principle of a new method of manufacturing such structures [1]. A special feature is the fact that perforated elements are designed based on the bionic energy optimization (BEO) method [1]. It is based on two criteria [2]:

- the statement of minimizing the potential energy of deformation:

$$U = \inf U(a^k), k=1, 2$$

where U – the deformation energy; k – the number of equation variants; M – the set of permissible values of external geometric parameters [3].

- requirement of the isoenergetic state of the system:

$$e\{\bar{x}\} = \text{const}$$

where e – strain energy density; $\{\bar{x}\}$ - vector of internal parameters.

As a result of the operation of BEO-method, the solution for split beams is obtained in the form of a structure with a stepwise changing height of the sections [6]. Further, according to the developed algorithm, this beam is replaced by an equivalent perforated beam with variable hole spacing and their sizes.

1. Babaev V., Evzerov I., Evel S., Lantuh-Lyashenko A., Shevetovsky V., Shimanovsky O., Shmukler V., Suhonos M.. Rational design of structural building systems. Publishing House "Budynok". Berlin/Germany; 2021.
2. Vasilkov G. Evolutionary problems of structural mechanics. Synergetic paradigm. Infoservice; 2003.
3. Shmukler V., Lugchenko O., Nagem O. Numerical verification of one approach to bionic rationalization of structures. Collection of scientific papers of the Ukrainian State University of Transport: p. 189: Kharkiv 2020.

Дослідження факторів впливу на технологію зведення підземних конструкцій методом гравітаційного видавлювання

Олександр Махия, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних технологій, <https://orcid.org/0000-0001-7167-2857>;

Євгеній Галенко, аспірант кафедри будівельних технологій, <https://orcid.org/0000-0001-9306-658X>;

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – виявити та проаналізувати фактори, що впливають на технологію влаштування армобетонних конструкцій методом гравітаційного видавлювання (рис. 1) у глибокій та вузькій траншеї під захистом глинистого розчину на основі їх експертного оцінювання

Методика:

- первинне виділення груп факторів: параметри конструкцій, параметри модуль-опалубки, параметри середовища глинистого розчину, параметри зовнішнього середовища, технологічні параметри, організаційно-економічні параметри);
- експертне ранжування за безрозмірними шкалами «Важливість» і «Бажаність» [2];
- побудова матриці розподілу та відбір 16 найважливіших чинників (рис. 2);
- порівняння граничних інтервалів цих чинників зі значеннями, прийнятими у технологіях-аналогах (метод «стіна в ґрунті», зведення конструкцій у ковзних опалубках).

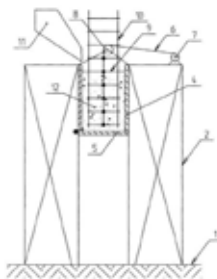


Рис.1 Принципова схема технології гравітаційного видавлювання [1]

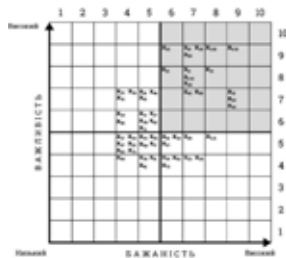


Рис. 2. Матриця «Важливість – Бажаність» для 54 чинників (виділено топ-16)

Основні результати:

- Виявлено, що товщина конструкції 0,4–0,8 м, висота 10–50 м забезпечують прийнятну просторову жорсткість та мінімізують кількість вертикальних швів.
- Збільшення густини глинистого розчину до 1,15–1,50 т/м³ зменшує монтажну вагу зануреної конструкції в середньому на 37 % завдяки архімедовій підйомній силі [3].

Практична цінність. Отримані результати можуть бути використані для подальшого дослідження технології влаштування армобетонних конструкцій методом гравітаційного видавлювання.

1. Спосіб зведення монолітної будівельної конструкції: пат. UA A 2011 13024, 2013.
2. Черепанська І. Ю. та ін. Прийняття рішень з використанням експертних оцінок. – Житомир: ЖДТУ, 2015. – 285 с.
3. Махия О., Галенко Є. (2024). Теоретичні дослідження монтажної ваги армовидавлювальних конструкцій. Основи та Фундаменти / Bases and Foundations, (49), 77–85. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.49.2024.77-85>

Research on factors influencing the technology of underground structure construction using the gravitational extrusion method

Oleksandr Makhynia, Candidate of Technical Sciences, Assoc. Prof., Kyiv National University of Construction and Architecture, <https://orcid.org/0000-0001-7167-2857>;

Yevhenii Halenko, PhD student, Department of Construction Technologies, <https://orcid.org/0000-0001-9306-658X>;

Kyiv National University of Construction and Architecture

Research objective – to identify and analyse the factors that influence the construction of reinforced-concrete structures by the gravitational-extrusion method (Fig. 1) in a deep, narrow trench protected by bentonite slurry, using expert evaluation as the basis.

Methodology:

- initial grouping of factors: structural parameters, modular-formwork parameters, bentonite-slurry environment parameters, external-environment parameters, technological parameters, and organisational-economic parameters;
- expert ranking on dimensionless “Importance” and “Desirability” scales [2];
- construction of a distribution matrix and selection of the 16 most significant factors (Fig. 2);
- comparison of the limiting intervals of these factors with the values adopted in analogue technologies (diaphragm-wall method and slip-form construction).

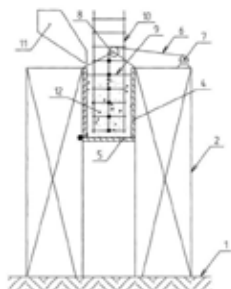


Fig. 1. Conceptual scheme of the gravitational-extrusion technology [1]

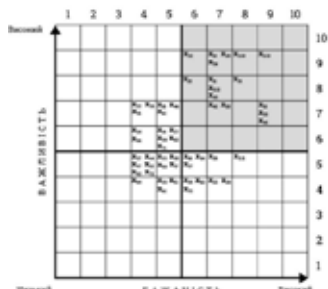


Fig. 2. “Importance–Desirability” matrix for 54 factors (top-16 highlighted)

Main results:

- Optimal geometric parameters. A thickness of 0.4–0.8 m and a height of 10–50 m ensure adequate spatial rigidity of the GE structure and minimize the number of vertical joints.
- Bentonite slurry density. Raising slurry density to 1.15–1.50 t/m³ decreases the installation weight of the submerged structure by an average of 37 % owing to Archimedean buoyancy [3].

Practical significance. The findings provide benchmark parameter ranges and can guide further research and practical implementation of the gravitational-extrusion method for building reinforced-concrete underground structures.

1. Method for the erection of a monolithic building structure: patent UA A 2011 13024, 2013.
2. Cherepanska I. Yu. *Decision-making using expert evaluations*. Zhytomyr: ZhDTU, 2015.
3. Makhynia O., Halenko Ye. (2024) Theoretical investigations of the installation weight of extrusion-reinforced structures. *Bases and Foundations*, (49), pp. 77–85. <https://doi.org/10.32347/0475-1132.49.2024.77-85>

Ефективність використання захисних споруд при динамічному навантаженні

Людмила Афанасьєва, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <http://orcid.org/0000-0001-6237-2609>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Експлуатаційні якості конструкцій захисних споруд визначає їх здатність сприймати динамічні навантаження. При цьому загальна стійкість споруди залежить від характеру руйнування її окремих конструктивних елементів-бар'єрів, тобто від глибини проникнення пробійника («ударник») в тіло конструкції («плита»). Визначення динамічного характеру деформування плити внаслідок взаємодії з ударником дозволить прогнозувати ступінь її ушкодження. Проведені дослідження взаємодії ударника і плити в умовах ударного навантаження включали такі фактори впливу як початкова швидкість ударника і кут його зустрічі з плитою [1,2].

Сила опору середовища, в якому рухається ударник [1], становить (1):

$$f_c = -m \frac{dv}{dt} S (A \cdot \vartheta_0^2 + B \cdot \vartheta_0 + C), \quad (1)$$

де m, ϑ_0 – відповідно маса і швидкість ударника;

S – площа поперечного перерізу ударника;

A, B, C – коефіцієнти, що залежать від властивостей і форми ударника.

За результатами виконаного чисельного дослідження [1] розроблені моделі плит з різними типами армування: подвійними сітками, подвійними сітками з поперечною арматурою, суцільним металевим листом, арматурними сітками та фібрами. а також встановлені особливості проникнення в них ударника. Внаслідок пробиття ударником плити, що армовані одинарними і подвійними сітками, супроводжувались наскрізним руйнуванням. Використання суцільного металевго листа потребує додаткового технологічного вдосконалення внаслідок розшарування плити вздовж листа.

Дослідні зразки з комбінованим армуванням [1] - сітками та фібрами відрізнялись зменшеною до 35,0% остаточною швидкістю ударника в плиті, що виключило її наскрізне руйнування. Глибина проникнення зменшилась до 20,0%. Проведені чисельні дослідження свідчать, що плити з використанням комбінованого армування не пробиваються ударником, частина зразка залишається неушкодженою. Це досягається перевагами дисперсного зміцнення конструкції за рахунок збільшення міцності на розтяг, зниження крихкості бетону, підвищення його в'язкості, що в цілому сприяє збільшенню тріщиностійкості плити. Таким чином, конструкції з комбінованим армуванням обґрунтовано можна рекомендувати до застосування в практику будівництва захисних споруд, що відповідають вимогам експлуатації в умовах динамічного навантаження.

1. Афанасьєва Л.В., Лавриненко Л.І. Конструкції захисних споруд в умовах високошвидкісного удару. Містобудування та територіальне планування: Зб.наук.пр. Київ, КНУБА, 2024.Вип.86. С.230-242. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.86.230-242>
2. Афанасьєва Л.В., Лавриненко Л.І. «Експлуатаційні якості конструкцій захисних споруд в умовах динамічного навантаження.//Наука і освіта: зб. Пр. XIX Міжнар.наук. конф. м.Хайдусобосло, Угорщина, - Хмельницький: ХНУ, 2025.- С.137-142, http://lib.khnu.km.ua/konfer_HNU/2025/SE-2025.pdf

Effectiveness using of protective structures under dynamic loading

Lyudmyla Afanasyeva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, <http://orcid.org/0000-0001-6237-2609>

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)

The operational qualities of protective structure elements are defined by their ability to withstand dynamic loads. In this context, the overall stability of a structure depends on the failure characteristics of its individual structural components - barriers - namely, on the depth of penetration of a projectile ("impactor") into the body of the structure ("slab"). Determining the dynamic deformation behavior of the slab due to its interaction with the impactor allows for the prediction of the extent of damage. Studies conducted on the interaction between the impactor and the slab under impact loading considered such influencing factors as the initial velocity of the impactor and its angle of contact with the slab [1,2].

The resistance force of the medium through which the impactor moves [1] is defined as (1):

$$f_c = -m \frac{dv}{dt} S (A \cdot \vartheta_0^2 + B \cdot \vartheta_0 + C), \quad (1)$$

where m , ϑ_0 – are the mass and velocity of the impactor, respectively; S is the cross-sectional area of the impactor;

S – is the cross-sectional area of the impactor;

A , B , C – are coefficients depending on the material properties and shape of the impactor.

Based on the numerical simulations [1], models of slabs with different reinforcement types were developed: double mesh, double mesh with transverse reinforcement, solid metal sheet, reinforcement mesh with fibers. Specific penetration features of the impactor into these slabs were identified. Slabs reinforced with single and double meshes exhibited complete through-penetration upon impact. The use of a solid metal sheet requires additional technological improvement due to delamination of the slab along the sheet. \

Test samples with combined reinforcement [1] showed a 35,0 % reduction in final impactor velocity within the slab, preventing through-penetration. The penetration depth decreased by up to 20,0 %. Numerical studies indicate that slabs with combined reinforcement are not perforated by the impactor; part of the sample remains intact. This is achieved through the advantages of dispersed strengthening, which increases tensile strength, reduces concrete brittleness, and enhances ductility, all contributing to greater crack resistance.

Conclusion: Structures with combined reinforcement can justifiably be recommended for use in constructing protective structures that are required to operate under dynamic loading conditions.

1. Afanasieva L.V., Lavrynenko L.I. Structures of protective facilities under high-speed impact. Urban Planning and Territorial Planning: Collected Scientific Papers. Kyiv, KNUCA, 2024. Issue 86. Pp. 230–242. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.86.230-242>
2. Afanasieva L.V., Lavrynenko L.I. Operational qualities of protective structure components under dynamic loading. // Science and Education: Proc. of the XIX Int. Sci. Conf., Hajdúszoboszló, Hungary – Klmelnytskyi: KhNU, 2025. – Pp. 137–142. http://lib.khnu.km.ua/konfer_HNU/2025/SE-2025.pdf

Дискретне формоутворення підземних споруд спеціального призначення

Володимир Скочко, докт. техн. наук, професор, кафедри архітектурних конструкцій, зав. кафедри споруд спеціального призначення, <https://orcid.org/0000-0002-1709-2621>;
Кирило Мартиновський, здобувач <https://orcid.org/0009-0000-9065-614X>;
Олексій Котляревський, к.е.н., доцент кафедри споруд спеціального призначення, <https://orcid.org/0009-0004-1645-8064>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – висвітлити основи підходу до дискретного формоутворення підземних споруд спеціального призначення (зокрема тунельного типу) із забезпеченням принципу безмоментності, що дозволить підвищити їх надійність та збільшити термін експлуатації під дією зовнішніх навантажень, представлених активним тиском та вагою інженерно-геологічних елементів (ІГЕ) ґрунтового масиву (рис.1).

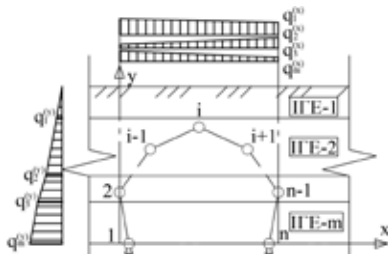


Рис.1 – Принципова схема розміщення конструкції в ґрунтовому середовищі

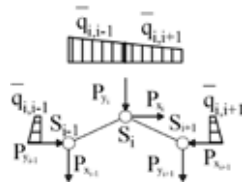


Рис.2 – Розрахункова схема в межах двох ланок

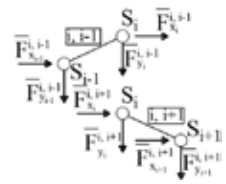


Рис.3 – Вузлові реакції ланок розрахункової схеми

Вирішення задачі формоутворення полягає у описі статичної рівноваги конструкції під дією прикладених до вузлів дискретної моделі зовнішніх приведених векторних компонентів навантажень P_{x_i} та P_{y_i} [1] (рис.2), одержаних шляхом збору опорних зусиль у місця сполучення кожного тьюбінгу від функцій розподіленого навантаження $q(x)$ та $q(y)$ (рис.3).

$$P_{x_i} = F_{x_i}^{i,j-1} + F_{x_i}^{i,j+1}, \quad (1) \quad P_{y_i} = F_{y_i}^{i,j-1} + F_{y_i}^{i,j+1}. \quad (2)$$

Якщо позначити координати літерою s (замість x та y), рівняння статичної рівноваги згідно із узагальненою формою статико-геометричного методу [2, 3] приймуть наступний вигляд:

$$k_{i,i-1} \cdot s_{i-1} - (k_{i,i-1} + k_{i,i+1}) \cdot s_i + k_{i,i+1} \cdot s_{i+1} = P_{s_i}. \quad (3)$$

Вирішуючи систему рівнянь типу (3) для вільних вузлів моделі, визначимо їх координати. Поздовжні зусилля у ланках формоутвореної моделі визначаються за формулою:

$$N_{i,j} = R_{i,j} = k_{i,j} \cdot \delta_{i,j}, \quad (4)$$

де $\delta_{i,j}$ – довжина довільної ланки $S_i S_j$, а $k_{i,j}$ – параметр щільності поздовжніх зусиль у ній.

Поперечні зусилля і згинальні моменти у прольоті кожної ланки (тьюбінгу) визначатимуться як для нахиленої балки на двох опорах, навантаженої розподіленим навантаженням.

Процес формоутворення реалізується шляхом здійснення ітераційного числення.

Висновки: запропонований підхід дозволяє отримувати такі форми тунелів/потернів, у вузлах сполучення ланок (тьюбінгів) яких не виникатиме згинальних моментів. Це забезпечує вищу стійкість та міцність відповідних конструкцій при їх меншій матеріалоемності.

1. Бронштейн І.М., Семендяев К.А. (1957). Довідник з математики. Для інженерів та учнів вузів, 608 с.
2. Скочко В.І. Методи інтерпретаційного геометричного моделювання сітчастих структур та їх застосування. Дис. доктора техн. наук : 05.01.01. К. : КНУБА, 2021.
3. Бовда Т., Скочко В. Дискретне формоутворення поверхонь. Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених «Буд-Майстер-Клас-2018»: тези доп. Київ: КНУБА, 2018. С. 260-261.

Discrete morphogenesis of special-purpose underground structures

Volodymyr Skochko, Dr. Sci., Professor of Architectural Structures Department, Head of Special Purpose Structures Department, <https://orcid.org/0000-0002-1709-2621>;

Kyrylo Martynovsky, student, <https://orcid.org/0009-0000-9065-614X>;

Oleksiy Kotlyarevskiy, PhD., Associate Professor of Special Purpose Structures Department <https://orcid.org/0009-0004-1645-8064>

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)

The purpose of the study is to highlight the basics of the approach to the discrete shaping (morphogenesis) of special-purpose underground structures (in particular of tunnel-type) with the principle of momentlessness, which will increase their reliability and their service life under the influence of external loads represented by active pressure and the weight of engineering geological elements (II E/EGE) of the soil massif (Fig.1).

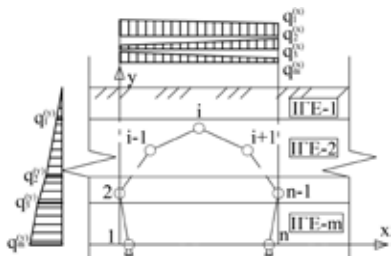


Fig.1 - Schematic diagram of the structure placement in the soil environment

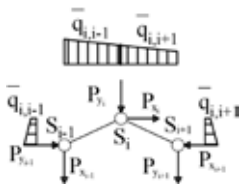


Fig.2 - Design scheme within two links

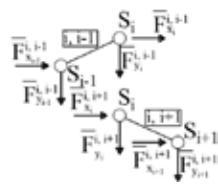


Fig.3 - Nodal reactions of the links of the design scheme

The solution to the morphogenesis problem consists in describing the static equilibrium of the structure under the action of external reduced vector-components of loads P_{x_i} and P_{y_i} [1] applied to the nodes of the discrete model (Fig. 2), obtained by collecting the support forces at the junctions of each tubing from the distributed load functions $q(x)$ and $q(y)$ (Fig. 3).

$$P_{x_i} = F_{x_i}^{i,j-1} + F_{x_i}^{i,j+1}, \quad (1) \quad P_{y_i} = F_{y_i}^{i,j-1} + F_{y_i}^{i,j+1}. \quad (2)$$

If the coordinates are indicated by the letter s (instead of x and y), the static equilibrium equations according to the generalized form of the static-geometric method [2, 3] will take the following form:

$$k_{i,i-1} \cdot s_{i-1} - (k_{i,i-1} + k_{i,i+1}) \cdot s_i + k_{i,i+1} \cdot s_{i+1} = P_{s_i}. \quad (3)$$

Solving a system of equations (3) for free nodes of the model, we determine their coordinates.

Longitudinal forces in the rods of the formed model are determined by the formula:

$$N_{i,j} = R_{i,j} = k_{i,j} \cdot \delta_{i,j}. \quad (4)$$

where $\delta_{i,j}$ – length of rod (tubing) $S_i S_j$, and $k_{i,j}$ – the parameter of the density of force in it.

The transverse forces and bending moments in the span of each rod (tubing) will be determined as for an inclined beam on two supports, loaded with a distributed load.

The process of forming the shape is implemented by performing iterative calculations.

Conclusions: the proposed approach allows obtaining such shapes of tunnels, in the nodes of connection of rods (tubings) of which no bending moments will arise. This provides higher stability and strength of the corresponding structures with their lower material consumption.

1. Bronshtein I.N., Semendyaev K.A. (1957). Handbook of mathematics. For engineers and students of technical universities, 608p.
2. Skochko V.I. Methods of interpretive geometric modelling of mesh structures and their application. Dissertation ... Doctor of Technical Sciences: 05.01.01. K. : KNUBA, 2021.
3. Bovda T., Skochko V., Discrete shaping of surfaces. International Scientific and Practical Conference of Young Scientists «Build-Master-Class-2018»: abstracts. Kyiv: KNUBA, 2018. C. 260-261.

Принципи гладкого зшивання підземних тунелів

Андрій Посікера, аспірант кафедри архітектурних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0003-3989-2704>;

Дмитро Сотніков, докторант кафедри архітектурних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0004-3379-0747>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – розробити аналітичні та геометричні підходи до формування гладких зон зшивання між фрагментами підземних тунелів, що відрізняються геометрією або просторовим положенням, з урахуванням фізичних та конструктивних вимог на етапах ескізного проєктування.

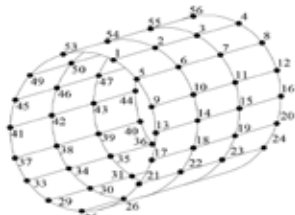


Рис.1 – Загальний вигляд циліндричної тунелю.

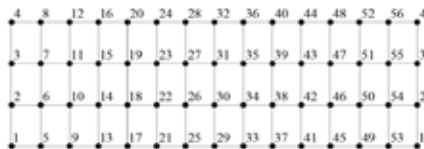


Рис.2 – Розгортка поверхні підземного тунелю.

У роботі розглянуто спосіб дискретного моделювання геометрії підземного тунелю у вигляді сітчастої оболонки, що представлена набором вузлів і зв'язків між ними. Зазвичай тунель моделюється як регулярна циліндрична поверхня, утворена сіткою з рівномірним розподілом вузлів по довжині та у кожному перерізі (див. рис.1). Проте, при необхідності сполучення двох тунелів різних діаметрів (або взагалі різної геометричної форми перерізів), які, окрім того, можуть перебувати у різному просторовому положенні відносно один одного – утворюється перехідна зона, яка потребує адаптивної нерегулярної сітки.

Нумерація вузлів кожної умовно лінійної ділянки тунелів виконується на її розгортці із дублюванням номерів крайніх рядів країв розгортки таким чином, щоб було зрозумілим, які саме з них мають попарно сполучатися (див. рис.2).

Плавний перехід сполучення між різними фрагментами тунелів різної геометрії реалізується шляхом поступової деформації регулярної сітки в зоні зшивання, з використанням інструментів прикладної дискретної геометрії (зокрема на основі узагальненого математичного апарату статико-геометричного методу) та елементів теорії параметризації. Такий підхід забезпечує дискретну імітацію гладкого (континуального) формоутворення зон сполучення досліджуваних ділянок тунелів.

Запропонований підхід до зшивання підземних тунелів дозволяє забезпечити не лише плавні переходи між фрагментами різної геометрії, що особливо важливо у випадках з'єднання ділянок з відмінними діаметрами чи просторовими орієнтаціями, а також і забезпечити ефективну роботу утворених зон в межах пружних деформацій. Також даний підхід дозволяє мінімізувати зони концентрації напружень на ділянках зшивання, що підвищує надійність конструкції та робить етап ескізного проєктування більш інформативним і ефективним.

1. Посікера А., Скочко В., Широков А., Спіридонов В. Геометричне моделювання гладкого сполучення фрагментів дискретно представлених поверхонь. Прикладна геометрія та інженерна графіка. К: КНУБА; Том 1 № 106 (2024): с. 221-240. <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2024.106.221-240>
2. Скочко В.І. Методи інтерпретаційного геометричного моделювання сітчастих структур та їх застосування: Дис... д.т.н., 05.01.01. – К.: КНУБА; 2021. <https://uacademic.info/ua/document/0521U101735>

Principles of smooth stitching of underground tunnels

Andrii Posikera, postgraduate student of the Department of Architectural Structures, <https://orcid.org/0009-0003-3989-2704> ;

Dmytro Sotnikov, doctoral student at the Department of Architectural Structures, <https://orcid.org/0009-0004-3379-0747>.

Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture (Kyiv)

The purpose of the study is to develop analytical and geometric approaches to the formation of smooth stitching zones between fragments of underground tunnels that differ in geometry or spatial position, taking into account physical and structural requirements at the stages of preliminary design.

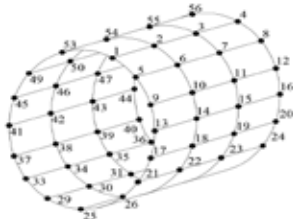


Fig. 1 – General view of a cylindrical tunnel.



Fig.2 – Scan of the surface of an underground tunnel.

The paper considers a method of discrete modeling of the geometry of an underground tunnel in the form of a mesh shell, represented by a set of nodes and connections between them. Typically, a tunnel is modeled as a regular cylindrical surface formed by a mesh with a uniform distribution of nodes along the length and in each cross-section (see Fig. 1). However, if it is necessary to connect two tunnels of different diameters (or generally of different geometrically shaped sections), which, in addition, may be in different spatial positions relative to each other, a transition zone is formed, which requires an adaptive irregular mesh.

The numbering of the nodes of each conditionally linear section of tunnels is performed on its scan with duplication of the numbers of the outermost rows of the scan edges in such a way that it is clear which of them should be connected in pairs (see Fig. 2).

The smooth transition of the connection between different fragments of tunnels of different geometries is implemented by gradual deformation of the regular mesh in the stitching zone, using tools of applied discrete geometry (in particular, based on the generalized mathematical apparatus of the static-geometric method) and elements of the theory of parameterization. This approach provides a discrete imitation of the smooth (continuous) formation of the connection zones of the studied tunnel sections.

The proposed approach to stitching underground tunnels allows not only to ensure smooth transitions between fragments of different geometries, which is especially important in cases of connecting sections with different diameters or spatial orientations, but also to ensure effective operation of the formed zones within the limits of elastic deformations. This approach also allows to minimize stress concentration zones in the stitching sections, which increases the reliability of the structure and makes the stage of sketch design more informative and effective.

1. Posikera A., Skochko V., Shirokov A., Spiridonov V. Geometric smooth coupling modeling fragments discretely represented surfaces . Applied geometry and engineering graphics. K: KNUBA ; Vol. 1 No. 106 (2024): pp. 221-240. <https://doi.org/10.32347/0131-579X.2024.106.221-240>
2. Skochko V.I. Methods interpretative geometric modeling mesh structures and their application: Diss.... Doctor of Technical Sciences, 05.01.01. – Kyiv: KNUBA; 2021. <https://uacademic.info/ua/document/0521U101735>

Геометричне моделювання форми підземних споруд оболонкового типу

Вадим Спірідонов, аспірант каф. арх. констр., <https://orcid.org/0009-0003-4318-1833>;

Володимир Скочко, д.т.н., проф., каф. арх. констр., зав. каф. споруд спец. призначення, <https://orcid.org/0000-0002-1709-2621>;

Андрій Широков, аспірант каф. арх. констр., <https://orcid.org/0009-0008-0602-7083>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

На сьогодні питання стійкості, ефективності та оптимізації конструктивних рішень відіграють важливу роль у проектуванні захисних споруд цивільного захисту, особливо за умов сучасних техногенних загроз.

Інтеграція передових методів параметричного моделювання на основі NURBS-кривих та поверхонь, принципів дискретного геометричного моделювання оболонкових конструкцій, аналізу із застосуванням методу скінчених елементів та топологічної оптимізації, застосування генеративного дизайну та алгоритмічних підходів у процес проектування підземних споруд сприяють вдосконаленню процесів проектування захисних споруд, збільшенню їх функціональності й адаптації до сучасних викликів та дозволяють створювати конструкції з високими експлуатаційними характеристиками мінімізацією витрат ресурсів.

Дискретне геометричне моделювання забезпечує точність розробки конструкцій, а також спрощує створення їх тривимірних та BIM-моделей для аналізу характеру навантажень і поведінки конструктивних елементів [1].

Використання оболонкових конструкцій при проектуванні захисних споруд забезпечує рівномірний розподіл навантажень та високу механічну міцність їхніх елементів. Наприклад, оболонкові рішення для підземних споруд цивільного захисту демонструють переваги стійкості та довговічності [2]. Особливу роль відіграє аналіз роботи оболонкових конструкцій під впливом активного ґрунтового тиску, гідростатичного й гідродинамічного навантажень та сейсмічних впливів. На сьогоднішній день одним із найбільш дієвих інструментів моделювання поведінки захисних конструкцій в реальних умовах є метод скінчених елементів (МСЕ) [3]. Застосування МСЕ дозволяє проводити ітераційний аналіз напружено-деформованого стану конструкції на кожному етапі топологічної оптимізації розрахункової моделі, що дає змогу виявляти та оптимізувати ділянки, де виникають концентратори напружень. Топологічна оптимізація дискретних моделей конструкцій спрямована на створення їх оптимальних рішень із максимальним збереженням міцності за мінімального використання матеріалів. Вона розв'язує проблеми ефективного використання ресурсів в умовах сучасного будівництва [4], з урахуванням різних критеріїв оптимізації (мінімізації маси, внутрішніх зусиль та ін.) та обмежень (напружень, прогинів тощо).

Комплексний підхід до проектування захисних споруд сприяє створенню високофункціональних рішень, які дозволяють забезпечити їхню стійкість, довговічність та відповідність сучасним потребам. Застосування методів та інструментів дискретного геометричного формоутворення [5] дозволяє створювати такі форми оболонкових конструкцій, що виконують захисні функції за рахунок їх геометричних параметрів й характеру розподілу внутрішніх зусиль під дією заданих зовнішніх впливів, а не за рахунок традиційного збільшення фізико-механічних характеристик матеріалів та товщин відповідних конструктивних елементів.

1. Бойко В. А. Технології комп'ютерного геометричного моделювання як засіб мотивації майбутніх будівельників до проектної діяльності. Наукові записки. Серія: педагогіка. 2023. № 1. С. 277-283.
2. Гайко Г. І., Ган А. Л., Вапнічна В. В., Матвійчук І. О. Аналіз прогресивних конструктивних рішень підземних споруд цивільного захисту. Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. 2024. № 26. С. 31-40.
3. Ільченко М., Гвоздь В., Рудешко І., Бас О. Особливості конструктивних рішень захисних споруд цивільного захисту: навч. посіб. Черкаси, 2022. 130 с.
4. Хаткова Л., Дагіль В. Проблеми використання захисних споруд цивільного захисту в сучасних умовах. Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки. 2023. Том 7. № 2. С. 256-265.
5. Ботвіновська С.І. Теоретичні основи формоутворення в дискретному моделюванні об'єктів архітектури та дизайну. Дис. ... доктора техн. наук. 05.01.01. К. : КНУБА, 2018. 526 с.

Geometric modeling of the shape of underground shell-type structures

Vadym Spiridonov, PhD student, <https://orcid.org/0009-0003-4318-1833>

Volodymyr Skochko, doctor of technical sciences, professor, professor of Department of Architectural Structures, head of the Department of Special Purpose, <https://orcid.org/0000-0002-1709-2621>

Andrii Shirokov, PhD student, <https://orcid.org/0009-0008-0602-7083>

Kyiv National University of Construction and Architecture

Today, issues of sustainability, efficiency, and optimization of structural solutions play an important role in the design of civil defense structures, especially in the context of modern man-made threats.

The integration of advanced parametric modeling methods based on NURBS curves and surfaces, the principles of discrete geometric modeling of shell structures, analysis using the finite element method and topological optimization, the application of generative design and algorithmic approaches in the design process of underground structures contribute to the improvement of the design processes of protective structures, increasing their functionality and adaptation to modern challenges, and allow the creation of structures with high operational characteristics while minimizing resource consumption.

Discrete geometric modeling ensures the accuracy of structural design, and also simplifies the creation of their three-dimensional and BIM models for analyzing the nature of loads and the behavior of structural elements [1].

The use of shell structures in the design of protective structures ensures uniform load distribution and high mechanical strength of their elements. For example, shell solutions for underground civil defense structures demonstrate the advantages of stability and durability [2]. A special role is played by the analysis of the operation of shell structures under the influence of active soil pressure, hydrostatic and hydrodynamic loads, and seismic effects. Today, one of the most effective tools for modeling the behavior of protective structures in real conditions is the finite element method (FEM) [3]. The use of FEM allows for an iterative analysis of the stress-strain state of the structure at each stage of topological optimization of the calculation model, which makes it possible to identify and optimize areas where stress concentrators occur. Topological optimization of discrete models of structures is aimed at creating their optimal solutions with maximum preservation of strength with minimal use of materials. It solves the problems of efficient use of resources in modern construction [4], taking into account various optimization criteria (minimization of mass, internal forces, etc.) and constraints (stresses, deflections, etc.).

A comprehensive approach to the design of protective structures contributes to the creation of highly functional solutions that ensure their stability, durability and compliance with modern needs. The use of methods and tools of discrete geometric shaping [5] allows to create such forms of shell structures that perform protective functions due to their geometric parameters and the nature of the distribution of internal forces under the action of given external influences, and not due to the traditional increase in the physical and mechanical characteristics of materials and the thickness of the corresponding structural elements.

1. Boyko V. Computer geometric modeling technologies as a means of motivating future builders to design activities. Scientific notes. Series: pedagogy. 2023. No 1. 277-283.
2. Gayko G., Gan A., Vapnichna V., Matviychuk I. Analysis of progressive constructive solutions of underground civil defense structures. Bridges and tunnels: theory, research, practice. 2024. No. 26. 31-40.
3. Ilchenko M., Gvozdz V., Rudeshko I., Bas O. Features of constructive solutions of protective structures of civil defense: teaching aids. Cherkasy, 2022. 130.
4. Khatkova L., Dagil V. Problems of using protective structures of civil defense in modern conditions. Collection of scientific papers of the Cherkasy Institute of Fire Safety. 2023. Book 7. No. 2. 256-265.
5. Botvinovska S. Theoretical foundations of form formation in discrete modeling of architectural and design objects. Dissertation ... Doctor of Technical Sciences. 05.01.01. K.: KNUBA, 2018. 526 p.

Типові проблеми переобладнання підвальних приміщень у найпростіші укриття з вимогами інклюзивності

Тетяна Лякіна, здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, <https://orcid.org/0009-0008-5211-3062>,

Сергій Кожедуб, канд. техн. наук, доцент кафедри споруд спеціального призначення, <https://orcid.org/0000-0001-6315-8161>,

Тетяна Веклярська, зав. лабораторії кафедри архітектурних конструкцій <https://orcid.org/0000-0002-3130-1709>

Київський національний університет будівництва та архітектури (м. Київ)

Переобладнання підвальних приміщень цивільних і громадських будівель у найпростіші укриття є одним з актуальних напрямів підвищення рівня цивільного захисту населення в умовах збройного конфлікту або надзвичайних ситуацій. Однак така реконструкція супроводжується низкою типових проблем, особливо у контексті забезпечення інклюзивності та безбар'єрного доступу.

Аналіз досвіду переобладнання підвальних приміщень у найпростіші укриття дозволив виявити наступні типові проблеми:

- недостатня висота приміщень – у більшості випадків мінімальна висота стелі в укриттях не відповідає вимогам, що ускладнює облаштування вентиляційних систем, інженерних комунікацій і створення безпечного простору для тривалого перебування людей;
- відсутність елементів безбар'єрності – більшість підвальних приміщень не обладнані пандусами, ліфтами або платформами для маломобільних груп населення, що суперечить ДБН В.2.2-40:2018 "Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення", де чітко регламентовано доступність шляхів евакуації та укриття для осіб з інвалідністю;
- невідповідність систем вентиляції та повітрообміну – згідно з ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту", укриття повинні бути забезпечені системами припливно-втяжної вентиляції з фільтрацією повітря. Проте більшість підвалів не мають подібних систем або технічно не можуть бути ними дообладнані без суттєвих реконструкцій;
- обмежені шляхи евакуації – будівельні конструкції багатьох підвальних приміщень не дозволяють влаштувати два незалежні евакуаційні виходи згідно з вимогами ДБН В.1.1-7:2016 "Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги", що знижує безпеку користування в екстрених ситуаціях;
- гідроізоляція та санітарні умови – значна частина підвалів не має належної гідроізоляції, що веде до підвищеної вологості, утворення плісняви, ускладнює дотримання гігієнічних вимог (Державні санітарні норми та правила утримання територій населених місць), а також створює ризики для здоров'я, особливо в умовах тривалого перебування.

Розв'язання проблем ефективного переобладнання підвальних приміщень у найпростіші укриття з урахуванням інклюзивності та безбар'єрності потребує комплексного підходу, що враховує конструктивні особливості об'єктів, а також вимоги інженерного забезпечення, пожежної безпеки та санітарно-гігієнічних норм. Подальше дослідження передбачає розроблення типових рішень і архітектурно-будівельних підходів з урахуванням чинної нормативно-правової бази України та кращих практик. Впровадження науково обґрунтованих результатів сприятиме підвищенню якості та безпеки міського середовища, а також оптимізації витрат на облаштування укриттів.

1. Жидкова Т., Глеба В., Гнатюк Л., Жлобницький А., Приймаченко О. Приспособлення підвальних приміщень будинків під укриття для цивільного населення. *Отір матеріалів і теорія споруд*. 2023. № 110. С. 483-495. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.483-495>
2. Трунцев Г., Овчаренко Б., Долгий А. Організаційні, правові та фінансово-економічні аспекти формування і використання фонду захисних споруд цивільного захисту України. *Evropský časopis ekonomiky a managementu*. 2021. Volume 7 Issue 2 С. 16-22. <https://doi.org/10.46340/eujem.2021.7.2.3>

Typical problems of re-equipping basements into the simplest shelters with inclusive requirements

Tetiana Liakina, first (bachelor) level higher education student, <https://orcid.org/0009-0008-5211-3062>,

Serhii Kozhedub, Ph.D., associate professor of the Special Assignment Structures Department, <https://orcid.org/0000-0001-6315-8161>,

Tetiana Vekslarska, head of laboratory of the Architectural Structures Department, <https://orcid.org/0000-0002-3130-1709>

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)

Re-equipping basements of civil and public buildings into the simplest shelters is one of the current directions for increasing the level of civil protection of the population in conditions of armed conflict or emergencies. However, such reconstruction is accompanied by a number of typical problems, especially in the context of ensuring inclusiveness and barrier-free access. The following typical problems of basement conversion can be identified:

Analysis of the experience of re-equipping basements into the simplest shelters allowed us to identify the following typical problems:

- insufficient height of the premises - in most cases, the minimum ceiling height in shelters does not meet the requirements, which complicates the arrangement of ventilation systems, engineering communications and the creation of a safe space for long-term stay of people;
- lack of barrier-free elements - most basements are not equipped with ramps, elevators or platforms for low-mobility groups of the population, which contradicts DBN V.2.2-40:2018 "Inclusiveness of buildings and structures. Basic provisions", which clearly regulates the accessibility of evacuation routes and shelters for people with disabilities;
- inconsistency of ventilation and air exchange systems - according to DBN V.2.2-5:2023 "Protective structures of civil defense", shelters must be equipped with supply and exhaust ventilation systems with air filtration. However, most basements do not have such systems or cannot technically be retrofitted with them without significant reconstruction.
- limited escape routes - the building structures of many basements do not allow for the arrangement of two independent evacuation exits in accordance with the requirements of DBN V.1.1-7:2016 "Fire safety of construction objects. General requirements", which reduces the safety of use in emergency situations;
- waterproofing and sanitary conditions - a significant part of the basements does not have proper waterproofing, which leads to increased humidity, mold formation, complicates compliance with hygiene requirements (State Sanitary Norms and Rules for the Maintenance of Territories of Settlements), and also creates health risks, especially in conditions of long-term stay.

Solving the challenges of efficiently converting basements into basic shelters with consideration for inclusivity and accessibility requires a comprehensive approach that accounts for the structural characteristics of existing facilities, as well as current requirements for engineering systems, fire safety, and sanitary standards. Further research involves developing standard solutions and architectural-construction approaches aligned with Ukraine's regulatory framework and best existing practices. The implementation of scientifically grounded results will enhance the quality and safety of the urban environment and optimize the operational and construction costs of shelter arrangements.

1. Zhydkova T., Hleba V., Hnatiuk L., Zhlobnitskyi A., Prymachenko O. Adaptation of basements of buildings for shelters for the civilian population. *Resistance of materials and theory of structures*. 2023. No. 110. P. 483-495. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2023.110.483-495> [in Ukrainian]
2. Truntsev H., Ovcharenko B., Dolhyy A. Organizational, legal and financial and economic aspects of the formation and use of the fund of protective structures of civil defense of Ukraine. *European Journal of Economics and Management*. 2021. Volume 7 Issue 2 P. 16-22. <https://doi.org/10.46340/eujem.2021.7.2.3> [in Ukrainian].

Вплив характеристик ґрунту на захист від радіації захисних споруд

Тарас Донець, доцент кафедри споруд спеціального призначення, <https://orcid.org/0000-0002-2203-5824>

Гундар Ілья, здобувач другого (магістерського) ступеня освіти, 192 «Промислове і цивільне будівництво» <https://orcid.org/0009-0002-5022-3483>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – аналіз впливу зміни характеристик ґрунту на захист від радіації захисних споруд. Розрахунки виконано згідно вимог ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту" [1]. Для виконання розрахунків з визначення ступеню послаблення радіаційного впливу $A_{\text{эф}}$ було використано характеристики ґрунту з різною щільністю та вологістю. Необхідний ступінь послаблення радіаційного впливу (ступінь захисту) $A_3 = 3000$. Для розрахунків було прийнято залізобетонну конструкцію з базовими геометричними параметрами, товщина – 35 см.

За результатами розрахунків послаблення радіаційного впливу було визначено необхідну товщину ґрунту з відповідними характеристиками для забезпечення ступеня послаблення радіаційного впливу $A_3 = 3000$ та наведено в табл.1. Результати оцінки зміни товщини ґрунту в залежності від зміни характеристик наведено в табл. 2.

Табл.1 – Визначення товщини шару ґрунту

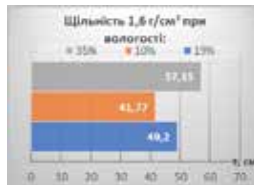
№	Щільність, г/см ³	Вологість, %	Товщина шару ґрунту, см
1	1	2	3
1	1,95	19	60
2	1,6	19	49,2
3	1,6	10	41,8
4	1,6	35	57,2
5	2,1	10	55,0
6	2,1	35	75,2
7	2,1	19	64,6

Табл.2 – Зміна товщини ґрунту

№	Базове значення	Зміна характеристик	Зміни товщини ґрунту, %
1	1	2	3
1	1,95	1,6 г/см ³	-18%
2	1,95	2,1 г/см ³	+7%
3	19%	10 %	-15%
4	1,6 г/см ³	35 %	16%
5	19%	10 %	-15%
6	2,1 г/см ³	35 %	16%



а



б



в

Рис.1 – Діаграми зміни товщини шару ґрунту: а- при вологості ґрунту 19% та різній щільності; б- при щільності 1,6 г/см³ та різній вологості; в при щільності 2,1 г/см³ та різній вологості.

За результатами проведених розрахунків та порівнянь (табл.1, рис. 1), встановлено:

- зміна вологості ґрунту впливає на зміну товщини шару ґрунту до 16% ;
- зміна щільності ґрунту впливає на зміну товщини шару ґрунту до 18%.

При цьому слід зауважити, що при збільшенні щільності та вологості ґрунту збільшується необхідна товщина шару ґрунту для забезпечення ступеню послаблення радіаційного впливу захисних споруд.

1. ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту." [Чинні від 01.11.2023] - Київ: Державне агентство з питань будівництва та житлово-комунального господарства України, - 2023. – 122 с.

Influence of soil characteristics on radiation protection of shelter structures

Taras Donets, Associate Professor of the Department of Special-Purpose Structures, <https://orcid.org/0000-0002-2203-5824>

Ilya Gundar, Master's degree student in specialty 192 "Industrial and Civil Engineering", <https://orcid.org/0009-0002-5022-3483>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The purpose of the study is to analyze the influence of soil characteristics on radiation protection in shelter structures. Calculations were carried out in accordance with the requirements of DBN B.2.2-5:2023 "Protective Structures of Civil Defense" [1].

To determine the attenuation degree of radiation impact (A_{zr}), calculations were performed using soil with various densities and moisture contents. The required radiation attenuation factor (protection level) was $A_z = 3000$.

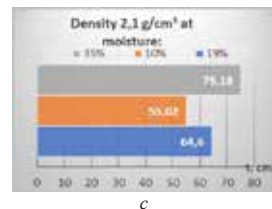
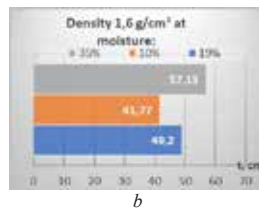
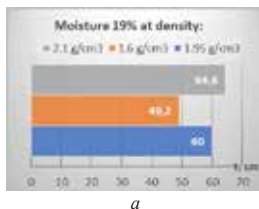
A reinforced concrete structure with basic geometric parameters and a thickness of 35 cm was used for the calculations. Based on the results of the calculations, the required thickness of soil with respective characteristics ensuring $A_z = 3000$ was determined and is presented in Table 1. The results of the assessment of soil thickness variation depending on changes in characteristics are shown in Table 2.

Table 1 – Determination of soil Layer Thickness

№	Density, g/cm ³	Moisture, %	Soil layer thickness, cm
1	2	3	
1	1,95	19	60
2	1,6	19	49,2
3	1,6	10	41,8
4	1,6	35	57,2
5	2,1	10	55,0
6	2,1	35	75,2
7	2,1	19	64,6

Table 2 – Variation in soil level Thickness

№	Base value	Changed value	Thickness Change, %
1	2	3	
1	1,95 g/cm ³	1,6 g/cm ³	-18%
2	1,95 g/cm ³	2,1 g/cm ³	+7%
3	19% at	10 %	-15%
4	1,6 g/cm ³	35 %	16%
5	19% at	10 %	-15%
6	2,1 g/cm ³	35 %	16%



Pic.1 – Diagrams of soil layer thickness variation: a) at 19% soil moisture and different densities; b) at 1,6 g/cm³ density and different moisture levels; c) at 2,1 g/cm³ density and different moisture levels.

According to the results of the calculations and comparisons (Table 1, Fig. 1), it was found that:

- a change in soil moisture affects the variation in the required soil layer thickness by up to 16%;
- a change in soil density affects the variation in soil layer thickness by up to 18%.

It should be noted that with increasing soil density and moisture content, the required thickness of the soil layer increases to ensure the necessary level of radiation attenuation in protective structures.

Технологія зведення монолітних залізобетонних конструкцій в умовах жаркого клімату

Ганна Шпакова, доктор. економ. наук, професор кафедри будівельних технологій, <http://orcid.org/0000-0003-2124-0815>

Андрій Шпаков, доктор. економ. наук, професор кафедри менеджменту в будівництві, <http://orcid.org/0000-0002-7498-4271>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Будівництво в умовах жаркого клімату залишається одним з найскладніших викликів для сучасних технологій зведення монолітних залізобетонних конструкцій. Висока температура повітря (понад +30°C), інтенсивна сонячна радіація та низька відносна вологість (менше 30%) призводять до прискороного випаровування води з бетонної суміші, порушення процесів гідратації цементу та утворення значних усадочних тріщин.

Частка дефектів залізобетонних конструкцій, зведених в жаркому кліматі, на 40% вища порівняно з конструкціями, збудованими в помірному кліматі. Це обумовлює необхідність розробки спеціальних технологічних рішень, що забезпечать якість та довговічність залізобетонних конструкцій в складних кліматичних умовах. Прискорена гідратація цементу в перші години твердіння призводить до формування структури з підвищеною пористістю, що знижує міцність та довговічність бетону. Так збільшення температури бетонної суміші з +20°C до +40°C скорочує час початку схоплювання в 2-3 рази, що ускладнює процес транспортування та укладання бетону [1].

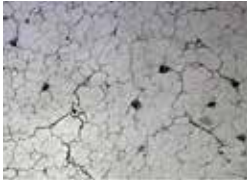


Рис. 1. Утворення тріщин на бетонній поверхні.



Рис. 2. Використання льоду для затворення бетонної суміші.

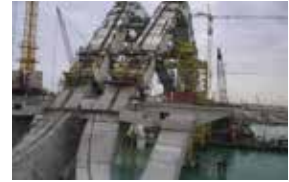


Рис. 3. Будівництво мосту Sheikh Zayed Bridge (OAE). (Надано Abu Dhabi Municipality)

Заходи з модифікації складу бетону шляхом введення суперпластифікаторів в поєднанні з сповільнювачами твердіння дозволяють підтримувати необхідну рухомість суміші протягом 2-3 годин при температурі +35...+40°C.

Але існують і технологічні прийоми, такі як охолодження заповнювачів шляхом зрошення водою або зберігання під спеціальними навісами (знижує температуру суміші на 3-5°C); використання льоду замість частини води затворення (до 70% маси води) (рис. 2); застосування рідкого азоту для швидкого охолодження в особливо відповідальних конструкціях [2]. Наприклад, при будівництві хмарочоса Kingdom Tower в Дждидді (Саудівська Аравія) використовується технологія з повною заміною води льодом та охолодженням заповнювачів у спеціальних холодильних камерах, що дозволяє отримати бетонну суміш з температурою +22°C при температурі навколишнього середовища +42°C, а при будівництві мосту Sheikh Zayed Bridge в Абу-Дабі (рис. 3) була розроблена комплексна система догляду, яка включала покриття конструкцій спеціальними термоізоляційними матами з вбудованою системою зволоження.

1. Шпакова Г.В., Корнійчук Д.В. (2024). Український попередньо напружений залізобетон. *XVII всеукраїнська науково-технічна конференція «Сталі розвиток міст: поствоєнний період»*, ХНУМГ, Харків. С.26-27.
2. Гришук В.С., Петренко Л.А. (2019). Міцність та тріщиностійкість попередньо напруженого залізобетону. *Журнал інженерних наук*, 5(57). С. 78-85.

Technology for the construction of monolithic reinforced concrete structures in hot climates

Hanna Shpakova, Doctor (Econ.), Professor of the Department of Building Technologies, <http://orcid.org/0000-0003-2124-0815>

Andrey Shpakov Doctor (Econ.), Associate Professor, Department of Management in Construction, <http://orcid.org/0000-0002-7498-4271>

Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture (Kyiv)

Construction in hot climates remains one of the most difficult challenges for modern technologies for the construction of monolithic reinforced concrete structures. High air temperature (over +30°C), intense solar radiation and low relative humidity (less than 30%) lead to accelerated evaporation of water from the concrete mix, disruption of cement hydration processes and the formation of significant shrinkage cracks.

The proportion of defects in reinforced concrete structures built in hot climates is 40% higher than in structures built in temperate climates. This necessitates the development of special technological solutions that will ensure the quality and durability of reinforced concrete structures in difficult climatic conditions. Accelerated hydration of cement in the first hours of hardening leads to the formation of a structure with increased porosity, which reduces the strength and durability of concrete. Thus, increasing the temperature of the concrete mixture from +20°C to +40°C reduces the time for the onset of setting by 2-3 times, which complicates the process of transporting and placing concrete [1].

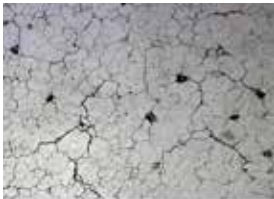


Fig. 1. Crack formation on a concrete surface.



Fig. 2. Using ice to form a concrete mix.



Fig. 3. Construction Sheikh Zayed Bridge (OAE). (Courtesy of Abu Dhabi Municipality)

Measures to modify the composition of concrete by introducing superplasticizers in combination with hardening retardants allow maintaining the necessary mobility of the mixture for 2-3 hours at a temperature of +35...+40°C.

But there are also technological techniques, such as cooling aggregates by spraying with water or storing them under special canopies (reduces the temperature of the mixture by 3-5°C); using ice instead of part of the formation water (up to 70% of the water mass) (Fig. 2); using liquid nitrogen for rapid cooling in particularly critical structures [2]. For example, during the construction of the Kingdom Tower skyscraper in Jeddah (Saudi Arabia), technology is used with complete replacement of water with ice and cooling of aggregates in special refrigeration chambers, which allows obtaining a concrete mix with a temperature of +22°C at an ambient temperature of +42°C, and during the construction of the Sheikh Zayed Bridge in Abu Dhabi (Fig. 3), a comprehensive maintenance system was developed, which included covering the structures with special thermal insulation mats with a built-in humidification system.

1. Shpakova H.V., Korniichuk D.V. (2024). Ukrainskiyi poperedno napruzheniyi zalizobeton. KhVII vseukrainska naukovo-tehnicna konferentsiia «Stalyi rozvytok mist: postvoieniyi period», KhNUMH, Kharkiv. S.26-27.
2. Hryshchuk V.S., Petrenko L.A. (2019). Mitsnist ta trishchynostiikist poperedno napruzhenoho zalizobetonu. Zhurnal inzhenernykh nauk, 5(57). S. 78-85.

Несуча здатність балок з комбінованим армуванням металевою та базальтопластиковою арматурою

Олександр Валовой, канд. техн. наук, професор кафедри промислового цивільного і міського будівництва, <https://orcid.org/0009-0004-2939-3028>;

Максим Валовой, канд. техн. наук, доцент кафедри промислового цивільного і міського будівництва, <https://orcid.org/0009-0004-4623-4248>;

Ігор Малій, аспірант кафедри промислового цивільного і міського будівництва, <https://orcid.org/0009-0005-7253-8007>

Криворізький національний університет (м. Кривий Ріг)

Для встановлення впливу армування згинальних конструкцій комбінацією металевої та базальтопластикової арматури на показники їх міцності були запроєктовані та виготовлені дослідні зразки балок. Бетон класу С25/30 був використаний для виготовлення зразків. Для дослідження впливу співвідношення арматури на міцність було створено шість серій зразків з різними пропорціями металевої та базальтопластикової арматури: 27%/73%, 73%/27%, 39%/61%, 61%/39%, 80%/20% та 20%/80%. В кожному співвідношенні перше число відображає відсоток металевої арматури, а друге – базальтопластикової. Випробування зразків було здійснено на статичний вплив навантаження відповідно до діючих норм [1].

Роботу балок під навантаженням можна поділити на дві фази: до та після початку текучості металевої арматури. До рівня навантаження 40-50% від руйнівного балки поводяться як зразки з металевою арматурою через її домінуючий вплив. На другому етапі, після початку процесу текучості металу арматури, основне навантаження починає сприймати базальтопластикова арматура, що призводить до збільшення тріщин та прогинів. В переважній більшості випадків руйнування відбувалося через зминання бетону стиснутої зони та частковим розривом базальтопластикової арматури.

У балках, де домінувала металева арматура, початкове тріщиноутворення відбувалося при рівнях навантаження, що майже збігалися з показниками контрольних зразків, армованих виключно металевою арматурою [2]. Це свідчить про те, що на початковому етапі навантаження металева арматура відіграє вирішальну роль в силовому опорі.

Важливим фактором, що впливає на міцність балок, є відсоток армування. Арматура, розташована в розтягнутій зоні, ефективно сприймає розтягуючі зусилля, що призводить до розвантаження перерізу та збільшення висоти стиснутої зони. Це, своєю чергою, сприяє зменшенню напружень у стиснутій зоні, підвищуючи загальну міцність конструкції.

Найменший приріст міцності, що коливався в межах 33-41%, спостерігався у балках, які мали відносно низький відсоток армування – 0.89%. Це свідчить про те, що недостатня кількість арматури обмежує потенціал збільшення несучої здатності.

Однак, зі збільшенням відсотка армування спостерігалось пропорційне зростання показників міцності. Оптимальним значенням, що забезпечує найкраще співвідношення між кількістю арматури та приростом міцності, було визначено 1.07%. Балки з означеним відсотком армування продемонстрували приріст міцності в діапазоні 61-70%.

Аналіз результатів показників міцності, виявив значний позитивний вплив заміни традиційної металевої арматури на базальтопластикову, а також застосування змішаного армування на несучу здатність дослідних зразків. Зокрема, було зафіксовано збільшення несучої здатності в діапазоні від 33% до 74% порівняно з контрольною серією [2]. Цей результат підкреслює ефективність використання композитних матеріалів у будівництві.

1. ДСТУ Б В.2.6-7-95 (ГОСТ 8829-94). Вироби будівельні бетонні та залізобетонні збірні. Методи випробувань навантаженням. Правила оцінки міцності, жорсткості та тріщиностійкості. – К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 34с.
2. Valovoi A., Koval P., Eremenko A., Valovoi M., Volkov S., “Durability of beams with hybrid reinforcement from metal and basalt fiber reinforced polymer (BFRP) armature”, MATEC Web of Conferences 230, 02035 (2018) <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002035>.

Load-Bearing Capacity of Beams Reinforced with a Combination of Steel and Basalt Fiber Reinforcement

Oleksandr Valovoi, PhD in Technical Sciences, Professor of the Department of Industrial, Civil, and Urban Construction, <https://orcid.org/0009-0004-2939-3028>

Maksym Valovoi, PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial, Civil, and Urban Construction, <https://orcid.org/0009-0004-4623-4248>

Ihor Maliy, PhD Student at the Department of Industrial, Civil, and Urban Construction, <https://orcid.org/0009-0005-7253-8007>

Kyryvy Rih National University (Kyryvy Rih, Ukraine)

To assess the impact of combining steel and basalt fiber reinforcement in flexural members on their strength performance, experimental beam specimens were designed and fabricated. Concrete of class C25/30 was used for specimen production. Six series of specimens were prepared with varying ratios of steel to basalt fiber reinforcement: 27%/73%, 73%/27%, 39%/61%, 61%/39%, 80%/20%, and 20%/80%. In each ratio, the first number represents the percentage of steel reinforcement, and the second denotes basalt fiber reinforcement. The samples were tested under static loading according to the applicable standards [1].

The behavior of beams under load can be divided into two stages: before and after the onset of yielding in the steel reinforcement. Up to 40–50% of the ultimate load, the beams behave similarly to those reinforced solely with steel, due to the dominant role of the steel reinforcement. In the second stage, after steel yielding begins, the basalt fiber reinforcement takes on the primary load, resulting in increased cracking and deflections. In most cases, failure occurred due to concrete crushing in the compression zone and partial rupture of the basalt fiber reinforcement.

In beams where steel reinforcement was dominant, the initial formation of cracks occurred at load levels nearly identical to those of control specimens reinforced exclusively with steel [2]. This indicates that at early loading stages, steel reinforcement plays a critical role in structural resistance.

A key factor influencing beam strength is the reinforcement ratio. Reinforcement in the tension zone effectively resists tensile forces, reducing stress in the cross-section and increasing the height of the compression zone. This, in turn, lowers compressive stresses and enhances the overall strength of the structure.

The lowest strength gain, ranging from 33% to 41%, was observed in beams with a relatively low reinforcement ratio of 0.89%. This suggests that insufficient reinforcement limits the potential for increasing load-bearing capacity.

However, as the reinforcement ratio increased, strength indicators improved proportionally. The optimal ratio providing the best balance between reinforcement quantity and strength gain was identified as 1.07%. Beams with this reinforcement ratio demonstrated strength gains of 61% to 70%.

An analysis of the strength results revealed a significant positive effect of replacing traditional steel reinforcement with basalt fiber, as well as the effectiveness of hybrid reinforcement in enhancing the load-bearing capacity of test specimens. In particular, an increase in load-bearing capacity ranging from 33% to 74% was recorded compared to the control series [2]. These findings underscore the potential of composite materials in construction.

1. DSTU B V.2.6-7-95 (GOST 8829-94). Precast Concrete and Reinforced Concrete Products. Methods of Load Testing. Rules for Assessing Strength, Stiffness, and Crack Resistance. – Kyiv: State Committee of Ukraine for Urban Development and Architecture, 1997. – 34 p.
2. Valovoi A., Koval P., Eremenko A., Valovoi M., Volkov S., “Durability of beams with hybrid reinforcement from metal and basalt fiber reinforced polymer (BFRP) armature”, MATEC Web of Conferences 230, 02035 (2018) (<https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002035>).

Аналіз надійності розрахункових моделей підсиленних згинальних залізобетонних елементів

Олексій Постернак, асистент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-5646-6788>

Михайло Постернак, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0003-3894-1386>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

При розрахунку будівельних конструкцій найчастіше використовують детерміновані розрахунку, приймаючи різні спрощення та допущення, котрі дозволяють перейти з реальної конструкції до розрахункової моделі. Під час цього накопичуються фактори, що і призводить до неточності результатів моделювання. Відхилення моделі можуть виникати і накопичуватися на всіх етапах розрахунку. І дуже часто ці відхилення мають випадковий характер, що спричинює необхідність використання імовірнісного підходу до розрахунку, або так званий ймовірнісний розрахунок.

Особливо для розрахунку підсиленних конструкцій, де кількість мінливих факторів більша, ніж при розрахунку нових конструкцій. Наприклад необхідно враховувати додаткові фактори, такі, як неповне розвантаження конструкцій, залишкові деформації, дефекти бетону, корозію, вік, фізико-механічні та реологічні характеристики матеріалів підсиленої конструкції та елементу підсилення, наявність піддатливості контактної шва та способів з'єднання елементів підсилення. Тому на практиці при проектуванні підсиленних конструкцій здебільшого використовують наближені методи розрахунку, що приводять до значних перевищень матеріалів

Ймовірнісний розрахунок враховує невизначеність і варіації в параметрах, таких як зміни в якості матеріалів, коливання навантажень, вплив навколишнього середовища тощо. Ймовірнісний розрахунок дозволяє оцінити ризики і ймовірності виникнення різних сценаріїв, що може бути особливо корисним для складних або критично важливих конструкцій. Він допомагає забезпечити більш точну оцінку надійності та безпеки.

Використовуючи ймовірнісний розрахунок, детермінований розрахунок та експериментальні дані, можна виконати аналіз надійності розрахункових моделей, в тому числі підсиленних згинальних залізобетонних елементів.

Для аналізу експериментальних досліджень різних авторів підбір дослідних зразків виконували за умови подібності геометричних розмірів балок підсилення. Параметри, такі як основне армування, армування підсилення, висота підсилення, міцнісні та деформативні характеристики основного бетону і елементів підсилення відрізняються в допустимих межах для дослідження надійності.

Використовуючи даний підхід, був виконаний аналіз розрахункових моделей підсиленних залізобетонних згинальних елементів різними методами.

1. Nadolski V. Model uncertainties in resistance of steel members./ Nadolski V., Sykora M // Safety and Reliability of Complex Engineered Systems /Zürich – 2015 – p. 4189-4192.
2. Постернак О.М., Постернак М.М. Вплив невизначеності розрахункової моделі підсиленних згинальних елементів.//Збірник наукових праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика». КНУБА Вип. 10, 2022, 158-165с. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.10.2022.158-165c>.

Reliability analysis of design models of reinforced bending reinforced concrete elements.

Oleksii Posternak, assistant of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, <https://orcid.org/0000-0002-5646-6788>

Mykhailo Posternak, associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, <https://orcid.org/0000-0003-3894-1386>

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)

In the design of building structures, deterministic calculations are most often used, making various simplifications and assumptions that allow you to move from the real structure to the design model. In the process, factors accumulate, which leads to inaccurate modelling results. Model deviations can occur and accumulate at all stages of the calculation. And very often, these deviations are random, which necessitates the use of a probabilistic approach to calculation, or the so-called probabilistic calculation. Especially for the calculation of reinforced structures, where the number of variable factors is greater than when calculating new structures. For example, it is necessary to take into account additional factors such as incomplete unloading of structures, residual deformations, concrete defects, corrosion, age, physical, mechanical and rheological characteristics of the materials of the reinforced structure and reinforcement element, the presence of pliability of the contact seam and methods of connecting the reinforcement elements. Therefore, in practice, when designing reinforced structures, approximate calculation methods are mostly used, which lead to significant material overruns

Probabilistic calculation takes into account uncertainty and variations in parameters, such as changes in material quality, load fluctuations, environmental effects, etc. Probabilistic calculation allows you to assess the risks and probabilities of different scenarios, which can be especially useful for complex or critical structures. It helps to provide a more accurate assessment of reliability and safety.

Using probabilistic calculation, deterministic calculation and experimental data, it is possible to analyse the reliability of design models, including reinforced bending concrete elements.

For the analysis of experimental studies by different authors, the selection of test specimens was based on the similarity of the geometrical dimensions of the reinforcement beams. Parameters such as the main reinforcement, reinforcement reinforcement, reinforcement height, strength and deformation characteristics of the main concrete and reinforcement elements differ within acceptable limits for reliability studies.

Using this approach, the design models of reinforced concrete bending elements were analysed using different methods.

1. V.Nadolski . Model uncertainties in resistance of steel members./ Nadolski V., Sykora M // Safety and Reliability of Complex Engineered Systems /Zürich – 2015 – p. 4189-4192.
2. Posternak O.M., Posternak M.M. The influence of the non-deterministic design model of the reinforced bending elements. //Collection of scientific papers "Building structures. Theory and practice". KNUBA, Issue 10, 2022, 158-165 pp. Theory and practice". KNUBA, Issue 10, 2022, 158-165 pp. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.10.2022.158-165>

Можливості використання технології пневматичної опалубки у сучасному будівництві

Даниїл Прокопенко, аспірант кафедри будівельних технологій, <https://orcid.org/0009-0001-6085-2032>

Ганна Шпакова, докт.екон.наук, професор кафедри будівельних технологій, <https://orcid.org/0000-0003-2124-0815>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – проаналізувати існуючі варіанти використання технології пневматичної опалубки, виявити основні переваги та недоліки використання даної технології в умовах сучасного будівництва.

У зв'язку з постійним пошуком інноваційних рішень у сфері будівництва, технологія пневматичної опалубки стає все більш популярною. Вона набуває актуальності в умовах зростаючих вимог до екологічності та мобільності будівельних технологій, а також при будівництві в обмежених міських просторах та дозволяє створювати складні архітектурні форми при мінімальних витратах матеріалів і часу.

- Технологія PFHC (Pneumatic Forming of Hardened Concrete) дала змогу створювати бетонні оболонки у формі біншелів – тонкостінних, самонесучих куполів.
- У будівництві метрополітену пневмоопалубка використовується для створення аркових перекриттів та тунельних обшивок, забезпечуючи швидке зведення.
- У проектах каналізаційних труб вона дозволяє формувати довговічні оболонки з мінімальним обсягом земляних робіт.
- У підземних сховищах (військового та цивільного призначення) пневматична опалубка дозволяє створювати захищені конструкції з високою міцністю при зниженій вартості.
- Пневматичні форми застосовуються для створення павільйонів, арт-інсталяцій та інших об'єктів культурного призначення. Така технологія дозволяє реалізувати унікальні архітектурні ідеї з мінімальним втручанням у навколишнє середовище.

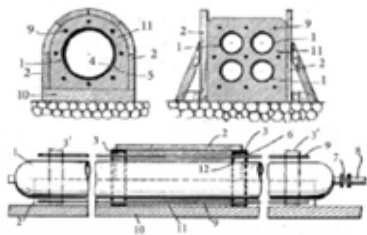


Рис.1 – Використання пневматичної опалубки для каналізаційних труб



Рис.2 – Біншел. Сучасний котедж, зведений за використанням пневматичної опалубки

Технологія пневматичної опалубки має широкий спектр застосування в сучасному будівництві — від архітектурних експериментів до серйозних інфраструктурних проектів. Її впровадження сприяє зниженню вартості будівництва, пришвидшенню процесів зведення та розвитку енергоефективних, сталих конструкцій.

1. Shpakova, N., & Prokopenko, D. (2024). Технологія влаштування тунелів неглибокого закладання з використанням пневматичної опалубки. Шляхи підвищення ефективності будівництва, 1(53), 103–110. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53\(1\).103-110](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(1).103-110)
2. van Hennik, P.C., Houtman, R. (2008). Pneumatic Formwork for Irregular Curved Thin Shells. In: Oñate, E., Kröplin, B. (eds) Textile Composites and Inflatable Structures II. Computational Methods in Applied Sciences, vol 8. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6856-0_7

Applications of Pneumatic Formwork Technology in Contemporary Construction

Danyil Prokopenko, PhD student, Department of Construction Technologies, <https://orcid.org/0009-0001-6085-2032>

Hanna Shpakova, DSc in Economics, Professor Department of Construction Technologies <https://orcid.org/0000-0003-2124-0815>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The aim of the study is to analyze existing applications of pneumatic formwork technology and to identify its key advantages and disadvantages within the context of modern construction.

Due to the continuous search for innovative solutions in the construction sector, pneumatic formwork technology is becoming increasingly popular. It has gained relevance in light of growing demands for environmentally friendly and mobile construction methods, particularly in densely populated urban environments. This technology enables the creation of complex architectural forms while minimizing material use and construction time.

- The PFHC (Pneumatic Forming of Hardened Concrete) method has enabled the creation of thin-shell, self-supporting concrete domes, also known as Binishells.
- In metro construction, pneumatic formwork is employed to form arched ceilings and tunnel linings, enabling fast and efficient progress.
- For sewage pipeline projects, this technology allows for the creation of durable concrete shells with minimal excavation work.
- In underground storage construction, both military and civilian, pneumatic formwork makes it possible to build robust, protected structures at a lower cost.
- Pneumatic forms are also used for creating pavilions, art installations, open-air stages, and other culturally oriented structures. This technology allows for the realization of unique architectural ideas with minimal environmental impact.

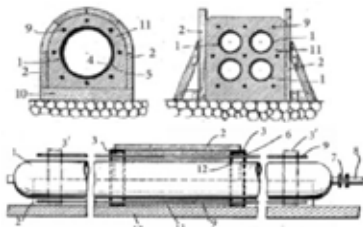


Fig. 1 – Use of Pneumatic Formwork for Sewer Pipes



Fig. 2 – Binishell. A Modern Cottage Constructed

Pneumatic formwork technology demonstrates a wide range of applications in modern construction — from architectural experimentation to large-scale infrastructure projects. Its implementation contributes to reducing construction costs, accelerating building processes, and fostering the development of energy-efficient, sustainable structures.

1. Shpakova, H., & Prokopenko, D. (2024). Shallow tunnel construction technology using pneumatic formwork. *Ways to Improve Construction Efficiency*, 1(53), 103–110. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53\(1\).103-110](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.53(1).103-110)
2. van Hennik, P.C., Houtman, R. (2008). Pneumatic Formwork for Irregular Curved Thin Shells. In: Oñate, E., Kröplin, B. (eds) *Textile Composites and Inflatable Structures II. Computational Methods in Applied Sciences*, vol 8. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6856-0_7

Випробування залізобетонних конструкцій пошкоджених під час пожежі

Олександр Глітін, канд. техн. наук, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0003-1697-6473>;

Олег Сонько, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0002-3604-8316>;

Олексій Кравченко, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0007-8171-2921>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження –аналіз стану залізобетонних плит перекриття пошкоджених пожежею, що виникла внаслідок вибуху боєприпасу, і надання рекомендацій для можливої подальшої експлуатації. Загальний вигляд випробувальної конструкції та методи вимірювання навантаження наведені на рис. 1 та 2.



Рис.1 - Загальний вигляд випробувальної конструкції



Рис.2 – Вимірювання навантаження під час експерименту

Навантаження проводилось шляхом встановлення басейну та заповнення його водою. Перед початком випробування були визначенні висотні відмітки в припорних та середніх зонах плити перекриття. Навантаження проводилось з поступовим наповненням водою в басейні по 150 мм. з перервами для стабілізації та фіксації прогинів залізобетонної панелі. Клас бетону С 35/40. Армування плити зварна сітка Ø 3 мм. з кроком 100x100 мм.

Випробування показали:

- плити, під час пожежі, не втратили своєї пружності.;
- найбільше переміщення плити складало 10 мм.

1. Vabischevich, M., Dedov, O., & Glitin, O. (2019). Numerical-experimental research of technological equipment foundations in dynamic impact conditions. *Technology Audit and Production Reserves*, 5(1(49)), 32–35. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.20191.183264>
2. Белов І.Д., Глітін О.Б., Юрченко В.В., та ін. (2009). Випробування конструкції ферми із гнутих тонкостінних елементів відкритого профілю. Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. К.: Вид-во «Сталь», 2009, вип. 3 – С. 136-145.

Testing of reinforced concrete structures damaged by fire

Oleksandr Glitin, Associate Professor of the Department of Metal and wooden structures
<https://orcid.org/0000-0003-1697-6473>

Oleh Sonko, postgraduate student of the Department of Metal and wooden structures
<https://orcid.org/0009-0002-3604-8316>

Oleksii Kravchenko, postgraduate student of the Department of Metal and wooden structures
<https://orcid.org/0009-0007-8171-2921>

Kyiv National University of Construction and Architecture

Research Objective – to analyze the condition of reinforced concrete floor slabs damaged by a fire caused by a munition explosion, and to provide recommendations for their possible further operation. The general view of the test structure and the load measurement methods are shown in Fig. 1 and 2.



Fig. 1 – General view of the test structure



Fig. 2 – Load measurement during the experiment

The load was applied by installing a pool and gradually filling it with water. Before the test began, elevation marks were determined in the support and central zones of the floor slab. The load was applied by gradually filling the pool with water in 150 mm increments, with pauses for stabilization and measurement of deflections of the reinforced concrete panel.

Concrete class: C 35/40.

Slab reinforcement: welded mesh \varnothing 3 mm. with a spacing of 100×100 mm.

Test results showed:

- The slabs did not lose their elasticity during the fire.
- The maximum slab deflection was 10 mm.

1. Vabishevich, M., Dedov, O., & Glitin, O. (2019). Numerical-experimental research of technological equipment foundations in dynamic impact conditions. *Technology Audit and Production Reserves*, 5(1(49)), 32–35. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.20191.183264>
2. Belov, I.D., Glitin, O.B., Yurchenko, V.V., et al. (2009). Experimental research of steel roof truss with structural members of cold-formed thin-walled profiles of open cross-section. *Collection of Scientific Papers of the V.M. Shimanovsky Ukrainian Research and Design Institute of Steel Construction*. Kyiv: "Stal" Publishing House, Issue 3, pp. 136–145.

Підсилення збірних залізобетонних круглопорожнистих плит перекриття при переобладнанні підвальних приміщень існуючих цивільних будівель в приміщення подвійного призначення

Анна Азізова, аспірантка будівництва та цивільної інженерії, <https://orcid.org/0000-0001-6282-5460>

Роман Стрюк, аспірант будівництва та цивільної інженерії, <https://orcid.org/0009-0005-2674-8177>

Дмитро Овсій, Ph.D, старший викладач будівництва та цивільної інженерії, <https://orcid.org/0000-0001-7065-3312>

Національний університет “Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка” (м. Полтава)

При реконструкції, ревіталізації підвальних приміщень існуючих цивільних будівель під приміщення подвійного призначення для захисту людей необхідно виконати комплекс об'ємно-планувальних, конструктивних і організаційних заходів, одним із яких є підсилення збірних залізобетонних плит перекриття підвальної частини об'єктів. Типові перекриття підвальних приміщень існуючих цивільних будівель улаштовані у більшості випадків із збірних залізобетонних плоских плит із круглими чи іншою конфігурації пустотами.

Авторами тез була розроблена методика розрахунку і проектування підсилення розрахункових перерізів збірних залізобетонних круглопорожнистих плит перекриття, які підсилені одночасно додатковими залізобетонними шаром в стиснутій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної затяжки чи поздовжній арматурних стрижнів. Запропонована методика розрахунку і проектування підсилення збірних залізобетонних плит перекриття дозволяє враховувати наявне армування в стисненій, розтягнутій та приопорних зонах; забезпечувати міцність на згин і зсув у розрахункових перерізах, включно з ділянкою між плитою і додатковим шаром надбетонування з урахуванням напружено-деформованого стану; оптимізувати технологію та послідовність монтажу з мінімальними витратами конструктивних компонентів. В результаті розрахунків були отримані величини значень коефіцієнту сумарного армування (ρ_b) нижньої розтягнутої зони складеного перерізу збірних залізобетонної круглопорожнистої плити перекриття залежно від товщини та класу бетону шару надбетонування і величини їх розрахункового прогону (L) для приміщень укріття класів І-IV (дивись приклад величин коефіцієнтів армування нижче в таблиці).

Таблиця – Величини коефіцієнтів сумарного армування (ρ_b) (при $f_s=365$ МПа) нижньої розтягнутої зони складеного перерізу збірної залізобетонної круглопорожнистої плити перекриття шириною перерізу $b=1$ м, яка підсилена одночасно додатковими шаром бетону марки М400 (клас С25/30) і М700 (С45/55), товщиною $d=110$ мм; 200 мм і 300 мм в стисненій зоні та армуванням в розтягнутій зоні у вигляді шпренгельної затяжки, залежно від величини її розрахункового прогону (L) при переобладнанні підвального приміщення в приміщення подвійного призначення під укріття IV-го класу, яке повинне сприймати квазістатичне еквівалентне розрахункове навантаження $q=P_1=133,75$ кПа (при $\Delta P_{ex}=100$ кПа згідно діючих норм [1]), в процентах (%) від загальної площі складеного розрахункового перерізу плити.

Таблиця 1

Товщина шару d та марка бетону		Величина розрахункового прогону залізобетонної плити (L), м						
		3,0	3,6	4,8	5,4	6,0	6,3	7,2
110 мм	M400	0,96	1,38	3,10	3,46	3,85	4,26	5,67
	M700	0,97	1,416	3,26	3,65	4,08	4,53	6,13
200 мм	M700	0,535	0,782	1,42	1,83	2,30	2,57	3,53
300 мм	M400	0,315	0,46	0,837	1,075	1,35	1,51	2,073
	M700	0,32	0,49	0,853	1,10	1,40	1,56	2,16

Strengthening of prefabricated reinforced concrete slabs with round voids during the reconstruction of basement rooms of existing civil buildings into dual-purpose premise

Anna. Azizova, postgraduate student of the department of building and civil engineering, <https://orcid.org/0000-0001-6282-5460>

Roman. Striuk, postgraduate student of the department of building and civil engineering, <https://orcid.org/0009-0005-2674-8177>

Dmutro. Ovsii, Ph.D, senior lecturer of the department of building and civil engineering, <https://orcid.org/0000-0001-7065-3312>

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava

During the reconstruction and revitalization of basements in existing civil buildings into dual-purpose shelters for human protection, a set of spatial, structural, and organizational measures must be implemented. One of the key measures is the strengthening of precast reinforced concrete floor slabs in the basement areas. Typically, basement floors in such buildings consist of precast flat reinforced concrete hollow-core slabs with circular or other void shapes.

The authors have developed a methodology for calculating and designing the strengthening of hollow-core precast reinforced concrete slabs, reinforced simultaneously with an additional concrete layer in the compressed zone and reinforcement in the tension zone in the form of a strut tie or longitudinal rebar. The proposed methodology accounts for existing reinforcement in compressed, tension, and support zones; ensures bending and shear strength in critical sections, including the interface between the slab and added concrete layer, considering the stress-strain state; and optimizes construction technology and installation sequence with minimal use of strengthening components.

As a result, values of the total reinforcement ratio (ρ_b) in the lower tension zone of the composite cross-section of precast hollow-core slabs were obtained depending on the thickness and concrete grade of the added layer and the calculated span (L) for shelter rooms of classes I-IV (see sample reinforcement ratio values in the table below).

Table – Values of total reinforcement ratio (ρ_b) (for $f_s=365$ MPa) in the lower tension zone of a composite cross-section of a 1-meter wide precast hollow-core reinforced concrete slab, strengthened with a concrete layer of grade M400 (class C25/30) and M700 (C45/55), with thickness $d=110$ mm, 200 mm, and 300 mm in the compressed zone, and strut tie reinforcement in the tension zone, depending on span (L) during the conversion of a basement into a class IV dual-purpose shelter designed to resist quasi-static equivalent load $q=P1=133.75$ kPa (at $\Delta P_{ex}=100$ kPa according to current regulations [1]), expressed as a percentage (%) of the total area of the composite slab cross-section.

Table 1

Layer thickness (d) and concrete grade		The value of the calculated span of the PRC slab (L), m						
		3,0	3,6	4,8	5,4	6,0	6,3	7,2
110 MM	M400	0,96	1,38	3,10	3,46	3,85	4,26	5,67
	M700	0,97	1,416	3,26	3,65	4,08	4,53	6,13
200 MM	M700	0,535	0,782	1,42	1,83	2,30	2,57	3,53
300 MM	M400	0,315	0,46	0,837	1,075	1,35	1,51	2,073
	M700	0,32	0,49	0,853	1,10	1,40	1,56	2,16

Забезпечення електроживлення об'єктів спеціального призначення

Наталія Бурдейна, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри фізики, <https://orcid.org/0000-0002-2812-1387>;

Ярослав Підлісний, аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, <https://orcid.org/0009-0008-4906-3164>;

Дмитро Осадчий, аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, <https://orcid.org/0009-0002-9977-8738>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Якість електроенергії за синусоїдальністю та амплітудами гармонік та інтергармонік є критичною з точки зору стабільності роботи електронного обладнання та впливу на людей [1, 2]. При цьому придушення гармонік та інтергармонік електричного струму промислової частоти є складною технічною задачею [3]. Особливо актуальним це є для об'єктів спеціального призначення, таких як сховища цивільного захисту, щити керування об'єктами критичної інфраструктури тощо. На таких об'єктах значна частина електричного та електронного обладнання має нелінійні вольт-амперні характеристики. Це автоматично призводить до появи у силовій мережі гармонік електричного струму промислової частоти кратних трьом. Крім того можливі виникнення канонічних і неканонічних інтергармонік. При цьому виникає дві проблеми – збої у роботі електронного обладнання і негативний вплив на людей.

За внеску нелінійних споживачів у загальне енергонавантаження більше 20 %, амплітуди вищих гармонік промислової частоти можуть перевищувати амплітуду основної гармоніки. Це не відповідає існуючим національним та міжнародним нормативам. Така ситуація найбільш характерна під час застосування резервних джерел електроживлення. Крім зниження частоти має місце спотворення синусоїдальності напруги і сили струму. Це автоматично призводить до зміни гармонічного складу струму живлення непередбаченим чином. Тому передумовою застосування заходів нормалізації електроживлення є визначення параметрів роботи резервних генераторів як за максимальною потужністю, так і за синусоїдальності генерації.

Мінімальною вимогою для нормалізації електроживлення є повна ревізія системи компенсації реактивної потужності. Також треба чітко забезпечити відхилення по електронавантаженню на окремі фази трифазної мережі з відхиленнями не більше 10 %. Для придушення гармонік та інтергармонік промислової частоти розроблено достатньо просту конструкцію зі зворотними зв'язками. Компактний трансформатор автоматично реагує на появу небажаних напруг (за частотою і амплітудою). Через зворотний зв'язок блок управління автоматично дає команду компенсувати такі напруги. У реальних умовах це забезпечує амплітуди вищих гармонік промислової частоти на рівні 3–4 %. Для стандартних дизельних генераторів з великими коливаннями навантаження це можна вважати задовільним. Додатковим заходом покращення електромагнітної обстановки з точки зору зниження рівнів магнітних полів є ліквідація усіх електрострумів витоку як на нульовий робочий провідник трифазної системи електроживлення, так і на природні заземлювачі.

1. Sotnyk I, Kurbatova T, Romaniuk Y, Prokopenko O, Gonchar V, Sayenko Y, Prause G, Sapiński A. Determining the Optimal Directions of Investment in Regional Renewable Energy Development. *Energies*. 2022; 15(10):3646. <https://doi.org/10.3390/en15103646>
2. Vergallo C., Dimi L. Comparative Analysis of Biological Effects Induced on Different Cell Types by Magnetic Fields with Magnetic Flux Densities in the Range of 1–60 mT and Frequencies up to 50 Hz. *Sustainability*, 2018, 10, 2776. <https://doi.org/10.3390/su10082776>.
3. Getman, A. Cylindrical harmonic analysis of the magnetic field in the aperture of the superconducting winding of an electromagnet. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. 1(5 (91)). P. 4–9. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123607>.

Power supply for special purpose facilities

Nataliia Burdeina, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Physics, <https://orcid.org/0000-0002-2812-1387>

Yaroslav Pidlisnyi, PhD student at the Department of Environmental Protection Technologies and Labour Protection <https://orcid.org/0009-0008-4906-3164>

Dmytro Osadchyi, PhD student at the Department of Environmental Protection Technologies and Labour Protection, <https://orcid.org/0009-0002-9977-8738>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The quality of electricity in terms of sinusoidality and amplitudes of harmonics and interharmonics is critical in terms of the stability of electronic equipment and human exposure [1, 2]. At the same time, the suppression of harmonics and interharmonics of electric current of industrial frequency is a complex technical task [3]. This is especially true for special-purpose facilities, such as civil protection shelters, critical infrastructure control panels, etc. In such facilities, a significant part of electrical and electronic equipment has non-linear volt-ampere characteristics. This automatically leads to the appearance of industrial frequency harmonics in the power grid. In addition, canonical and non-canonical interharmonics may occur. This causes two problems: malfunctions of electronic equipment and negative impact on people. If the contribution of nonlinear consumers to the total power load is more than 20 %, the amplitudes of higher harmonics of industrial frequency can exceed the amplitude of the fundamental harmonic. This does not comply with existing national and international standards.

This situation is most common when using a backup power supply. In addition to the frequency reduction, the voltage and current sine wave distortion occurs. This automatically leads to changes in the harmonic composition of the supply current in an unforeseen way. Therefore, a prerequisite for applying power supply normalisation measures is to determine the parameters of the standby generators' operation, both in terms of maximum power and sinusoidal generation. The minimum requirement for power supply normalisation is a complete audit of the reactive power compensation system. It is also necessary to ensure that the deviations in the power load on individual phases of the three-phase network do not exceed 10 %. To suppress harmonics and interharmonics of industrial frequency, a simple design with feedback has been developed. The compact transformer automatically reacts to the appearance of undesirable voltages (in terms of frequency and amplitude).

The control unit automatically gives a command to compensate for such voltages via feedback. Under real-world conditions, this ensures that the amplitudes of the higher harmonics of the industrial frequency are reduced by 3–4 %. For standard diesel generators with large load fluctuations, this can be considered satisfactory. An additional measure to improve the electromagnetic environment in terms of reducing magnetic field levels is to eliminate all leakage currents both to the neutral conductor of the three-phase power supply system and to natural earth conductors.

1. Sotnyk I, Kurbatova T, Romaniuk Y, Prokopenko O, Gonchar V, Sayenko Y, Prause G, Sapiński A. Determining the Optimal Directions of Investment in Regional Renewable Energy Development. *Energies*. 2022; 15(10):3646. <https://doi.org/10.3390/en15103646>
2. Vergallo C., Dini L. Comparative Analysis of Biological Effects Induced on Different Cell Types by Magnetic Fields with Magnetic Flux Densities in the Range of 1–60 mT and Frequencies up to 50 Hz. *Sustainability*, 2018, 10, 2776. <https://doi.org/10.3390/su10082776>.
3. Getman, A. Cylindrical harmonic analysis of the magnetic field in the aperture of the superconducting winding of an electromagnet. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. 1(5 (91)). P. 4–9. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123607>.

Температурні моделі розвитку пожеж промислових будівель для оцінки вогнестійкості конструкцій

Тарас Шналь, докт. техн. наук, професор кафедри будівельних конструкцій та мостів, <https://orcid.org/0000-0002-4226-9513>;

Ігор Мацук, аспірант кафедри будівельних конструкцій та мостів, <https://orcid.org/0009-0000-7334-3934>

Національний університет «Львівська політехніка» (м. Львів)

Однією з основних вимог технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд є забезпечення вогнестійкості будівельних конструкцій. Оцінка вогнестійкості буде залежати від сценарію та температурного режиму розвитку пожежі. Діючі в Україні нормативні документи приймають у розрахунках вогнестійкості будівельних конструкцій стандартну криву температура-час, обґрунтованість застосування якої ставиться під сумнів багатьма авторами коли стосується розвитку пожеж в промислових будівлях.

Дана робота спрямована на дослідження температурних режимів пожеж у великопролітних промислових будівлях та вогнестійкості будівельних конструкцій під відповідним температурним навантаженням.

Діючий в Україні ЕС1 частина 1-2 передбачає використання моделей локалізованих моделей пожеж які розроблені на основі метода Альперта (Alpert's method) або метода Гасемі (Hasemi's method). Теплові впливи локалізованої пожежі враховують, якщо поява спалаху малоймовірна.

Проведені обстеження промислових будівель рис.1 та 2, аналіз пошкоджень будівельних конструкцій показали що режими розвитку пожеж суттєво відрізняються від режиму за стандартною кривою температура-час, а методику викладені в [1] потребують доопрацювання.



Рис.1 – Обрушення конструкції світлового ліхтаря



Рис.2 – Руйнування та пошкодження плит покриття внаслідок динамічного удару з наступним розвитком пожежі

Одним з визначальних факторів на розвиток пожеж в промислових будівлях є розташування пожежного навантаження. Важливими параметрами є площа та висота пожежного навантаження які будуть впливати на розвиток пожежі та криву HRR. В моделях необхідно враховувати вплив спринклерів на розвиток пожежі. Все це свідчить про необхідність розробки моделей розвитку пожеж у великопролітних будівлях що дасть змогу більш коректно оцінювати вогнестійкість будівельних конструкцій.

1. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі.

Temperature models of fire development in industrial buildings for assessment of fire resistance of structures

Taras Shnal, doctor of technical sciences, professor of the Department of Civil Engineering Structures and Bridges, <https://orcid.org/0000-0002-4226-9513>

Ihor Matsyk, postgraduate of the Department of Building Structures and Bridges, <https://orcid.org/0009-0000-7334-3934>

Lviv Polytechnic National University (Lviv)

One of the main requirements of the technical regulations for building products, buildings and structures is to ensure the fire resistance of building structures. The assessment of fire resistance will depend on the scenario and temperature conditions of fire development. Regulatory documents in force in Ukraine accept the standard temperature-time curve in calculations of fire resistance of building structures, the validity of which is questioned by many authors when it comes to the development of fires in industrial buildings.

This work is aimed at studying the temperature regimes of fires in large-span industrial buildings and the fire resistance of building structures under the corresponding temperature load.

The current EC1 part 1-2 in Ukraine provides for the use of localized fire models developed on the basis of the Alpert's method or Hasemi's method. The thermal effects of a localized fire are taken into account if the occurrence of an outbreak is unlikely.

The surveys of industrial buildings in Figures 1 and 2, and the analysis of damage to building structures showed that the modes of fire development differ significantly from the mode according to the standard temperature-time curve, and the methods described in [1] need to be improved.



Fig. 1 - Collapse of the skylight structure



Fig. 2 - Destruction and damage of the roof slabs due to dynamic impact with subsequent fire development

One of the determining factors on the development of fires in industrial buildings is the location of the fire load. Important parameters are the area and height of the fire load, which will affect the fire development and the HRR curve. The models should take into account the impact of sprinklers on fire development. All of this indicates the need to develop models of fire development in large span buildings, which will allow for a more correct assessment of the fire resistance of building structures.

1. DSTU-N B EN 1991-1-2: 2010 Eurocode 1: Effects on structures. Part 1-2. General actions. Actions on structures during a fire.

Засоби нормалізації фізичних чинників середовища сховищ цивільного захисту

Яна Бірук, доктор філософії, доцент кафедри фізики, <https://orcid.org/0000-0002-3669-9744>;

Андрій Климчук, аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, <https://orcid.org/0009-0005-1248-7316>;

Ярослав Галонько, аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, <https://orcid.org/0009-0000-4932-4338>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Розташування сховищ цивільного захисту – стаціонарних і пристосованих, під землею, у тому числі й у підвальних приміщеннях створює проблеми безпечності перебування людей в них. Це якість повітря, наявність пліснявих грибів, радону тощо [1, 2]. Значний вплив на людей може складати інфразвук, генерований системами життєзабезпечення. Численні дослідження показали наявність у підвальних приміщеннях наднормативних концентрацій радону [3, 4]. Для нормалізації якості повітря пропонується застосування світлодіодних систем ультрафіолетового випромінювання. Їх перевагами є дебактеризація повітря (по бактеріям до 6 разів, по грибам до 20 разів). Системи примусової вентиляції виготовлені з оцинкованого заліза. У них відбувається деіонізація повітря (до 100 – 150 см⁻³ на один погонний метр повітропровода). Ультрафіолетові системи іонізують повітря відразу по усьому об'єму приміщення, що дозволяє оперативно підвищити якість повітря. Блоки із 10 ультрафіолетових світлодіодів мають потужність 5 Вт, що забезпечує великий рівень енергозаощадження. Такі системи оздоровлення середовища доцільно комбінувати з світлодіодними системами освітлення. Це надає змогу застосовувати резервні джерела електроживлення малої потужності. Зазвичай сховища цивільного захисту обладнуються токами доступу мобільного зв'язку. Для уникнення підвищення електромагнітного фону внаслідок роботи засобів бездротового зв'язку, відбиття та перевідбиття електромагнітних хвиль пропонуються рідкі суміші для поглинання електромагнітної енергії на рівні до 20 дБ з коефіцієнтами відбиття електромагнітних хвиль порядку від -8 до -10 дБ. Важливою властивістю розроблених сумішей є відсутність електризації поверхонь за рахунок трибоелектричного ефекту.

Це дозволяє знизити деіонізацію повітря за рахунок осідання іонів на електризовані поверхні. Додатковим засобом оздоровлення середовища перебування людей є застосування рециркуляторів повітря. Експериментальні дослідження показали, що у процесі ремонту підвальних приміщень для використання у якості сховищ цивільного захисту застосування високоякісних полімерних та бетонних покриттів підлоги дозволили знизити концентрації радону принаймні удвічі.

1. Bolibrukh, B., Glyva, V., Kasatkina, N., Levchenko, L., Tykhenko, O., Panova, O., Bogatov, O., Petrunok, T., Aznaurian, I., & Zozulya, S. (2022). Monitoring and management ion concentrations in the air of industrial and public premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(10)(115), 24–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253110>.
2. Nazarenko V.I., Cherednichenko I.M., Leonov Yu.I., Pochta V.N., Shevchenko A.V., Burdeina N.B., Yarygin A.V. The hygienic principles of using bactericidal ultraviolet monochrome led irradiators of the open type for premises air disinfecting. *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 2022. Vol. 18, № 3. P. 216–223. <https://doi.org/10.33573/ujoh2022.03.216-223>.
3. Chaitidis G.D., Marhavilas P.K., Kanakaris V. Potential Effects on Human Safety and Health from Infrasound and Audible Frequencies Generated by Vibrations of Diesel Engines Using Biofuel Blends at the Workplaces of Sustainable Engineering Systems. *Sustainability*. 2022, 14. P. 7554. <https://doi.org/10.3390/su14137554>.
4. Portaro M, Rocchetti I, Tuccimei P, Galli G, Soligo M, Ciotoli G, Longoni C, Vasquez D, Sola F. Indoor Radon Surveying and Mitigation in the Case-Study of Celleno Town (Central Italy) Located in a Medium Geogenic Radon Potential Area. *Atmosphere*. 2024; 15(4):425. <https://doi.org/10.3390/atmos15040425>

Means of normalisation of physical factors in the environment of civil protection shelters

Yana Biruk, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics, <https://orcid.org/0000-0002-3669-9744>

Andrii Klymchuk, PhD student at the Department of Environmental Protection Technologies and Labour Protection, <https://orcid.org/0009-0005-1248-7316>

Yaroslav Halonko, PhD student at the Department of Environmental Protection Technologies and Labour Protection, <https://orcid.org/0009-0000-4932-4338>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The location of civil protection shelters – stationary and adapted – underground, including in basements, creates problems of safety for people in them. These include air quality, the presence of moulds, radon, etc. [1, 2]. Infrasound generated by life support systems can have a significant impact on people. Numerous studies have shown the presence of excessive radon concentrations in basements [3, 4]. To normalise air quality, it is proposed to use LED ultraviolet radiation systems. Their advantages are air de-bacterisation (up to 6 times for bacteria, up to 20 times for fungi). Forced ventilation systems are made of galvanised iron. They de-ionise the air (up to 100–150 cm⁻³ per linear metre of duct). Ultraviolet systems ionise the air throughout the entire volume of the room, which allows you to quickly improve air quality. Blocks of 10 ultraviolet LEDs have a power of 5 W, which provides a high level of energy savings. It is advisable to combine such environmental health systems with LED lighting systems. This makes it possible to use low-power backup power supplies. Typically, civil protection shelters are equipped with mobile access points. In order to avoid an increase in the electromagnetic background due to the operation of wireless communications, reflection and re-reflection of electromagnetic waves, liquid mixtures are offered to absorb electromagnetic energy at a level of up to 20 dB with electromagnetic wave reflection coefficients of the order of -8 to -10 dB.

An important property of the developed mixtures is the absence of electrification of surfaces due to the triboelectric effect. This reduces air deionisation due to ion deposition on electrified surfaces. An additional means of improving the human environment is the use of air recirculators. Experimental studies have shown that in the process of repairing basements for use as civil protection shelters, the use of high-quality polymer and concrete floor coverings has reduced radon concentrations by at least half.

1. Bolibrukh, B., Glyva, V., Kasatkina, N., Levchenko, L., Tykhenko, O., Panova, O., Bogatov, O., Petrunok, T., Aznaurian, I., & Zozulya, S. (2022). Monitoring and management ion concentrations in the air of industrial and public premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(10)(115), 24–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253110>.
2. Nazarenko V.I., Cherednichenko I.M., Leonov Yu.I., Pochta V.N., Shevchenko A.V., Burdeina N.B., Yarygin A.V. The hygienic principles of using bactericidal ultraviolet monochrome led irradiators of the open type for premises air disinfecting. *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 2022. Vol. 18, № 3. P. 216–223. <https://doi.org/10.33573/ujoh2022.03.216-223>.
3. Chaitidis G.D., Marhavalas P.K., Kanakaris V. Potential Effects on Human Safety and Health from Infrasound and Audible Frequencies Generated by Vibrations of Diesel Engines Using Biofuel Blends at the Workplaces of Sustainable Engineering Systems. *Sustainability*. 2022, 14. P. 7554. <https://doi.org/10.3390/su14137554>
4. Portaro M, Rocchetti I, Tuccimei P, Galli G, Soligo M, Ciotoli G, Longoni C, Vasquez D, Sola F. Indoor Radon Surveying and Mitigation in the Case-Study of Celleno Town (Central Italy) Located in a Medium Geogenic Radon Potential Area. *Atmosphere*. 2024; 15(4):425. <https://doi.org/10.3390/atmos15040425>

Числові дослідження фланцевих вузлів ферм з попереднім напруженням

Євген Цюпин, старший викладач кафедри металевих і дерев'яних конструкцій,
<https://orcid.org/0000-0001-9428-6166>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження - оцінка напружено-деформованого стану фланцевих вузлів ферм із попереднім напруженням за допомогою числового моделювання методом скінченних елементів (МСЕ).

Фланцеві вузли є ключовими елементами фермових конструкцій, де концентруються значні навантаження. Застосування попереднього напруження у болтових з'єднаннях дозволяє підвищити жорсткість, зменшити деформації та запобігти локальним втратам стійкості.

У дослідженні розглянуто поведінку фланцевих вузлів сталевих ферм із високоміцними болтами, які монтуються з попереднім натягом. Особливу увагу приділено дослідженню просторової стійкості вузлів в умовах складного напружено-деформованого стану. Запропоновано підхід до перевірки стійкості із застосуванням числового моделювання з реалістичною геометрією та матеріальними властивостями. Визначення нерівномірності розподілення зусиль в зварних швах приєднання фланцевого з'єднання до трубчастих елементів та розроблену методику визначення зусиль у зварних швах приведено в роботі [1].

Використовуючи метод скінченних елементів, побудовано просторову модель вузла з урахуванням геометрії врізного фланця, форми зварних швів та болтового кріплення дослідження показало, що максимальні значення еквівалентних напружень (за Мізесом) виникають у зонах:

- біля контактного кільця врізного фланця;
- у перехідній зоні труба-шов-фланець;
- у корені зварного шва;
- навколо отворів під болти.

Розподіл напружень має локальний характер, причому при стискаючому зусиллі вузла спостерігається несиметричне перенесення зусиль через тіло фланця та шов, що формує напружені плями з концентрацією гранично допустимого значення для сталі. Особливої уваги заслуговують еквівалентні напруження в швах, які наближаються до межі текучості при навантаженні з ексцентриситетом або неповному проварі.

Результати аналізу свідчать, що саме конфігурація врізного фланця, глибина врізки та якість зварного з'єднання критично впливають на загальний розподіл напружень. На основі числових моделей рекомендовано:

- забезпечити оптимальну глибину врізного фланця (не менше 0,6 діаметра труби);
- контролювати симетрію шва та уникати підрізів у корені зварного шва;
- використовувати суцільні шви по периметру, що рівномірно передають навантаження у тіло фланця.

Числове моделювання фланцевих вузлів із попереднім напруженням дозволяє детально дослідити напружено-деформований стан критичних зон з'єднань і виявити потенційні слабкі місця

1. С. Білик, А. Білик, Є. Цюпин, В. Нужний, Т. Ключниченко Удосконалення методики розрахунку зварних швів фланцевих вузлових з'єднань із врізаними ребрами жорсткості просторових сталевих ферм з труб/ Збірник наукових праць. Будівельні конструкції. Теорія і практика. Випуск 7. – К: КНУБА, 2020. – с. 57-65. DOI:10.32347/2522-4182.7.2020.

Numerical Studies of Flanged Joints of Pre-stressed Trusses

*Yevhen Tsyupyn, Senior Lecturer of the Department of Metal and Wooden Structures,
<https://orcid.org/0000-0001-9428-6166>*

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)

The aim of the study is to assess the stress-strain state of flanged joints of pre-stressed trusses using numerical simulation with the finite element method (FEM).

Flanged joints are key elements in truss structures where significant loads concentrate. The application of pre-stress in bolted connections helps to increase stiffness, reduce deformations, and prevent local loss of stability.

The study examines the behavior of flanged joints in steel trusses with high-strength bolts, which are installed with pre-tensioning. Particular attention is given to the investigation of spatial stability of the joints under conditions of complex stress-strain states. A method for checking stability using numerical modeling with realistic geometry and material properties is proposed. The distribution of forces in welded joints of flanged connections to tubular elements and the developed methodology for determining forces in welded joints are presented in [1].

Using the finite element method, a spatial model of the joint was created, taking into account the geometry of the inserted flange, the shape of the welds, and the bolted connection. The study showed that the maximum values of equivalent stresses (according to von Mises) occur in the following zones:

- near the contact ring of the inserted flange;
- in the transition zone of the pipe-weld-flange;
- at the root of the weld;
- around the bolt holes.

The stress distribution has a local character; under compressive force in the joint, an asymmetrical transfer of forces is observed through the flange body and the weld, forming stress zones with concentrations reaching the allowable limits for steel. Particular attention should be paid to the equivalent stresses in the welds, which approach the yield strength under eccentric loading or in the case of incomplete penetration.

The analysis results indicate that the configuration of the inserted flange, the depth of the insertion, and the quality of the welded connection critically affect the overall stress distribution. Based on the numerical models, the following recommendations are made:

- ensure an optimal depth of the inserted flange (at least 0.6 times the diameter of the pipe);
- control the symmetry of the weld and avoid undercuts at the root of the weld;
- use continuous welds around the perimeter that evenly transfer loads to the flange body.

Numerical modeling of prestressed flange joints enables a detailed investigation of the stress-strain state in critical connection zones and the identification of potential weak points.

1. S. Bylyk, A. Bylyk, Y. Tsyupyn, V. Nuzhnyi, T. Klyushnychenko. Improvement of the Methodology for Calculating Welded Joints of Flanged Joints with Inserted Stiffener Ribs of Spatial Steel Trusses with Tubes / Collection of Scientific Works. Building Structures. Theory and Practice. Issue 7. – Kyiv: KNUCA, 2020. – pp. 57-65. DOI: 10.32347/2522-4182.7.2020.

Методика випробування двошарнірних залізобетонних рам

Сергій Філіпчук, д.т.н., професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0000-0002-4464-4620>;

Олександр Собіщанський, аспірант кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0009-0000-2708-7677>;

Юрій Ковальчук, старший викладач кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд <https://orcid.org/0000-0002-7199-1978>

Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне)

Сформульовано мету дослідження – аналіз методики випробування двошарнірних залізобетонних рам із можливістю штучного регулювання зусиль. Незважаючи на широке впровадження рамних конструкцій у сучасній будівельній практиці, експериментальні дослідження їхньої роботи, особливо у разі регульованих зусиль, залишаються обмеженими.

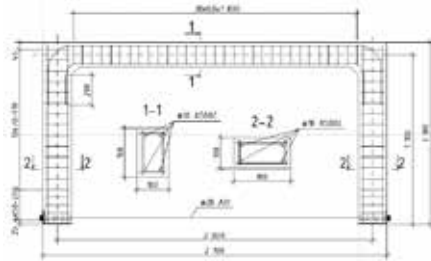


Рис.1 – Конструктивна схема дослідних рам

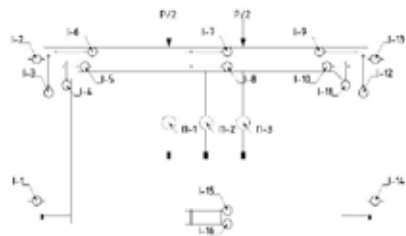


Рис.2 – Схема випробування рам та розташування приладів (І – індикатори, ІІ – прогиноміри)

Для вивчення поведінки П-подібних залізобетонних рам із регулюванням зусиль було виготовлено зразки з такими геометричними характеристиками: проліт – 2000 мм, висота – 1100 мм, переріз ригеля – 160×100 мм, стійки – 180×100 мм. Стійки армовано просторовим каркасом із чотирма симетрично розміщеними стрижнями Ø14A400С. Арматування ригеля виконано просторовим каркасом: нижня арматура – 2Ø14A400С, верхня – Ø18A500С (заведена у стійку на 450 мм). Поперечна арматура – замкнені зварені хомутові елементи з Ø6Вр-І з кроком 60 мм у ригелі та 70/50 мм у стійках поблизу опор. На торцях стійок встановлено закладні елементи з пластин товщиною 5 мм. Затяжка виконана зі стрижня Ø18A500С із різьбою на одному кінці, напруження створювалось за допомогою динамометричного ключа.

Встановлено, що несуча здатність рам зі штучним регулюванням зусиль перевищує відповідний показник рам без регулювання на 5,3% при одноразовому навантаженні та на 20,3% — при повторних. Після підвищення навантаження стабілізація деформацій бетону й арматури, прогинів ригелів і тріщиноутворення відбувається протягом п'яти наступних циклів навантаження-розвантаження.

Результати дослідження відповідають даним щодо деформативних властивостей бетону [1] та моделей зчеплення арматури з високоміцним бетоном [2], після збільшення його рівня.

1. Babich Y., Filipchuk S., Karavan V. Research of deformative properties of concrete taking into account the descending branch of deformation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 960 (3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/960/3/032057>
2. Babych Y., Filipchuk S., Fenko O. Mathematical modeling of the resistance of pulling out steel bars from high strength concrete. International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018 May. Vol. 7(3.2). P. 516-521. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14581>

Testing method for double-hinged reinforced concrete frames

Serhii Filipchuk, doctor of technical sciences, professor at the Department of Industrial, Civil Engineering and Engineering Structures, <https://orcid.org/0000-0002-4464-4620>;

Oleksandr Sobishchanskiy, postgraduate of the Department of Industrial, Civil Engineering and Engineering Structures, <https://orcid.org/0009-0000-2708-7677>;

Yuriy Kovalchuk, senior Lecturer, Department of Industrial, Civil Engineering and Engineering Structures, <https://orcid.org/0000-0002-7199-1978>

The National University of Water and Environmental Engineering (Rivne)

The aim of this study is to examine a testing methodology for two-hinged reinforced concrete frames with artificially regulated internal forces. Despite the widespread use of reinforced concrete frames in modern construction practice, experimental studies on their behavior remain insufficient, especially for frames with artificial force regulation.

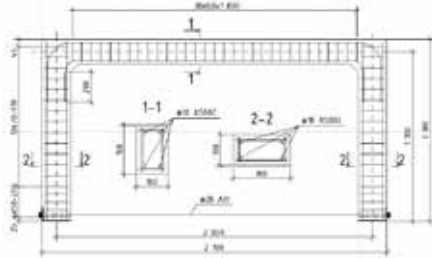


Fig.1 – Structural diagram of the experimental frames

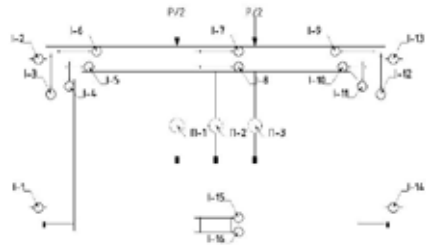


Fig.2 – Scheme of testing frames and arrangement of devices (I – indicators, II – protractors)

To investigate II-shaped reinforced concrete frames with artificial force regulation, full-scale frame specimens were fabricated. Their dimensions in axes were: span $l=2000l = 2000l=2000$ mm, height $h=1100h = 1100h=1100$ mm, cross-section of the beam – $160 \times 100160 \times 100160 \times 100$ mm, cross-section of the column – $180 \times 100180 \times 100180 \times 100$ mm.

The columns were reinforced with a spatial cage containing four symmetrically placed bars $\varnothing 14$ A400C. The beam was reinforced with a spatial cage: bottom reinforcement – $2 \varnothing 14$ A400C; top reinforcement – $\varnothing 18$ A500C (bent and anchored into the column beneath the lower edge of the beam by 450 mm). Shear reinforcement in both columns and beam consisted of closed welded stirrups $\varnothing 6$ Vr-I, placed at 60 mm spacing in the beam and 70 to 50 mm in the support zones of the columns. Embedded plates ($t = 5$ mm) were installed at the column ends. The tie element was made of $\varnothing 18$ A500C rebar, threaded at one end. Pre-stressing in the tie was applied using a torque wrench.

The load-bearing capacity of the two-hinged frame with artificial force regulation was found to be 5.3% higher under a single loading cycle and up to 20.3% higher under repeated loading compared to a similar frame without force regulation.

1. Babich Y., Filipchuk S., Karavan V. Research of deformative properties of concrete taking into account the descending branch of deformation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 960 (3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/960/3/032057>
2. Babych Y., Filipchuk S., Fenko O. Mathematical modeling of the resistance of pulling out steel bars from high strength concrete. International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018 May. Vol. 7(3.2). P. 516-521. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14581>

Принципи управління тепловим балансом з використанням графоаналітичних моделей будівель спеціального призначення

Сергій Кожедуб, канд. техн. наук, доцент кафедри архітектурних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-6315-8161>;

Павло Тисленко, канд. техн. наук, докторант кафедри архітектурних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0007-6926-5639>;

Іван Садовничий, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, <https://orcid.org/0009-0005-3174-9625>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Метою дослідження є оптимізація геометричних і фізико-механічних параметрів багатоконпонентних фізичних систем, на прикладі теплових процесів, що протікають в будівлях задля підвищення їх енергоефективності й ресурсозбереження. Пропонується застосування основних принципів управління тепловим балансом енергоефективної будівлі з використанням дискретного геометричного моделювання на основі інтерпретаційних сітчастих структур, що інтерпретують дискретну модель теплообміну енергоефективної будівлі, а також графоаналітичних моделей представлення та аналізу даних.

Актуальною задачею при визначенні рівня енергоефективності будівель є аналіз їх теплового балансу з урахуванням усіх енергонаходжень і енерговтрат [1, 2]. Це дозволяє визначати на етапі проєктування необхідні параметри теплової ізоляції та встановлювати оптимальний режим вентилявання приміщень. Зокрема, на основі відповідного аналізу приймаються потужності інженерних систем, що в свою чергу впливає на кінцеву вартість об'єкту будівництва, реконструкції або термомодернізації будівель.

При практичному проєктуванні використовуються різні чисельні способи обрахунку тепловтрат. При цьому існує потреба у розробці гнучкого інструментарію математичного моделювання теплового режиму будівлі, що дозволяло би враховувати як геометричні, так і фізичні параметри огорожувальних конструкцій, а також конфігурацію й режим роботи інженерних систем будівель.

Для того, щоб здійснювати управління параметрами дискретної моделі теплообміну енергоефективної будівлі, необхідно представити її дискретну модель у формі зрівноваженої сітчастої структури. В дослідженні використано підхід, застосований в роботі [2] щодо відтворення температури повітря та поверхонь стін приміщень на прикладі елементарно одноповерхового будинку. Такий підхід базується на методи теплоелектричної аналогії та передбачає побудову дискретної розрахункової моделі досліджуваної будівлі у формі непланарного графу, вершини (вузли) якого представляють собою точки у повітрі та на поверхнях внутрішніх і зовнішніх стін, а ребра (зв'язки) - опори теплопередачі між цими точками. Процес моделювання передбачає складання рівнянь теплового балансу для кожного з вище зазначених вузлів з подальшим розв'язанням одержаної системи відносно температур у них. Внаслідок впливу на систему багатьох факторів, при моделюванні реальних будівель, що можуть мати складку конфігурацію форми, як у плані, так і по висоті (наприклад, різної поверховості), складність розрахунків значно зростає наряду зі кількістю параметрів, які застосовуються у розрахунку. Для вирішення даного аспекту є застосовним поєднання графоаналітичних моделей даних, що дозволить збільшити простоту розуміння взаємозв'язків між піднаборами даних, їх вплив на вихідний результат розрахунку, візуалізувати у спрощеному виді теплонадходження й тепловтрати, що в свою чергу значно підвищить точність аналізованої моделі. Даний підхід має перспективу подальших досліджень при вирішенні комплексних задач у проєктуванні будівель і споруд.

1. Starakiewicz A.; Mia, sik P.; Krason' J.; Babiarsz B. Multi-Aspect Shaping of the Building's Heat Balance. *Energies* (2024), 17, 2702. <https://doi.org/10.3390/en17112702>
2. Болгарова Н., Плоский В., Скочко В. Моделювання теплообміну енергоефективної будівлі. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2018, Вип. 11, С. 7-21. <https://doi.org/10.32347/2310-0516.2018.11.7-21>

Principles of heat balance control using graph analytical models of special assignment buildings

Serhii Kozhedub, Ph.D., associate professor of the Architectural Structures Department, <https://orcid.org/0000-0001-6315-8161>,

Pavlo Tyslenko, Ph.D., doctoral student of the Architectural Structures Department, <https://orcid.org/0009-0007-6926-5639>;

Ivan Sadovnychiy, first (bachelor's) level higher education student, <https://orcid.org/0009-0005-3174-9625>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The purpose of the study is to optimize the geometric and physical-mechanical parameters of multi-component physical systems, using the example of thermal processes occurring in buildings in order to increase their energy efficiency and resource conservation. It is proposed to apply the basic principles of heat balance control of an energy-efficient building using discrete geometric modeling based on interpretative mesh structures that interpret the discrete heat exchange model of an energy-efficient building, as well as graph-analytical models of data presentation and analysis.

An urgent task in determining the level of energy efficiency of buildings is to analyze their heat balance, taking into account all energy inputs and losses [1, 2]. This allows you to determine the necessary thermal insulation parameters at the design stage and establish the optimal ventilation mode of the premises. In particular, based on the appropriate analysis, the capacities of engineering systems are taken, which in turn affects the final cost of the construction, reconstruction or thermal modernization of buildings.

In practical design, various numerical methods for calculating heat losses are used. At the same time, there is a need to develop a flexible toolkit for mathematical modeling of the thermal regime of a building, which would allow taking into account both geometric and physical parameters of the enclosing structures, as well as the configuration and operating mode of the building's engineering systems.

In order to manage the parameters of the discrete heat transfer model of an energy-efficient building, it is necessary to present its discrete model in the form of a balanced mesh structure. The study used the approach used in [2] to reproduce the temperature of the air and the surfaces of the walls of the premises using the example of an elementary one-story building. This approach is based on the method of thermoelectric analogy and involves the construction of a discrete computational model of the building under study in the form of a non-planar graph, the vertices (nodes) of which are points in the air and on the surfaces of the internal and external walls, and the edges (links) are heat transfer resistances between these points. The modeling process involves the compilation of heat balance equations for each of the above-mentioned nodes with the subsequent solution of the resulting system with respect to the temperatures in them. Due to the influence of many factors on the system, when modeling real buildings that can have a complex shape configuration, both in plan and in height (for example, different storeys), the complexity of calculations increases significantly along with the number of parameters used in the calculation. To solve this aspect, a combination of graphical analytical data models is applicable, which will increase the ease of understanding the relationships between data subsets, their impact on the initial calculation result, and visualize heat gain and heat loss in a simplified form, which in turn will significantly increase the accuracy of the analyzed model. This approach has the prospect of further research in solving complex problems in the design of buildings and structures.

1. Starakiewicz A.; Mia, sik P.;Krason' J.; Babiarz B. Multi-Aspect Shaping of the Building's Heat Balance. *Energies* (2024), 17, 2702. <https://doi.org/10.3390/en17112702>
2. Болгарова Н., Плоский В., Скочко В. Моделирование теплообмена энергоэффективной будівлі. *Енергоефективність в будівництві та архітектури*. 2018, Вип. 11, С. 7-21. <https://doi.org/10.32347/2310-0516.2018.11.7-21>

Аналітичне порівняння плоскої та об'ємної моделей при розрахунку деформацій плит у ліра-сапр

Зіновій Бліхарський, докт. техн. наук, професор кафедри БKM, <https://orcid.org/0000-0002-4823-6405>;

Михайло Іванейко, аспірант кафедри БKM, <https://orcid.org/0000-0001-7578-8750>

Національний університет «Львівська політехніка» (м. Львів)

Мета дослідження – порівняти результати розрахунку «еталонної» залізобетонної плити плоскими та об'ємними кінцевими елементами в ПК ЛІРА-САПР. Зовнішній вигляд залізобетонних плит наведені на рис. 1 та 2.

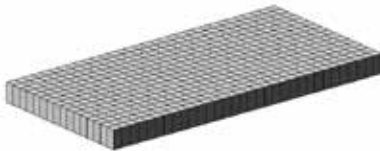


Рис.1 - Загальний вигляд залізобетонної плити побудованої плоскими кінцевими елементами

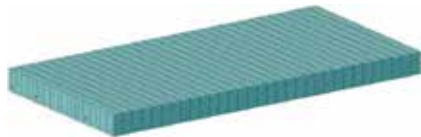


Рис.2 - Загальний вигляд залізобетонної плити побудованої об'ємними кінцевими елементами

Параметри плити: товщина 100 мм, шарнірно оперті на дві сторони, бетон С20/25, арматура діаметром 10 мм А500С. Плита навантажена рівномірно розподіленим навантаженням 2,5 т/м². Для моделювання використовували дві моделі: плоскими кінцевими елементами розміром пластин 100х100 мм, об'ємними – за допомогою 4960-ьох прямокутних елементів оболонки СЕ-36, розмірами у плані 10х50 мм і висотою 10 мм. Армуння плити виконувалось за допомогою 160-ьох прямокутних елементів оболонки СЕ-36, розмірами в плані 50 мм та в розрізі відповідно до площі січення арматури Ø10 мм.

Результати лінійного розрахунку обох моделей залізобетонних плит відображені на рис. 3 та 4 та наведені в таблиці 1.



Рис.3 - Переміщення плити по осі Oz, мм в плоскій плиті



Рис.4 - Переміщення плити по осі Oz, мм в просторовій плиті

Таблиця 1

Модель	Прогин, мм
Плоска (пластинами)	0,97
Об'ємна	0,87

Аналізуючи результати розрахунків деформацій для плоскої та об'ємної плит, де прогин для плоскої плити склав 0.97 мм, а для об'ємної плити — 0.87 мм, можна зробити висновок про значну схожість отриманих результатів. Така мінімальна різниця у деформаціях підкреслює адекватність обох підходів до моделювання поведінки залізобетонних плит.

1. Бардига, Д. В. (2020). Вплив врахування нелінійної роботи матеріалів на напружено-деформований стан залізобетонного перекриття (Doctoral dissertation, ВНТУ).
2. Вінцюк, М. В., Самчук, В. П., & Кислюк, Д. Я. (2018). Розрахунок багатопролітної монолітної залізобетонної плити перекриття у фізично нелінійній постановці за допомогою ПК ЛІРА-САПР. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, (10), 35-43.

Analytical Comparison of Shell and Solid Models in the Calculation of Slab Deformations in LIRA-SAPR

Zinovii Blikharskyi, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Constructions and Materials, <https://orcid.org/0000-0002-4823-6405>;

Mykhailo Ivaneiko, PhD Candidate of the Department of Building Constructions and Materials, <https://orcid.org/0000-0001-7578-8750>

National University "Lviv Polytechnic" (Lviv, Ukraine)

The aim of the study is to compare the results of calculation of a 'reference' reinforced concrete slab by plane and volumetric finite elements in LIRA-SAPR software. The appearance of reinforced concrete slabs is shown in Figs. 1 and 2.

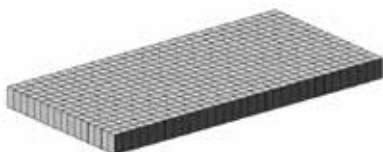


Fig.1 - General view of a reinforced concrete slab constructed by plane finite elements

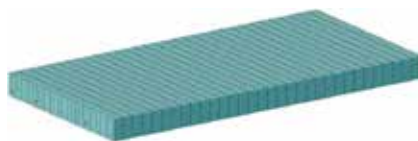


Fig.2 - General view of a reinforced concrete slab constructed by volumetric finite elements

Slab parameters: thickness 100 mm, hinged on two sides, concrete C20/25, reinforcement 10 mm in diameter A500C. The slab is loaded with a uniformly distributed load of 2.5 t/m². Two models were used for modelling: a flat finite element model with plate size of 100x100 mm, and a three-dimensional model with 4960 rectangular shell elements SE-36, with dimensions of 10x50 mm and a height of 10 mm. The slab was reinforced with 160 rectangular elements of the SE-36 shell, with dimensions of 50 mm in plan and in section according to the reinforcement cross-sectional area of Ø10 mm.

The results of the linear calculation of both models of reinforced concrete slabs are shown in Figs. 3 and 4 and are given in Table 1.

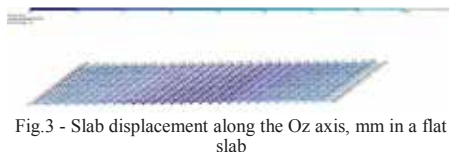


Fig.3 - Slab displacement along the Oz axis, mm in a flat slab

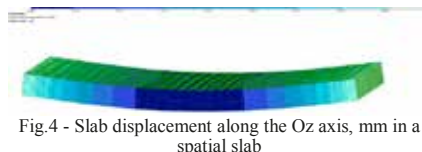


Fig.4 - Slab displacement along the Oz axis, mm in a spatial slab

Table 1

Model	Deflection, mm
Flat (with plates)	0,97
Volumetric	0,87

Analysing the results of the deformation calculations for the flat and three-dimensional slabs, where the deflection for the flat slab was 0.97 mm and for the three-dimensional slab was 0.87 mm, we can conclude that the results are very similar. Such a minimal difference in deformations emphasises the adequacy of both approaches to modelling the behaviour of reinforced concrete slabs.

1. Bardyga, D. V. (2020). Influence of taking into account the nonlinear work of materials on the stress-strain state of a reinforced concrete slab (Doctoral dissertation, VNTU).
2. Vintsiuk, M. V., Samchuk, V. P., & Kysliuk, D. Y. (2018). Calculation of a multi-span monolithic reinforced concrete slab in a physically nonlinear formulation using LIRA-SAPR software. Modern technologies and methods of calculations in construction, (10), 35-43.

Порівняльний аналіз розрахунку стінових діафрагм легких дерев'яних каркасних будинків за EN 1995-1-1 та ANSI/AWC SDPWS-2021

Тарас Шналь, докт. техн. наук, професор кафедри будівельних конструкцій та мостів, <https://orcid.org/0000-0002-4226-9513>;

Олександр Ленуга, аспірант кафедри будівельних конструкцій та мостів, <https://orcid.org/0009-0005-0570-0975>;

Ігор Мацик, аспірант кафедри будівельних конструкцій та мостів, <https://orcid.org/0009-0000-7334-3934>

Національний університет «Львівська політехніка» (м. Львів)

Останні декілька років спостерігається значний інтерес до будівництва будинків з деревини та матеріалів на основі деревини. Ця робота має на меті проаналізувати та порівняти методики розрахунку стінових діафрагм за EC5 [1] та Special Design Provisions for Wind and Seismic [2].

Стінові діафрагми за EC5 [1, стор.151] “повинні проектуватись для сприйняття як горизонтальних, так і вертикальних навантажень. Опір поперечній деформації стінових діафрагм до [1] визначається або випробуваннями згідно з EN 594 [3], або розрахунками на основі відповідних аналітичних методів або розрахункових моделей. EC5 передбачає використання спрощеного аналізу стінових діафрагм (метод А) та спрощеного розрахунку стінових діафрагм (метод В)”.

Спрощений аналіз (метод А) за EC5 [1, стор.152], “застосовується тільки для стінових діафрагм з кріпленням в кінці тобто вертикальний елемент з'єднаний з нижньою конструкцією. Проектна несуча здатність $F_{v,Rd}$ (проектний опір зсуву) при силі $F_{v,Ed}$ яка діє (зверху) консольної панелі, підйому якої обмежений (вертикальними зусиллями, або анкеруванням), повинна бути визначена з використанням спрощеного методу аналізу для стін, виготовлених з однієї, а більше панелей”.

Спрощений розрахунок (метод В) за EC5 [1, стор.156] “передбачає що компоновка стіни виконується із одної або більше стінових панелей, кожна з яких включає одну або декілька чарунок, що виготовлюються із листів на основі виробів із деревини, прикріплених до дерев'яного каркасу. Розрахункова несуча здатність у площині $F_{v,Rd}$ (розрахунковий опір поперечному деформуванню), від сили $F_{v,Ed}$, прикладеної зверху консольної панелі закріпленої від підйому вертикальним навантаженням або заанкеренням, повинна визначатись з використанням наведеного в [1] спрощеного методу розрахунку для конструкцій стін”.

Проектування стінових діафрагм відповідно до ANSI/AWC SDPWS-2021 [2] базується на основі експериментальних даних отриманих відповідно до [4], що описує послідовність та необхідні дані для визначення. В [2] впорядковані табличні дані в залежності від матеріалу обшивки та її товщини, типу цвяхів їх діаметру та довжини, кроку цвяхів по контуру щита обшивки.. Значення несучої здатності коригується коефіцієнтами які залежать від методики розрахунку та розмірів стін. Передбачається при проектування стін діафрагм за методикою допустимих напружень (ориг. “Allowable stress design (ASD)”) та проектування за методом коефіцієнтів навантаження та опору (ориг. “Load and resistance factor design (LRFD)”). Також, важливо відзначити що кінцеве значення допустимої горизонтальної сили залежить і від характеру прикладеного навантаження (сейсмічні чи вітрові).

1. EN 1995-1-1:2004 Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. Brussels, Belgium : The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC, 2004.
2. SDPWS 2021.Special Design Provisions for Wind and Seismic. Leesburg, Virginia, USA : American Wood Council. (AWC). 2021.
3. EN 594:2011 Timber Structures - Test methods - Racking strength and stiffness of timber frame wall panels. Brussels, Belgium : EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2011.
4. ASTM E564-06. Standard Practice for Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings. West Conshohocken, PA, USA. : American Society for Testing and Materials, (ASTM), 2012.

Comparative analysis of the light timber frame shear walls according to EN 1995-1-1 and ANSI/AWC SDPWS-2021

Taras Shnal, doctor of technical sciences, Professor of the Department of Building Structures and Bridges, <https://orcid.org/0000-0002-4226-9513>;

Oleksandr Lepuha, postgraduate of the Department of Building Structures and Bridges, <https://orcid.org/0009-0005-0570-0975>;

Ihor Matsyuk, postgraduate of the Department of Building Structures and Bridges, <https://orcid.org/0009-0000-7334-3934>

Lviv Polytechnic National University (Lviv)

Over the past few years, there has been considerable interest in timber and wood-based structures for buildings. This paper aims to analyze and compare the shear wall design methods according to EC5 [1] and Special Design Provisions for Wind and Seismic [2].

According to EC5, shear walls should be designed considering horizontal and vertical loads. Shear walls lateral force resistance up to [1, page 151] “is determined either by tests according to EN 594 [3] or by calculations based on appropriate analytical methods or design models. Lateral force shear wall resistance must be evaluated to ensure the required safety margin within the operational reliability. EC5 provides a simplified analysis (method A) and simplified calculation (method B) for the shear walls”.

Simplified analysis (method A) up to [1, page 152] “is applicable only for shear walls anchored at the ends, i.e., the vertical element is connected to the lower structure. The design load capacity $F_{v,Rd}$ for the force $F_{v,Ed}$ acting at the top of a cantilever panel, whose uplift is limited (by vertical forces or anchoring), must be determined using the simplified analysis method for walls made of one or more panels”.

Simplified Calculation (Method B) up to [1, page 156] “assumes that the wall is constructed of one or more wall panels, where each panel includes one or more cells made of timber-based sheathing attached to a timber frame. The design shear capacity in the plane $F_{v,Rd}$ (design resistance to shear deformation) under the force $F_{v,Ed}$ acting at the top of the cantilever panel, anchored against uplift by vertical load or anchoring, must be determined using the simplified calculation method provided in [1] for wall structures”.

Shear wall design according to ANSI/AWC SDPWS-2021 [2] is based on experimental data obtained according to [4], which describes the procedure and necessary data for determination. In [2], tabulated data are organized according to the sheathing material and its thickness, type of nails, their diameter and length, and nail spacing around the perimeter of the sheathing panel. The shear capacity values are adjusted by coefficients that depend on the calculation method and wall dimensions. It is allowed to provide shear wall design using both the Allowable Stress Design (ASD) and the Load and Resistance Factor Design (LRFD) methods. It is also important to note that the final allowable horizontal force value depends on the nature of the applied load (seismic or wind).

1. EN 1995-1-1:2004 Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. Brussels, Belgium : The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC, 2004.
2. SDPWS 2021. Special Design Provisions for Wind and Seismic. Leesburg, Virginia, USA : American Wood Council, (AWC), 2021.
3. EN 594:2011 Timber Structures - Test methods - Racking strength and stiffness of timber frame wall panels. Brussels, Belgium : EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2011.
4. ASTM E564-06. Standard Practice for Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings. West Conshohocken, PA, USA. : American Society for Testing and Materials, (ASTM), 2012.

Числове моделювання напружено-деформованого стану скляних багатошарових плит у програмі ANSYS

Тарас Осадчук, к.т.н., в.о. доцента кафедри будівельних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-8686-7056>;

Юрій Фамуляк, к.т.н., доцент, завідувач кафедри технології та організації будівництва, <https://orcid.org/0000-0003-3044-5513>;

Андрій Мазурак, к.т.н., доцент, в.о. професора кафедри технології та організації будівництва, <https://orcid.org/0000-0001-7367-774X>

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького (м. Дубляни)

Мета дослідження – проаналізувати роботу числової моделі скляної багатошарової плити, побудованої на основі методу скінченних елементів (МСЕ), та порівняти отримані результати з експериментальними даними. Загальний вигляд і розрахункова модель скляної багатошарової плити представлені на рис. 1 та 2.



Рис.1 - Загальний вигляд скляної багатошарової плити під час випробування

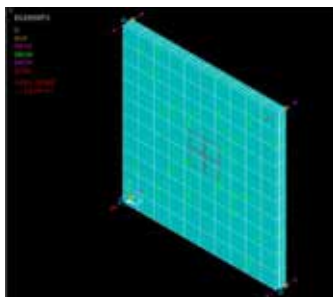


Рис.2 - Розрахункова модель скляної багатошарової плити

Скляна багатошарова плита складалася з 3 шарів звичайного скла, товщиною по 10 мм кожен, ламінованих між собою 2-шаровою полімерною плівкою. Плита, вільно оперта по чотирьох кутах, працювала на згин під дією статичного навантаження, прикладеного посередині через штамп.

Геометричну твердотільну модель плити побудували за допомогою геометричного елемента типу «поверхня».

Для побудови SE-моделі використали елемент оболонки SHELL181, 4-вузловий елемент з 6 ступенями свободи на кожному вузлі: переміщення в напрямках X, Y і Z, а також обертання навколо осей X, Y і Z. Точність моделювання багатошарової плити відповідала теорії деформації першого порядку (теорії оболонок Міндліна-Рейснера).

Навантаження в Ansys відтворили поетапним, як при виконанні експериментів. Таким чином, прикладене на скінченні елементи значення навантаження розділили на підкроки.

За результатами розрахунку скінченно-елементної моделі скляної багатошарової плити, побудованої в програмі Ansys, були отримані значення напружень та переміщень у всіх шарах скла для різних етапів навантаження.

Проведено порівняння теоретичних та експериментальних результатів.

1 Demchyna, B., & Osadchuk, T. (2018). Результати експериментальних досліджень опертих по чотирьох кутах скляних плит з різними типами скла, які працюють на згин. Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Архітектура і сільськогосподарське будівництво, (19), 57–60. <https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.057>

2. Osadchuk, T., Famuliak, Yu., Demchyna, B., & Bezpalko V. (2024). Розрахунок скляних багатошарових конструкцій на основі концепції еквівалентної товщини та методу скінченних елементів. Ресурсоєкономні матеріали. конструкції. будівлі та споруди: Збірник наукових праць, (46), 266–274. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i46.31>

Numerical modelling of the stress-strain state of glass laminated plates in Ansys software

Taras. Osadchuk, candidate of technical sciences, acting associate professor of the Department of Building Structures; <https://orcid.org/0000-0002-8686-7056>

Yuriy. Famulyak, candidate of technical sciences, associate professor, head of the Department of Construction Technology and Organization; <https://orcid.org/0000-0003-3044-5513>

Andriy. Mazurak, candidate of technical sciences, associate professor, acting professor of the Department of Construction Technology and Organization; <https://orcid.org/0000-0001-7367-774X>

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv

The aim of the study is to analyse the performance of a glass laminated plate, based on the Finite Element Method (FEM), and to compare the results obtained with experimental data. The general view and calculated model of the glass laminated plate are shown in Figs. 1 and 2.



Fig.1 - General view of glass laminated plate during testing

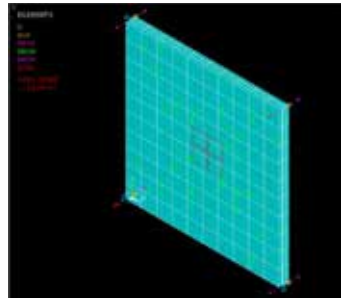


Fig.2 - Calculated model of glass laminated plate

The glass laminated plate consisted of 3 layers of annealed glass, each 10 mm thick, laminated together with a 2-ply polymer film. The plate, freely supported at the four corners, was subjected to bending under a static load applied in the middle through a stamp.

A solid geometric model of the plate was constructed using a 'surface' type geometric element.

The FE model was built using the SHELL181 shell element, a 4-node element with 6 degrees of freedom at each node: translations in the X, Y and Z directions and rotations about the X, Y and Z axes. The accuracy of the glass laminated plate modelling was consistent with the first-order deformation theory (Mindlin-Reissner shell theory).

The loading in Ansys was reproduced in stages, as in the experiments. Thus, the load applied to the finite elements was divided into sub-steps.

On the basis of the results of the calculation of the finite element model of the glass laminated plate built in Ansys, the values of stresses and displacements in all the glass layers for different stages of loading were obtained.

Theoretical and experimental results were compared.

1. Demchyna, B., & Osadchuk, T. (2018). The results of experimental researches of corner supported glass plates with different types of glass, which working on bending. Journal of Lviv National Agrarian University. Series «Architecture and Agricultural Construction», (19), 57–60. <https://doi.org/10.31734/architecture2018.19.057>
2. Osadchuk, T., Famulyak, Yu., Demchyna, B., & Bezpalko, V. (2024). Calculation of multi-layered glass structures based on the concept of equivalent thickness and the finite element method. Resource-saving materials, constructions, buildings and structures: collection of scientific papers, (46), 266–274. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i46.31>.

Дослідження теплових властивостей вентилязованих фасадів

Олена Олексієнко, канд. техн. наук, <http://orcid.org/0000-0002-5329-2217>

Інститут Техніки Будівельної, ІТБ, (м. Варшава, Польща)

Мета дослідження – визначення теплотехнічних властивостей та критеріїв конструкційної придатності елементів підконструкцій вентилязованих фасадів (консолів) із застосуванням полімерів за допомогою 3D моделювання. Зовнішній вигляд і конструктивна схема консолей вентилязованих фасадів наведені на рис. 1.

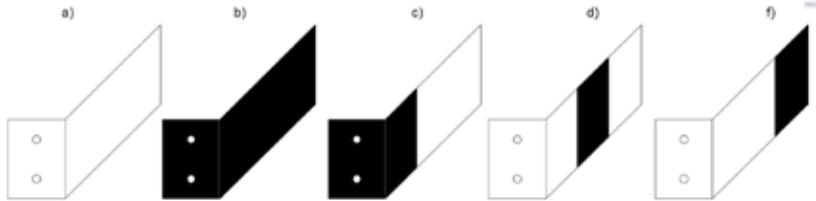


Рис.1 - Консолі з теплоізоляційними вставками з полімеру (показані чорним кольором): а) сталева (алюмінієва) консоль; б) композитна консоль; в) композит в основі; д) вставка з полімеру в середині консолю; е) вставка з полімеру в кінці консолю

Щоб зменшити вплив теплових містків холоду на теплоізоляційні властивості зовнішніх стін у системах вентилязованих фасадів, все частіше використовуються елементи підконструкції, що складаються з кількох матеріалів: металів та полімерних композитів. Ці відносно нові продукти оцінюються за допомогою методів, присвячених металевим підконструкціям. У зв'язку з вищевикладеним виникає необхідність вибору методів дослідження для визначення доцільності використання підконструкцій вентилязованих фасадів, консолей з полімерними елементами.

Враховання характерних, раніше не перевірених технічних особливостей підконструкції вентилязованих фасадів із застосуванням полімерів, дозволить визначити теплотехнічні властивості та знизити інтенсивність термічної відмови вентилязованих фасадів, що позитивно вплине на безпеку експлуатації будівлі. В обсяг робіт входять питання щодо безпеки використання та теплоізоляційних властивостей підконструкції для виконання вентилязованих фасадів з полімерними елементами.

Визначено точкові коефіцієнти теплопередачі підконструкцій вентилязованих фасадів з використанням системних пасивних консолей з мінераловатним утеплювачем товщиною 150/180/200/220 мм для 3 типів зовнішніх стін (залізобетон, поротерм, силікат).

Розміри та типи використаних матеріалів були прийняті відповідно до креслень САД та технічної документації. У розрахунках враховується монтажний профіль в теплоізоляційному шарі. Розрахунок теплових потоків виконано відповідно за результатами моделювання тривимірних температурних полів за допомогою програми SOLIDO PHYSIBEL.

У результаті моделювання тривимірних температурних полів проведено аналіз точкових коефіцієнтів теплопередачі для різних конструктивних рішень вентилязованих фасадів, розташування та конструкції консолей. Отримані результати дозволяють визначити основні принципи вибору методів зменшення точкових теплових містків. Аналіз також був спрямований на визначення порядку величини поправки на коефіцієнт теплопередачі з урахуванням різних рішень стін і опорних консолей.

1. Alghamdi, A.; Alharthi, A.; Alanazi, A.; Halawani, M. Effects of Metal Fasteners of Ventilated Building Facade on the Thermal Performances of Building Envelopes. Buildings 2021, 11, pp. 267.
2. Theodosiou, T.; Tsikaloudaki, K.; Bikas, D. Analysis of the Thermal Bridging Effect on Ventilated Facades. Procedia En-viron. Sci. 2017, 38, pp. 397–404.
3. Ujma, A.; Pomada, M. Analysis of the temperature distribution in the place of fixing the ventilated facade. E3S Web Conf. 2019, 97.

Research into the thermal properties of ventilated facades

Olena. Oleksiienko, candidate of technical sciences, <http://orcid.org/0000-0002-5329-2217>

Warsaw Institute of Building Technology

The purpose of the study is to determine the thermal properties and criteria for the structural suitability of the elements of the substructures of ventilated facades (consoles) using polymers using 3D modeling. The appearance and structural diagram of the consoles of ventilated facades are shown in Fig. 1.

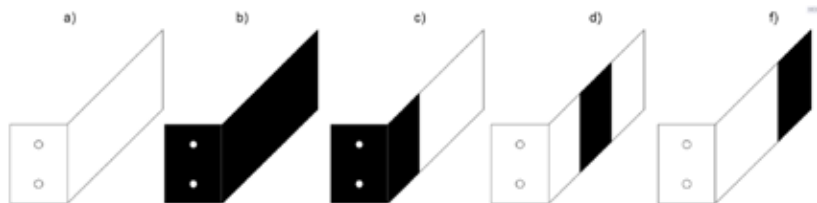


Fig. 1 - Consoles with thermal insulation inserts made of polymer (shown in black): a) steel (aluminum) console; b) composite console; c) composite at the base; d) polymer insert in the middle of the console; e) polymer insert at the end of the console

To reduce the impact of thermal bridges on the thermal insulation properties of external walls in ventilated facade systems, substructure elements consisting of several materials are increasingly used: metals and polymer composites. These relatively new products are evaluated using methods dedicated to metal substructures. In connection with the above, there is a need to select research methods to determine the feasibility of using substructures of ventilated facades, consoles with polymer elements.

Taking into account the characteristic, previously untested technical features of the substructure of ventilated facades using polymers will allow determining the thermal properties and reducing the intensity of thermal failure of ventilated facades, which will positively affect the safety of building operation. The scope of work includes issues of safety of use and thermal insulation properties of the substructure for the implementation of ventilated facades with polymer elements.

The point heat transfer coefficients of the substructures of ventilated facades were determined using system passive consoles with mineral wool insulation with a thickness of 150/180/200/220 mm for 3 types of external walls (reinforced concrete, porotherm, silicate).

The dimensions and types of materials used were taken in accordance with CAD drawings and technical documentation. The calculations take into account the mounting profile in the thermal insulation layer. The calculation of heat flows was performed according to the results of modeling three-dimensional temperature fields using the SOLIDO PHYSIBEL program.

As a result of modeling three-dimensional temperature fields, an analysis of point heat transfer coefficients was performed for various design solutions of ventilated facades, the location and design of consoles. The results obtained allow us to determine the main principles of choosing methods for reducing point thermal bridges. The analysis was also aimed at determining the order of magnitude of the correction to the heat transfer coefficient taking into account different solutions of walls and supporting consoles.

1. Alghamdi, A.; Alharthi, A.; Alanazi, A.; Halawani, M. Effects of Metal Fasteners of Ventilating Building Facade on the Thermal Performances of Building Envelopes. *Buildings* 2021, 11, pp. 267.
2. Theodosiou, T.; Tsikaloudaki, K.; Bikas, D. Analysis of the Thermal Bridging Effect on Ventilating Facades. *Procedia En-viron. Sci.* 2017, 38, pp. 397–404.
3. Ujma, A.; Pomada, M. Analysis of the temperature distribution in the place of fixing the ventilating facade. *E3S Web Conf.* 2019, 97.

Деформаційні характеристики залізобетонних конструкцій з високоміцного бетону

Олена Мельничук, асистент кафедри будівництва, <https://orcid.org/0000-0002-4370-0221>

Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича (м. Чернівці)

Метою роботи є дослідження деформаційних характеристик залізобетонних конструкцій, виготовлених із високоміцного бетону, з метою визначення їх поведінки під навантаженням та обґрунтування можливостей ефективного використання в сучасному будівництві. рис. 1.



Рис.1. Характер випробування кубиків: а) клас бетону С20; б) клас бетону С60; в) клас бетону С80.

У процесі проектування та підготовчого етапу було проведено серію експериментів з підбору оптимального складу високоміцного бетону для забезпечення високої міцності, щільності та інших фізико-механічних характеристик. Розглядалися склади з використанням високоякісних і доступних матеріалів, серед яких — метакаолін і гіперпластифікатор STACHEMENT 2597. Усі використані компоненти були стандартизовані.

В рамках дослідження проаналізовано вплив вмісту метакаоліну (10%, 20% та 30% від маси цементу) на характеристики бетону класу С60. Результати випробувань показали, що оптимальним є додавання 10%, оскільки вища концентрація призводить до збільшення в'язкості суміші та погіршення її міцності.

Суперпластифікатор застосовувався згідно з технічними рекомендаціями. Подальші експерименти включали виготовлення зразків для порівняння властивостей бетонів класів С20, С60 і С80. Вивчалася поведінка матеріалу при руйнуванні. У зразках класів С60 та С80 спостерігалася характерне крихке руйнування з вертикальними тріщинами та відколами на гранітному заповнювачі, що свідчить про високу міцність та щільність сумішей.

У роботі досліджено деформаційні характеристики залізобетонних конструкцій із високоміцного бетону з додаванням метакаоліну та гіперпластифікатора STACHEMENT 2597. Вивчено вплив різних концентрацій метакаоліну (10%, 20%, 30%) на бетон класу С60. Оптимальним виявився склад з 10% метакаоліну. Проведено порівняння бетонів класів С20, С60 та С80. Встановлено, що вищі класи мають крихке руйнування та менші прогини. Балки серій Б-І, Б-ІІ та Б-ІІІ показали різні схеми тріщиноутворення. Найменші міцнісні характеристики були у балок Б-І. Прогини бетонів С20 значно менші у порівнянні з С60 та С80.

1. Кудик О.В., Журавський О.Д., 2017. Міцність та стійкість до тріщин гнутих елементів високоміцного бетону. Теорія та практика будівельних конструкцій, Ви-пуск 1, 199-204 <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a85667cb-f617-43f5-9383-eac5105fd72/content>
2. Olena Kutsyk., 2018. Efficiency of use of high-strength concrete in reinforced concrete structures. Transfer of Innovative Technologies 2018 Vol 1(1), 65-74 https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/19/2018_1_1/03.01%20Kutsyk.pdf

Deformation Characteristics of Reinforced Concrete Structures Made of High-Strength Concrete

Olena Melnychuk, Assistant at the Department of Construction <https://orcid.org/0000-0002-4370-0221>

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University (Chernivtsi)

The aim of this study is to investigate the deformation characteristics of reinforced concrete structures made of high-strength concrete in order to determine their behavior under load and to justify their effective use in modern construction. Fig. 1.

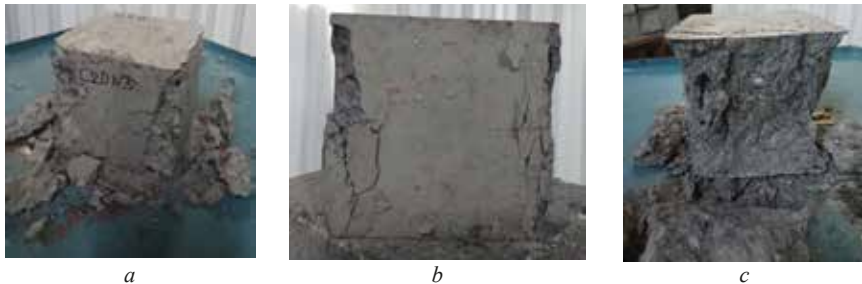


Fig.1. Character of the test of cubes: *a* – concrete class C20; *b* – concrete class C60; *c* – concrete class C80

During the design and preparatory stages, a series of experiments was conducted to determine the optimal composition of high-strength concrete to ensure high strength, density, and other physical and mechanical properties. The study considered mixtures using high-quality and readily available materials, including metakaolin and the superplasticizer STACHEMENT 2597. All components used were standardized. The study analyzed the impact of metakaolin content (10%, 20%, and 30% by mass of cement) on the properties of C60 concrete. The test results showed that the optimal addition is 10%, as higher concentrations led to an increase in the mixture's viscosity and a deterioration in its strength.

The superplasticizer was used according to technical recommendations. Further experiments involved producing samples to compare the properties of concrete of classes C20, C60, and C80. The material's behavior during failure was studied. In the samples of classes C60 and C80, characteristic brittle failure was observed, with vertical cracks and spalling of the granite aggregate, indicating high strength and density of the mixtures.

The study investigated the deformation characteristics of reinforced concrete structures made of high-strength concrete with the addition of metakaolin and the superplasticizer STACHEMENT 2597. The impact of different concentrations of metakaolin (10%, 20%, and 30%) on C60 concrete was examined. The optimal composition was found to be 10% metakaolin. A comparison of C20, C60, and C80 concretes was made. It was established that higher-grade concretes exhibited brittle failure and smaller deflections. Beams from series B-I, B-II, and B-III showed different crack formation patterns. The lowest strength characteristics were observed in B-I beams. The deflections of C20 concrete were significantly smaller compared to C60 and C80.

1. Kutsyk O.V., Zhuravskiy O.D., 2017. Strength and Crack Resistance of Bent Elements of High-Strength Concrete. Theory and Practice of Building Structures, Issue 1, 199-204. <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a85667cb-f617-43f5-9383-eac5105fd72/content>
2. Kutsyk Olena, 2018. Efficiency of the Use of High-Strength Concrete in Reinforced Concrete Structures. Transfer of Innovative Technologies 2018, Vol 1(1), 65-74. https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/19/2018_1_1/03.01%20Kutsyk.pdf

Просторова модель за геодезичними даними куполу глядацької зали національного академічного драматичного театру імені Лесі українки

Михайло Яковенко, завідувач лабораторії, <https://orcid.org/0000-0001-7800-8166>;

Євген Зорін, провідний інженер, <https://orcid.org/0000-0002-1449-3278>;

Ігор Бень, провідний інженер, <https://orcid.org/0000-0003-3386-5433>

ДП Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій (м. Київ)

Мета дослідження – на основі геодезичних даних створити просторову модель та поверхню, що надасть можливість виявити зміни відносно проектного положення та провести аналіз деформаційних змін, що відбулися в процесі експлуатації. Визначити фактичне просторове положення контурів куполу глядацької зали основної сцени Національного академічного драматичного театру імені Лесі Українки. Дослідження входять до складу робіт з обстеження технічного стану конструкцій покриття куполу глядацької зали.

Зовнішній вигляд куполу глядацької зали приведено на рис. 1. Фактична просторова поверхня побудована ізолініями з кроком 150 мм представлено на рис. 2.



Рис.1. Загальний вигляд куполу глядацької зали (фото зі сцени театру)

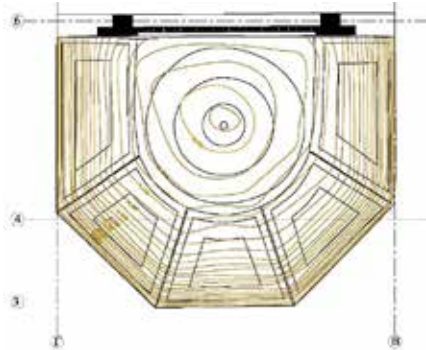


Рис.2 Фактична поверхня побудована ізолініями з кроком 0.15 м

Купол глядацької зали основної сцени театру має форму, що наближена до півсфери, тож для того аби виявити зміну від проектного положення потрібно отримати фактичну поверхню. Отримання фактичної поверхні вирішено шляхом координування контурів куполу глядацької за допомогою тахеометра, тобто методом вільної станції (вибрано оптимальне місце стояння кутомірного приладу, яке дозволить з двох точки відзняти всю необхідну інформацію), в результаті чого було отриману хмару точок по якій графічним способом виокремлено контури куполу. Детально технологію геодезичних робіт представлено в роботах [1-2].

Шляхом камерального опрацювання отримано детальну просторову модель фактичної поверхні куполу глядацької зали основної сцени театру, що дає можливість отримати всі необхідні розміри та відхилення від проектного положення. За матеріалами моделі отримано поверхню по якій вдалося виявити критичні зони деформування куполу. В місця деформування виявлено пошкодження конструкцій покриття.

1. Сергійчук, В., Яковенко, М., Нестеренко, О., Зорін, С., & Бень, І. (2024). Геодезичне забезпечення комплексу робіт з обстеження будівель, що постраждали внаслідок військових дій на прикладі ЖК «Династія» В м. Києві. *Наука та будівництво*, 40(2). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2024-1>
2. Зеленко, С., Яковенко, М., Зорін, С., Нестеренко, О., & Бень, І. (2025). Граничні деформації геометричних параметрів зерносховищ (металевих силосів) та оцінка їх технічного стану на основі геодезичних обстежень. *Наука та будівництво*, 42(4). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2024-3>

Spatial model based on geodetic data of the auditorium dome of the Lesya Ukrainka National Academic Drama Theater

Mykhailo Yakovenko, Head of the Laboratory of instrumental and engineering-geodetic studies of building and structure deformations, <https://orcid.org/0000-0001-7800-8166>

Yevhen Zorin, Leading Engineer of the Laboratory of instrumental and engineering-geodetic studies of building and structure deformations, <https://orcid.org/0000-0002-1449-3278>

Igor Ben, Leading Engineer of the Laboratory of instrumental and engineering-geodetic studies of building and structure deformations, <https://orcid.org/0000-0003-3386-5433>

State Research Institute of Building Constructions

The aim of the research is to create a spatial model and surface based on geodetic data, which will make it possible to detect deviations from the design position and to analyze the deformation changes that have occurred during operation. The objective is to determine the actual spatial position of the dome contours of the auditorium of the main stage of the Lesya Ukrainka National Academic Drama Theater.

The research is part of the work on the technical inspection of the dome roof structures of the auditorium.

The external view of the auditorium dome is shown in Fig. 1. The actual spatial surface, constructed using contour lines with a 150 mm interval, is shown in Fig. 2.



Fig. 1. General view of the auditorium dome (photo taken from the theater stage)

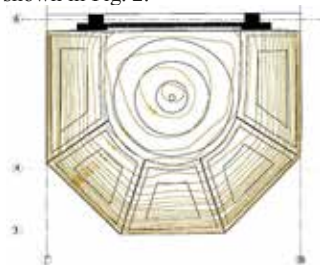


Fig. 2. The actual surface was constructed using contour lines with a 0.15 m interval

The dome of the auditorium of the theater's main stage has a shape close to a hemisphere. Therefore, in order to detect deviations from the design position, it is necessary to obtain the actual surface. This was achieved by determining the coordinates of the dome contours using a total station through the free station method (the optimal instrument setup location was selected to allow full data acquisition from two points). As a result, a point cloud was obtained, from which the dome contours were graphically delineated. The geodetic work methodology is presented in detail in studies [1–2].

Through office processing, a detailed spatial model of the actual surface of the auditorium dome of the theater's main stage was generated. This model allows for determining all the necessary dimensions and deviations from the design position. Based on the model data, a surface was created that made it possible to identify critical deformation zones of the dome. In the deformation areas, damage to the dome roof structures was detected.

1. Serhiychuk, V., Yakovenko, M., Nesterenko, O., Zorin, Y., & Ben, I. (2024). Geodetic Support of the Complex of Works on the Inspection of Buildings Damaged as a Result of Military Actions on the Example of the “Dynasty” Residential Complex in Kyiv. *Science and Construction*, 40(2). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2024-1>
2. Zelenko, Y., Yakovenko, M., Zorin, Y., Nesterenko, O., & Ben, I. (2025). Limit Deformations of the Geometric Parameters of Grain Storage Facilities (Metal Silos) and Assessment of Their Technical Condition Based on Geodetic Surveys. *Science and Construction*, 42(4). <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2024-3>

Реакція сталевого резервуара на вплив імпульсного навантаження

Олександр Глітін, канд. техн. наук, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0003-1697-6473>;

Сергій Радецький, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-5798-1987>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – провести оцінку реакції замкненої сталеві ємності на вплив імпульсного навантаження, викликаного вибухом, виконати порівняння експериментальних даних з теоретичними, отриманими в результаті розрахунку. Зовнішній вигляд експериментальної моделі до і після експерименту наведені на рис.1 та 2



Рис.1 - Загальний вигляд випробуваної конструкції



Рис.2 - Вид на конструкцію після експерименту

У рамках експериментального дослідження, проведеного у вибухозахисному приміщенні, було вивчено поведінку циліндричного сталеві резервуара після дії реального вибуху. Ємність без додаткових елементів жорсткості (ребер, люків), має наступні геометричні характеристики:

- діаметр – 219 мм;
- довжина – 880 мм;
- товщина стінки – 1,0 мм.

Резервуар було встановлено горизонтально на металеві опори на відстані 2,5 м від епіцентру вибуху (по горизонталі) та на висоті 1,2 м від підлоги. Вибух здійснювався на висоті 0,2 м від підлоги.

Маса вибухової речовини у тротиловому еквіваленті становила 1,4 кг.

В результаті експерименту було отримано характер і величини деформацій для порівняння з результатами нелінійного розрахунку.

1. Білик С.І., Білик А.С., Нужний В.В. Загальна класифікація ударних навантажень на захисні споруди // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів (КЗЯТПС – 2023): матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 25-26 травня 2023 р.) : у 2т. / Національний університет “Чернігівська політехніка” [та ін.]. – Чернігів : НУ “Чернігівська політехніка”, 2023. – Т.2. – с. 151-153 [Тези онлайн](#)
2. Кобів В.Г., (2006). Особливості деформування та визначення специфіки впливу зовнішніх факторів на оболонкові системи при імпульсних діях великої потужності. Опір матеріалів і теорія споруд. 2006, №78, с. 82–89.

Reaction of a Steel Tank to Impulsive Loading

Oleksandr Glitin, PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal and Wooden Structures, <https://orcid.org/0000-0003-1697-6473>;

Serhii Radetskyi, Postgraduate of the Department of Metal and Wooden Structures, <https://orcid.org/0000-0001-5798-1987>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The purpose of this study is to evaluate the response of a closed steel tank to impulsive loading caused by an explosion and to compare the experimental results with theoretical calculations. The appearance of the experimental model before and after testing is shown in Fig. 1 and 2.



Fig.1 - General view of the tested structure



Fig.2 - View of the structure after the experiment

Within the experimental study, carried out in a blast-protected facility, the behavior of a cylindrical steel tank subjected to a real explosion was investigated. The tank, without additional stiffening elements (ribs, hatches), has the following geometric characteristics:

- Diameter — 219 mm;
- Length — 880 mm;
- Wall thickness — 1.0 mm.

The tank was placed horizontally on metal supports at a distance of 2.5 meters from the explosion epicenter (horizontally) and at a height of 1.2 meters above the floor. The explosion was initiated at a height of 0.2 meters above the floor.

The mass of the explosive material, in TNT equivalent, was 1.4 kg.

As a result of the experiment, the deformation patterns and magnitudes were obtained for comparison with nonlinear calculation results.

1. Bilyk S.I., Bilyk A.S., Nuzhnyi V.V. General classification of shock loads on protective structures // Comprehensive Quality Assurance of Technological Processes (CQATP – 2023): Abstracts of the XIII International Scientific and Practical Conference (Chernihiv, May 25-26, 2023), in 2 volumes / National University “Chernihiv Polytechnic” [et al.] – Chernihiv: NU “Chernihiv Polytechnic”, 2023. – Vol. 2. – P. 151–153. (Online abstracts)
2. Kobiyev V.H. (2006). Features of deformation and determination of the influence of external factors on shell systems under high-intensity impulsive actions. *Strength of Materials and Theory of Structures*, 2006, No. 78, pp. 82–89.

Відновлення експлуатаційної придатності великопанельних будинків, пошкоджених внаслідок воєнних дій

Віктор Караван, канд. техн. наук, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0000-0002-8261-692X>

Максим Лазаренко, аспірант кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0009-0003-1350-462X>

Національний університету водного господарства та природокористування (м. Рівне)

Мета дослідження – розроблення технічних рішень, удосконалення методики розрахунку підсилення конструкцій та розроблення рекомендацій з відновлення експлуатаційної придатності великопанельних об’єктів, пошкоджених внаслідок воєнних дій.

Руйнування великопанельного житлового будинку і влаштування закладної деталі на хімічних анкерах в існуючій панелі наведені на рис. 1 та 2.



Рис.1 - Руйнування частини блок-секції великопанельного багатоквартирного житлового будинку на вул. захисників України, 25 в м. Умань



Рис.2 - Підготовлена до зварювання закладна деталь на хімічних анкерах

Будівлі, що зазнали значних пошкоджень (руйнування з обваленням частини каркасу) при відновленні потребують технічних рішень, які враховують об’єднання для спільної роботи існуючих та нових панелей. Ключовим питанням відновлення експлуатаційної придатності панельних будинків постає надійність вузлів з’єднань існуючих і нових панелей. Розрахунки закладних деталей мають врахувати роботу будівлі при відновленні, коли в елементах закладних деталей виникають різні напружено-деформованим станом існуючої та нової частини будівлі. Кріплення нових закладних деталей до існуючих панелей потребують експериментальної перевірки.

1. Мелашенко Ю., Слосаренко Ю., Іщенко Ю., Павлюк Є. Досвід обстеження панельних будинків, пошкоджених внаслідок бойових дій. Наука та будівництво, 2023, №2, с. 41-50. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2023-5>
2. Бамбура А.М., Дорогова О.В. Особливості проектування за ДСТУ 9294:2024 «Розрахунок будівель на стійкість до прогресуючого (непропорційного) обвалення». Наука та будівництво, 2024, №3, с. 10-14. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2024-2>
3. Методика проведення обстеження та оформлення його результатів. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 06 серпня 2022 року № 144.
4. ДСТУ 9273:2024 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2024.

Restoration of the operating suitability of large-panel buildings damaged as a result of military actions

Viktor Karavan, Candidate of technical sciences, associate Professor of the Department of Industrial, Civil Engineering and Engineering Structures, <https://orcid.org/0000-0002-8261-692X>

Maxim Lazarenko, graduate student of the Department of Industrial, Civil Engineering and Engineering Structures, <https://orcid.org/0009-0003-1350-462X>

The National University of Water and Environmental Engineering (Rivne)

The purpose of the research is to develop technical solutions, improve the methodology for calculating the strengthening of structures and develop recommendations for restoring the operational suitability of large-panel objects damaged as a result of military actions.

The destruction of a large-panel residential building and the installation of the inserts on chemical anchors in the existing panel are shown in Fig. 1 and 2.



Fig. 1 - Destruction of part of the block section of a large-panel multi- apartment building at 25 Zakhisnyky Ukrainy St. in Uman



Fig. 2 - Prepared for welding insert on chemical anchors

Buildings that have suffered significant damage (destruction with the collapse of a part of the frame) during restoration need technical solutions that take into account the combination of existing and new panels for joint work. The key issue in restoring the operability of panel buildings is the reliability of the joints of existing and new panels. Calculations of embedded parts must take into account the operation of the building during restoration, when forces arise in the elements of inserts caused by different stress-deformation conditions of the existing and new parts of the building. Fastening new inserts to existing panels requires experimental verification.

1. Melashenko Yu., Slyusarenko Yu., Ishchenko Yu., Pavlyuk Ye. Experience in surveying of panel houses damaged from hostilities. Science and construction, 2023. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-2-2023-5>
2. Bambura A.M., Dorogova O.V. Features of design according to DSTU 9294:2024 “Calculation of buildings for resistance to progressive (disproportionate) collapse”. Science and Construction, 2024 <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2024-2>
3. Methodology for conducting inspections and documenting its results. Approved by the Order of the Ministry of Community and Territorial Development of Ukraine dated August 6, 2022, No. 144.
4. DSTU 9273:2024 «Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsiniuvannia yikhnoho tekhnichnoho stanu. Mekhanichniy opir ta stiiikist» K.:DP DNDIBV, 2024

Експериментальне дослідження залізобетонних балок за допомогою цифрової кореляції зображень

Зіновій Білярський, докт. техн. наук, професор кафедри будівельних конструкцій та мостів <https://orcid.org/0000-0002-4823-6405>

Назарій Михалевський, аспірант кафедри будівельних конструкцій та мостів, <https://orcid.org/0009-0007-8107-7892>

Павло Вегера, кандидат. техн. наук, доцент кафедри будівельних конструкцій та мостів, <https://orcid.org/0000-0002-3437-1825>

Національний університет «Львівська політехніка» (м. Львів)

Метою цього дослідження є дослідження стану залізобетонних балок за допомогою методу цифрової кореляції зображень. Основним завданням є порівняння та аналіз отриманих експериментальних даних із теоретичними результатами залізобетонної балки під навантаженням. Отримані в процесі експерименту результати підтверджують високу ефективність цього методу для оцінки деформацій залізобетонних конструкцій. Візуальне зображення та конструктивну схему залізобетонної балки можна побачити на рисунках 1 і 2.



Рис.1 - Загальний вигляд залізобетонної балки

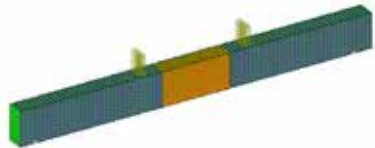


Рис.2 - Розрахункова модель залізобетонної балки

Експериментальне дослідження проводилось в лабораторії кафедри будівельних конструкцій та мостів Національного університету «Львівська політехніка»

Клас бетону C35/45, $L=2100\text{мм}$, $h=200\text{мм}$, $b=100\text{мм}$, робоча арматура-1Ø16A500C, стиснута зона- 2Ø6A240. Навантаження поділено на кілька етапів, яке збільшували з кроком $0.1\text{М}_{\text{шт}}$ від очікуваної несучої здатності.

Експериментальне дослідження було проведено з використанням методу цифрової кореляції зображень, що дозволило здійснити точне вимірювання деформацій залізобетонної балки під навантаженням. За допомогою цього методу були отримані деформації стиснутої зони бетону, арматури та прогини балки. Порівняння отриманих експериментальних даних з теоретичними результатами, показало високу точність та узгодженість, підтверджуючи ефективність методу цифрової кореляції зображень для оцінки напружено-деформованого стану залізобетонних конструкцій. На основі отриманих значень побудовані графіки, що відображають порівняння експериментальних та теоретичних даних. Різниця між значеннями знаходиться в межах 7%, що є в межах допустимої похибки. Отримані результати свідчать про достовірність методів, використаних для аналізу напружено-деформованого стану залізобетонних балок.

1. Mykhalevskiy N.A., Vegera P.I., & Bliharshkyi Z.Y. (2023). Аналіз впливу нерівномірних пошкоджень залізобетонної балки з використанням програмного комплексу FEMAP. Сучасне будівництво та архітектура, 6, 54-61. <http://visnyk-odaba.org.ua/2023-06/6-6.pdf>
2. Bliharshkyi, Yaroslav & Kopyika, Nadiia. (2020). Метод цифрової кореляції зображень для аналізу залізобетонних конструкцій. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, (78), 27-33. 27-33 <http://visnyk-odaba.org.ua/2020-78/5.pdf>

Experimental Study of Reinforced Concrete Beams Using Digital Image Correlation

Zinoviĭ Blikharskyi, DSc professor of the Department of Structural Engineering and Bridges, <https://orcid.org/0000-0002-4823-6405>

Nazarii Mykhalevskiyi, postgraduate student at the Department of Structural Engineering and Bridges, <https://orcid.org/0009-0007-8107-7892>

Pavlo Vegera, PhD, associate professor of the Department of Structural Engineering and Bridges; <https://orcid.org/0000-0002-3437-1825>

Lviv Polytechnic National University

The aim of the study is to assess the condition of reinforced concrete beams using the digital image correlation method. The main task of the research is to process and compare experimental and theoretical deformation data of a reinforced concrete beam under load. The obtained results during the experiment confirm the effectiveness of this method for assessing the deformations of reinforced concrete structures. The appearance and structural scheme of the reinforced concrete beam are shown in Figures 1 and 2.



Fig.1.General view of the reinforced concrete beam

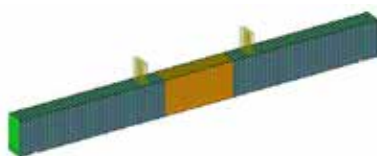


Fig.2. Calculation model of the reinforced concrete beam

The experimental study was carried out at the Laboratory of the Department of Building Structures and Bridges, Lviv Polytechnic National University. The tested element reinforced concrete beam. Concrete class C35/45 and the following dimensions $L=2100$ mm, $h=200$ mm, $b=100$ mm. The tensile reinforcement consisted 1Ø16 A500, and the compression zone reinforced with 2Ø6 A240 bars. The loading was applied in stages with an increment of $0.1M_{ult}$ of the expected ultimate load-bearing capacity.

The experiment was conducted using the Digital Image Correlation (DIC) method, which enabled accurate, non-contact measurements of deformations in the reinforced concrete beam under loading. Strains in the compressed concrete zone, tensile reinforcement, and beam deflections were obtained through DIC analysis. Comparison of the experimental data with theoretical calculations demonstrated high accuracy and consistency, confirming the effectiveness of the Digital Image Correlation method for evaluating the stress-strain behavior of reinforced concrete structures. Graphs were constructed based on the obtained data, illustrating the correlation between experimental and theoretical results. The deviation between the experimental and theoretical values did not exceed 7%. The results validate the reliability of the methods used for analyzing the stress-strain state of reinforced concrete beam

1. Mykhalevskiyi N.A., Vegera P.I., & Blikharskyi Z.Y. (2023). Analysis of the effect of uneven damage of reinforced concrete beam using the FEMAP software package. *Modern construction and architecture*, 6, 54-61. <http://visnyk-odaba.org.ua/2023-06/6-6.pdf>
2. Blikharskyi, Yaroslav & Kopiika, Nadiia. (2020). Digital image correlation method for analysis of reinforced concrete structures. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*. 27-33. <http://visnyk-odaba.org.ua/2020-78/5.pdf>

Пропозиції до нормування вибухових навантажень у відповідності з чинними нормами проектування захисних споруд

Талія Азізов¹, докт. техн. наук, завідувач кафедри техніко-технологічних дисциплін;
<https://orcid.org/0000-0001-9621-9805>

Дмитро Кочкар'юв², докт. техн. наук, завідувач кафедри міського будівництва та господарства <https://orcid.org/0000-0002-4525-7315>

¹Уманський державний педагогічний університет ім. Павла Тичини, Умань

²Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне.

Мета дослідження – розроблення пропозицій щодо нормування навантажень від дії вибухової хвилі.

Чинні норми проектування допускають прямий динамічний аналіз конструкцій захисних споруд при розрахунку на дію ударної повітряної хвилі (п.14.1.1.4 [1]). При цьому регламентується прийматися надмірний тиск повітряної ударної хвилі ΔP_{ex} залежно від класу сховища або групи протирадіаційного укриття (додаток А [1]). Ці норми встановлюють приведені навантаження для відповідних конструктивних схем, а також визначають значення коефіцієнту динамічності залежно від виду конструкції (покриття, стіни тощо). Відомо, що коефіцієнт динамічності залежить від періоду коливань конструкції, що не враховано у ДБН і це є суттєвим недоліком цих норм.

Для виконання динамічних розрахунків на дію ударної повітряної хвилі у загальному необхідно знати: значення тротилового еквіваленту W , кг; відстань від споруди до епіцентру вибуху R , м; форму кривої тиску (лінійна чи нелінійна); час дії навантаження, с.

Пропонується значення W встановити по найбільшому тротилового еквіваленту звичайних засобів ураження $W_{max}=863$ кг. Це значення повинно відповідати максимальному приведеному навантаженню ΔP_{ex} за нормами [1]. Тобто необхідно визначити таку відстань до епіцентру вибуху, за якої прямий тиск ударної повітряної хвилі P дорівнює ΔP_{ex} при $W_{max}=863$ кг. В результаті проведених обчислень за методикою американського стандарту UFC отримано, що для класу сховищ А-I $P=\Delta P_{ex}$ при $W_{max}=863$ кг відстань R повинна складати 15 м. При прийнятті у розрахунок ближчої відстані за даного еквіваленту тротилу надмірний тиск повітряної хвилі буде більшим, ніж той, який вимагають чинні норми проектування [1]. Дану відстань пропонується прийняти для інших типів сховищ та встановити відповідні їм еквіваленти тротилу. Остаточоно встановлені наступні параметри ударних повітряних хвиль: А-I (500 кПа) – $W_{A-I}=863$ кг; А-II (300 кПа) – $W_{A-II}=441,9$ кг; А-III (200 кПа) – $W_{A-III}=296,0$ кг; А-IV (100 кПа) – $W_{A-IV}=107,9$ кг. Ці дані дозволяють виконувати динамічний розрахунок захисних споруд у відповідності з ДБН [1]. Найбільш точний розрахунок передбачає завдання великої кількості точок прикладання вибухового навантаження на різній висоті навколо периметру будівлі при встановленій відстані $R=15$ м. Такий розрахунок доволі трудомісткий, тому пропонується приймати рівномірний розподіл тиску (в межах точки Маха, як правило для будівель висотою до 10 м). Також рекомендується встановити бальність ударних повітряних хвиль від 1 до 10 балів.

Наведені пропозиції дозволяють рекомендувати спрощений спектральний метод до розрахунку захисних споруд, суть якого полягає у визначенні інерційних сил за допомогою залежності коефіцієнта динамічності від періоду коливань з відповідними коригуючими коефіцієнтами. У пружній постановці він дозволяє отримувати результати, які добре корелюються із прямим інтегруванням рівнянь руху, навіть для багатомасових систем. До того ж є можливість використання нормованих графіків динамічності (які розроблені авторами) залежно від періоду коливань для встановленої бальності ударних повітряних хвиль.

1. ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту." [Чинні від 01.11.2023] - Київ: Державне агентство з питань будівництва та житлово-комунального господарства України, - 2023. - 122 с.
2. Unified Facilities Criteria (2008), "UFC 3-340-02 Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions", U.S. Army Corps of Engineers, Naval Facilities Engineering Command, Air Force Civil Engineer Support Agency.

Proposals for the standardization of explosive loads in accordance with the current standards for the design of protective structures

Taliat Azizov¹, Doctor of Technical Sciences, head of the Department of technical disciplines; <https://orcid.jrg/0000-0001-9621-9805>

Dmitro Kochkarev², Doctor of Technical Sciences, head of the Department of urban development and economy. Rivne; <https://orcid.jrg/0000-0002-4525-7315>

¹*Pavlo Tychnyna Uman State Pedagogical University, Uman, Ukraine*

²*National University of Water Management and Environmental Management, Rivne, Ukraine*

Current design standards allow for direct dynamic analysis of protective structure structures when calculating for the action of a shock air wave (clause 14.1.1.4 [1]). In this case, it is regulated to take the excessive pressure of the air shock wave ΔP_{ex} depending on the class of the storage or group of the anti-radiation shelter (Appendix A [1]). Standards [1] establish the reduced loads for the corresponding structural schemes, and also determine the value of the dynamic coefficient depending on the type of structures (covering, walls, etc.). It is known that the dynamic coefficient depends on the period of oscillations of the structure, which is not taken into account in this regulatory document, this is a significant drawback of the standards.

To perform dynamic calculations on the effect of a shock air wave, it is generally necessary to know: the value of the TNT equivalent W , kg; the distance from the structure to the epicenter of the explosion R , m; the shape of the pressure curve (linear or nonlinear); the duration of the load, s.

It is proposed to set the value of W according to the largest TNT equivalent of conventional weapons $W_{max}=863$ kg. This value should correspond to the maximum reduced load ΔP_{ex} according to standards [1]. That is, it is necessary to determine such a distance to the epicenter of the explosion at which the direct pressure of the shock air wave P is equal to ΔP_{ex} at $W_{max}=863$ kg. As a result of calculations carried out using the American standard UFC, it was obtained that for the class of storage facilities A-I $P=\Delta P_{ex}$ at $W_{max}=863$ kg, the distance R should be 15 m. When taking into account the closer distance for a given TNT equivalent, the excess air wave pressure will be greater than that required by the current design standards [1]. It is proposed to take this distance for other types of storage facilities and establish the corresponding TNT equivalents. The following parameters of shock air waves have been finally established: A-I (500 kPa) – $W_{A-I}=863$ kg; A-II (300 kPa) – $W_{A-II}=441.9$ kg; A-III (200 kPa) – $W_{A-III}=296.0$ kg; A-IV (100 kPa) – $W_{A-IV}=107.9$ kg. These data allow for dynamic calculation of protective structures in accordance with the DBN [1]. The most accurate calculation involves setting a large number of points of application of the explosive load at different heights around the perimeter of the building at a set distance $R=15$ m. Such a calculation is quite laborious, therefore it is proposed to assume a uniform pressure distribution (within the Mach point, as a rule for buildings up to 10 m high), as regulated by current standards when using the quasi-static calculation method. It is also recommended to establish the score of shock air waves, which will allow normalizing explosive loads from 1 to 10 points. The above proposals allow us to recommend a simplified spectral method for calculating protective structures, the essence of which is to determine inertial forces using the dependence of the dynamic coefficient on the oscillation period with appropriate corrective coefficients. This method allows us to reduce complex equations of motion to a much smaller number in the frequency domain. In the elastic formulation, it allows us to obtain results that correlate well with direct integration of the equations of motion, even for multi-mass systems. In addition, it is possible to use normalized dynamic graphs (developed by the authors) depending on the oscillation period for the established shock air wave score.

1. State Building Codes of Ukraine. (2023). DBN V.2.2-5:2023 "Protective Structures of Civil Protection." [Effective from 01.11.2023]. Kyiv: State Agency for Construction and Housing and Communal Services of Ukraine. 122 p.
2. Unified Facilities Criteria (2008). "UFC 3-340-02 Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions". U.S. Army Corps of Engineers, Naval Facilities Engineering Command, Air Force Civil Engineer Support Agency.

Чисельне моделювання впливу вибухів на захисні споруди цивільного захисту

Тарас Донець, доцент кафедри споруд спеціального призначення, <https://orcid.org/0000-0002-2203-5824>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – розробка оптимальної розрахункової моделі захисних споруд, засобами LIRA-FEM, для оцінки впливу надлишкового тиску вибухової хвилі. Розрахунки було проведено відповідно до вимог ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту" [1].

Станом на сьогодні застосування захисних споруд набувають значних масштабів. Особлива увага приділяється дослідженню міцності та стійкості споруд. Міцність споруди можна досліджувати проведенням натурних випробувань або виконанням чисельного моделювання. Випробувальним центром ДП ДНДІБК постійно проводяться натурні випробування захисних споруд різної конфігурації та призначення (рис. 1, а, б). В свою чергу такі випробування бувають досить дорогавартісними через логістичну складову. Саме тому чисельне моделювання є дуже актуальним аналогом проведення випробувань для оцінки міцності та стійкості захисних споруд.

В залежності від умов встановлення, експлуатації та класу захисних споруд вони будуть зазнавати різного тиску від повітряної ударної хвилі.



Рис.1 – Фрагменти захисної споруди: а) випробування в м. Запоріжжя, 2024 рік; б) випробування в м. Київ, 2025 рік; в) скінчено-елементна модель

Для розробки скінченної моделі було обране конструктивне рішення попередньо випробуваного фрагменту захисної споруди (рис.1, б). Для елементів розрахункової схеми були прийняті проектні значення характеристик матеріалів та задані в ПК LIRA-FEM нелінійними. Завантаження конструкцій прийнято нелінійним, як і при випробуваннях. Для розрахунків захисних споруд не можна використовувати статичне навантаження в зв'язку з отриманням некоректних результатів, які не відображають реалістичну роботу конструкцій.

За результатами проведених розрахунків було отримано НДС (напружено-деформований стан) захисних споруд, розташування і ширину розкриття тріщин та встановлено найбільш оптимальну розрахункову модель, яка відтворювала характер роботи та ступінь пошкодження конструкцій під час випробувань.

1. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту: зі Зміною №2. Вид. офіц. Київ: М-во розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2025. 124 с.

Numerical Modeling of the Impact of Explosions on Civil Protection Shelters

Taras Donets, Associate Professor of the Department of Special Purpose Structures, <https://orcid.org/0000-0002-2203-5824>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The aim of the research is to develop an optimal computational model of protective structures using LIRA-FEM to assess the impact of overpressure from an explosive wave. The calculations were carried out in accordance with the requirements of DBN V.2.2-5:2023 "Protective Structures of Civil Protection" [1].

To date, the use of protective structures has been gaining significant scale. Special attention is given to studying the strength and stability of structures. The strength of a structure can be investigated through full-scale testing or numerical modeling. The Testing Center of the State Research Institute of Building Constructions (SE SRIBC) continuously conducts full-scale tests of protective structures of various configurations and purposes (fig. 1, a, b). These tests, however, can be quite costly due to logistical factors. Therefore, numerical modeling serves as a highly relevant alternative to conducting physical tests for evaluating the strength and stability of protective structures.



Fig. 1 – Fragments of a protective structure: a) testing in Zaporizhzhia, 2024; b) testing in Kyiv, 2025; c) finite element model.

To develop the finite element model, a constructive solution of the previously tested fragment of the protective structure was chosen (fig. 1, b). For the elements of the calculation scheme, the design values of material characteristics were accepted and assigned as nonlinear in the LIRA-FEM software. The loading of the structures was taken as nonlinear, as in the tests. Static loading cannot be used for the calculations of protective structures due to the incorrect results it produces, which do not reflect the realistic behavior of the structures.

As a result of the calculations, the stress-strain state (SSS) of the protective structures was obtained, including the location and width of crack openings, and the most optimal computational model was established, which reproduced the behavior and degree of damage of the structures during the tests.

1. DBN V.2.2-5:2023. Protective Structures of Civil Protection: with Amendment No. 2. Official ed. Kyiv: Ministry for Communities, Territories and Infrastructure Development of Ukraine, 2025. 124 p.

Проблеми адаптації нормативів трудовитрат в умовах сучасності

Василь Доненко¹, докт. техн. наук, професор кафедри Будівництва, урбаністики та просторового планування, <https://orcid.org/0000-0002-5728-5081>;

Дмитро Іваненко², аспірант кафедри Будівельного виробництва та управління проектами, <https://orcid.org/0000-0002-1635-1214>;

Сергій Щербина², студент групи БАД-122, <https://orcid.org/0009-0008-0315-0596>

¹Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Київ)

²Національний університет «Запорізька політехніка» (м. Запоріжжя)

Будівельна галузь є основою економічного зростання. Очікується, що після завершення воєнного стану країна зіткнеться з масштабними завданнями відновлення інфраструктури та будівель спеціального призначення. Метою дослідження є аналіз проблем та пропозиції їх вирішення у підготовці майбутніх інженерів-будівельників в контексті недосконалості визначення дійсності трудовитрат, що відповідають реаліям, при зведенні будівель та споруд.

Здобувачі, виконуючи курсові та дипломні проекти, часто покладаються на застарілі методики та матеріали, які базуються на досвіді попередніх поколінь і відображені в таких нормативних документах, як Єдині норми і розцінки (ЄНіР). Ці документи, хоч і дають змогу визначити трудовитрати при зведенні типових будівель, не містять даних про матеріали сьогодення (вентильовані фасади, сендвіч-панелі, ізоляція спіненим поліуретаном тощо), що ускладнює їх використання в рамках індивідуального будівництва [1]. В результаті створюється розрив між академічною підготовкою та практичними вимогами галузі.

Здобувачі стикаються з труднощами в обґрунтуванні своїх розрахунків, оскільки офіційні джерела не надають відповідних даних, що часто змушує їх повертатися до традиційних матеріалів, які мають чітко визначені норми, але не відповідають сучасним стандартам. Набуття чинності Кошторисних норм України (КНУ) у 2021 році, так наступні зміни до них (Настанови, внесені наказами Міністерства від 30 квітня 2022 р. за №67, від 01 грудня 2022 р. за №244, від 22 вересня 2023 р. за №854 та від 20 березня 2024 р. за №243 тощо), не вирішили проблему, оскільки вони базуються на наведених ЄНіР та, відповідно, РеКН [2].

Однією з основних проблем є відсутність нормативних даних для розрахунку часу та вартості робіт із актуальними матеріалами та обладнанням. Наприклад, акумуляторні підйомники, маніпулятори чи бездротовий інструмент, дозволяють оптимізувати будівельні процеси, але не враховані в ЄНіР.

Для подолання цих викликів актуальним є розробка або модернізація нормативних документів, які відображатимуть реалії будівництва. Стандарти, подібні до ЄНіР, повинні включати дані про час і вартість робіт із сучасними матеріалами та обладнанням. Для цього необхідна співпраця між ЗВО, органами державної влади (зокрема Міністерством розвитку громад і територій України), роботодавцями. Варто запровадити партнерства з будівельними організаціями, які використовують інноваційні технології: стажування, майстер-класи, доступ до актуальних даних про матеріали та інструменти, які дійсно використовуються в будівництві, а не лише згадуються в довідниках.

Модернізація освіти в будівництві є необхідною умовою для підготовки кваліфікованих фахівців, здатних ефективно працювати над післявоєнною відбудовою. Оновлення освітніх програм, модернізація нормативів, співпраця з органами влади та галузевими партнерами дозволять усунути розрив між академічною підготовкою та потребами будівництва. Наведені кроки не лише сприятимуть успішному відновленню країни, а й забезпечать сталий розвиток у майбутньому, створюючи міцну основу для економічного зростання та добробуту.

1. Кошторисні норми на нові технології і матеріали в будівництві / Уклад. С.В. Черніцький. - Івано-Франківськ: Місто НВ, 2007. - 212 с. - ISBN 978-966-428-030-0
2. Левченко Н.М., Іваненко Д.С., Бейнер Н.В., Бейнер П.С., Сремка О.М (2024). Ціноутворення в будівництві з використанням інформаційного моделювання. *Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. Вип. №45*. С.416-428. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i45.48>

Challenges of adapting labor effort standards to modern conditions

Vasyl Donenko¹, *doctor of technical sciences, Department of Construction, Urbanism and Spatial Planning, <https://orcid.org/0000-0002-5728-5081>;*

Dmytro Ivanenko², *PhD, Department of Construction Production and Project Management, <https://orcid.org/0000-0002-1635-1214>;*

Serhii Shcherbyna², *student of the group BAD-122, <https://orcid.org/0009-0008-0315-0596>*

¹*Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*

²*National University Zaporizhzhia Polytechnic*

The construction industry serves as a cornerstone of economic growth. Following the cessation of martial law, Ukraine is expected to face significant challenges in restoring infrastructure and specialized buildings. The purpose of this study is to analyze the issues and propose solutions for training future construction engineers, particularly in the context of the inadequacy of current labor effort standards that reflect modern realities in the construction of buildings and structures.

Students, while working on coursework and diploma projects, often rely on outdated methodologies and materials rooted in the experience of previous generations and documented in regulatory standards such as the Unified Norms and Prices (UN&P). Although these documents enable the determination of labor efforts for typical buildings, they lack data on contemporary materials, such as ventilated facades, sandwich panels, and sprayed polyurethane foam insulation, which complicates their application in bespoke construction projects [1]. This creates a gap between academic training and the practical demands of the industry.

Students encounter difficulties in justifying their calculations due to the absence of relevant data in official sources, often forcing them to revert to traditional materials with clearly defined norms that do not meet modern standards. The introduction of the Estimate norms of Ukraine in 2021, along with subsequent amendments (Guidelines issued by the Ministry of Communities and Territories Development of Ukraine through Orders No. 67 of April 30, 2022, No. 244 of December 1, 2022, No. 854 of September 22, 2023, and No. 243 of March 20, 2024), has not resolved the issue, as these standards are based on the outdated UN&P and Resource-Based Cost Estimation Norms [2].

A primary challenge is the lack of normative data for calculating the time and cost of works involving modern materials and equipment. For instance, battery-powered lifts, manipulators, and cordless tools optimize construction processes but are not accounted for in UN&P.

To address these challenges, it is essential to develop or update regulatory documents that reflect current construction realities. Standards similar to UN&P should include data on the time and cost of works with modern materials and equipment. This requires collaboration between higher education institutions, government bodies (notably the Ministry of Communities and Territories Development of Ukraine), and industry employers. Partnerships with construction companies utilizing innovative technologies should be established, offering internships, workshops, and access to up-to-date data on materials and tools actively used in construction, rather than those merely listed in reference materials.

Modernizing construction education is a prerequisite for preparing qualified professionals capable of contributing to post-war reconstruction. Updating curricula, revising standards, and fostering collaboration with authorities and industry partners will bridge the gap between academic training and industry needs. These measures will not only facilitate successful national recovery but also ensure sustainable development, laying a robust foundation for economic growth and societal well-being.

1 Cost estimation standards for new technologies and materials in construction / Compiled by S.V. Chernytskyi. - Ivano-Frankivsk: Misto NV, 2007. - 212 p. - ISBN 978-966-428-030-0.

2. Levchenko N.M., Ivanenko D.S., Beiner N.V., Beiner P.S., Yermka O.M. (2024). Pricing in construction using information modeling. *Resource-efficient materials, structures, buildings and structures, issue 45*. P. 416-428. DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i45.48>

Проектвання захисної споруди об'єкту енергетичної інфраструктури

Ліяс Дамнаті, аспірант кафедри опору матеріалів, <https://orcid.org/0009-0001-2756-7934>

Людмила Григор'єва, канд.ф.-м.наук, доцент кафедри опору матеріалів, <https://orcid.org/0000-0001-7013-0327>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

В даний час актуальними стають питання безпеки будинків при терористичних актах різного характеру, у тому числі при атаках безпілотними літальними апаратами (БПЛА). У дослідженні розглянуто один із варіантів інженерного захисту автотрансформатору від даної загрози, а також варіанти побудови об'ємно-планувальної структури для забезпечення максимального захисту людей, що знаходяться в будівлі. Автотрансформатори є одними з найбільш критичних компонентів. Відмова трансформатора може призвести до падіння потужності та значних перерв в електроживленні споживачів. [1]

Питанням захисту об'єктів критичної інфраструктури присвячена значна кількість наукових досліджень. Досить повно, щодо країн Європи, це питання розглянуто у праці [2].

Мета дослідження – запроєктувати захисну залізобетонну споруду автотрансформатору із комбінованим двошаровим покриттям. Кожний шар покриття складається із монолітної залізобетонної плити, що влаштовується по металевим зварним двотавровим балкам. Зробити розрахунок несучої спроможності вузла примикання металевих балок до залізобетону через закладну деталь. Проаналізувати результати несучої спроможності вузла, що отримані в результаті нелінійного розрахунку у програмному забезпеченні Idea Statica.

Для елементів енергетичного розподілу характерним пошкодженням є пробиття осколками стінок трансформаторів, реакторів та баків-розширювачів на них, що призводять до вилливу мастила і можливої подальшої пожежі. [1]

Двошарова залізобетонна захисна конструкція з повітряним проміжком є інженерною спорудою підвищеної стійкості до впливу ударної хвилі, уламків і кінетичних вражаючих елементів. Дана конструкція ефективно гасить енергію вибуху за рахунок послідовного проходження ударної хвилі через кілька перешкод різної густини.

Структурні елементи споруди:

- Зовнішній захисний шар (армована залізобетонна плита, товщиною 400 мм, що влаштовується по металевим зварним балкам двотаврового профілю. В стіни замонітовуються закладні деталі, на які ставляться металеві балки). Функція: прийняття на себе основного удару, руйнування і фрагментація босприпасу;
- Повітряний проміжок (2000 мм). Функція: розсіювання енергії вибуху та послаблення ударної хвилі;
- Внутрішній захисний шар (армована залізобетонна плита, товщиною 400 мм, влаштовується по тому самому принципу, що й зовнішній захисний шар). Функція цього елемента споруди полягає у поглинанні остаточної енергії вибуху і затримці осколків.

Стіни – залізобетонні, товщиною 1000 мм.

Розрахунок параметрів захисної споруди включає визначення: а) товщини та армування залізобетонних конструкцій; б) міцності бетону та класу арматури; в) конфігурації споруди (наявність захисних екранів, козирків); г) багатошаровості конструкцій (комбінації матеріалів).

Один з етапів проектування складався з моделювання та розрахунку в програмному комплексі Idea Statica вузла опирання металевої балки на залізобетонну стіну через закладну деталь; визначення фактичних еквівалентних напружень металевих елементів (балки, закладної деталі, зварних швів та болтів) в опорній зоні та порівнянні їх з допустимими.

1. Основи інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України від засобів повітряного нападу противника: монографія, / [М.В. Коваль, В.В. Коваль, А.С. Блик, В.І. Коцюрба, О.М. Кубаков]; під ред. А.С.Білика. – К.: Генеральний штаб Збройних Сил України. 2023. – 185 с.
2. Єрменчук О.П. Основи підходи до організації захисту критичної інфраструктури в країнах Європи: досвід для України: монограф. / О. П. Єрменчук. – Дніпро: Дніпроп. держ. ун-т внутр. справ, 2018. – 180 с.

Design of a Protective structure for an Energy Infrastructure Facility.

Ilias Damnati, Postgraduate Student of the Department of Strength of Materials, <https://orcid.org/0009-0001-2756-7934>

Liudmyla Hryhorieva, Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor of the Department of Strength of Materials, <https://orcid.org/0000-0001-7013-0327>

Kyiv National University of constructure and architecture

Currently, the safety of buildings during various types of terrorist attacks, including those involving unmanned aerial vehicles (UAVs), is becoming increasingly relevant. This study examines one of the options for engineering protection of an autotransformer from such threats, as well as possible approaches to designing a spatial layout to ensure maximum protection for people inside the building. Autotransformers are among the most critical components. A transformer failure can lead to power loss and significant disruptions in electricity supply to consumers. [1]

A considerable number of scientific studies are dedicated to the protection of critical infrastructure facilities. In European countries, this issue is thoroughly addressed in the work [2].

The aim of the study is to design a reinforced concrete protective structure for the autotransformer with a combined two-layer cover. Each layer of the cover consists of a monolithic reinforced concrete slab installed on welded steel I-beams. The task includes calculating the load-bearing capacity of the connection node between the steel beams and the concrete structure via an embedded part. The results of the load-bearing capacity are analyzed based on a nonlinear calculation using Idea Statica software.

Typical damage to power distribution elements is puncturing of transformer, reactor, and expansion tank walls by shrapnel, leading to oil leakage and potential fires. [1]

The two-layer reinforced concrete protective structure with an air gap is an engineering solution offering enhanced resistance to blast waves, shrapnel, and kinetic damaging elements. This design effectively dissipates the explosion energy by forcing the blast wave to pass through several layers of varying density.

Structural elements of the protective structure:

- External protective layer (a reinforced concrete slab, 400 mm thick, installed on welded I-beams. Embedded parts are cast into the walls to support the steel beams). Function: To absorb the main impact, destroy and fragment the explosive device;
- Air gap (2000 mm). Function: To dissipate the explosion energy and weaken the blast wave;
- Internal protective layer (a reinforced concrete slab, 400 mm thick, constructed similarly to the external layer). Function: To absorb the remaining explosion energy and stop shrapnel.

Walls – reinforced concrete, 1000 mm thick.

The calculation of the protective structure's parameters includes determining: a) the thickness and reinforcement of the concrete structures; b) concrete strength and reinforcement class; c) configuration of the structure (presence of protective screens, overhangs); d) multi-layer composition of the structure (material combinations).

One stage of the design process included modeling and calculating in Idea Statica software the support node of the steel beam resting on the reinforced concrete wall via an embedded part; determining the actual equivalent stresses in the steel components (beam, embedded part, welded joints, and bolts) in the support zone and comparing them with permissible values.

1. Yermenchuk O.P. "Main Approaches to Organizing the Protection of Critical Infrastructure in European Countries: Experience for Ukraine" — monograph / O.P. Yermenchuk. – Dnipro: Dnipropetrovsk State University of Internal Affairs, 2018. – 180 p.
2. Foundations of Engineering Protection of Critical Infrastructure Objects in Ukraine's Energy Sector from Air Attack Means of the Enemy — monograph, / [M.V. Kovaly, V.V. Kovaly, A.S. Bilyk, V.I. Kozyruba, O.M. Kubrakov]; edited by A.S. Bilyk. – Kyiv: General Staff of the Armed Forces of Ukraine, 2023. – 185 p.

СЕКЦІЯ 2

«Сучасні будівельні матеріали»

100 РОКІВ ЯКІСТЬ №1 МАТЕРІАЛИ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ



SIKA - СВІТОВИЙ
ЛІДЕР У ГАЛУЗІ
БУДІВЕЛЬНОЇ ХІМІЇ

БУДЕМО ДОВІРУ



Можливості SikaCarboDur Software при розрахунках посилень будівельних конструкцій

¹Олександр Панченко, канд.техн.наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <http://orsid.org/0000-0003-1634-0715>

²Юрій Собко, канд.техн.наук, доцент кафедри Автомобільних доріг та мостів, <http://orcid.org/0000-0002-7710-468X>

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

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

Мета дослідження – показати алгоритм та можливості SikaCarboDur Software на прикладі розрахунку посилення залізобетонної балки за нормальними перерізами вуглепластиковими композитними матеріалами. На рис. 1 показана розрахункова схема балки (переріз 250x100 мм, 1Ø6 A240C, 1Ø16 A400C).



Рис. 1 Розрахункова схема балки.

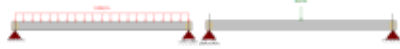


Рис.2. Схеми прикладання навантажень на балку.

Довжина розрахункового прольоту 2,9 м, площадка обпирання 100 мм (рис.1). Приймаємо, що початковий напружено-деформований стан генеруватиметься автоматично в об'ємі 100% від постійного навантаження. Навантаження: рівномірно розподілене 1 кН/м в якості постійного навантаження, а також концентрована сила $P = 20$ кН по середині прольоту в якості тимчасового (рис.2). Клас бетону C20/25, міцність бетону на розтяг 1,55 МПа, коефіцієнти безпеки γ_c і γ_s за ДСТУ-Н Б EN-1991-1-1 (Єврокод 2) [1]. Задаємо прямокутний поперечний переріз балки - ширина 100 мм, висота 200 мм. Поздовжня верхня арматура 1Ø6 A240C, нижня робоча арматура 1Ø16 A400C, поперечна арматура – хомути Ø8 A240C з кроком 150 мм. Коефіцієнти безпеки за навантаженнями – за замовчуванням – це комбінація за Єврокодом 2 категорія А: приватне, житлове будівництво. Призначаємо тип вуглепластикового елемента (стрічка з наклеюванням, спеціальна смуга з розміщенням у пазах, тканина з вуглецевих волокон, спеціальний ровінг з вуглецевих волокон, що дає змогу виконувати замкнуті хомути або відгини, також можливий варіант з попереднім напруженням вуглецевих композитних стрічок). В результаті розрахунків отримали величину згинального моменту від постійних і тимчасових навантажень $M_d = 24,02$ кНм, що більше у 1,71 рази від несучої здатності нормального перерізу $M_{Rd} = 14,01$ кНм. Для такої величини ступеню посилення необхідно 2 стрічки SikaCarboDur S-512 (рис.3). Також виконали перевірку довжини зони анкерування стрічок, яка була рівною 300 мм. (Рис.4).



Рис.3.

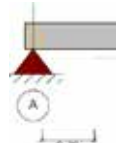


Рис.4.

Метод ізотерм 500°C був використаний для визначення граничної несучої здатності нормального перерізу при дії вогневого навантаження. Дану величину порівняли з несучою здатністю перерізу, отриману від відповідної комбінації навантажень. (EN-1992-1-2 4.2 і додаток В) [1]. Отримали час вогнестійкості 65 хв., тобто клас вогнестійкості R60.

Програмне забезпечення SikaCarboDur Software – необхідний і зручний інструмент для проектування та теоретичного аналізу варіантів посилення вуглепластиковими композитними матеріалами. Для ступеню посилення залізобетонної балки 1,71 (на 71%) знадобилося дві вуглепластикові стрічки з сумарним поперечним перерізом вуглецевого композиту 120 мм².

1. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1992-1-2:2004, IDT).

Capabilities of SikaCarboDur Software for building structures strengthening calculation

Oleksander Panchenko, candidate of technical sciences, docent of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures <http://orsid.org/0000-0003-1634-0715>

Yriy. Sobko, candidate of technical sciences, docent of the Roads and Bridges Department <http://orcid.org/0000-0002-7710-468X>

Kyiv National University of Construction and Architecture
National University "Lviv Politechnic"

The purpose of the study is to show the algorithm and capabilities of SikaCarboDur Software on the strengthening calculating example of a reinforced concrete beam with normal sections using carbon-plastic composite materials. Fig. 1 shows the calculated beam view (section 250x100 mm, 1Ø6 A240S, 1Ø16 A400S).



Рис. 1 Calculated beam view.



Рис.2. Loads applying to a beam schemes.

The length of the calculated span is 2,9 m, the support area is 100 mm (Fig. 1). We assume that the initial stress-strain state will be generated automatically by software in the volume of 100% of the dead load. Loads: uniformly distributed 1 kN/m as a dead load, as well as a concentrated force $P = 20$ kN in the middle of the span as a live load (Fig. 2).

Concrete class C20/25, concrete tensile strength 1,55 MPa, safety factors γ_c and γ_s according to DSTU-N B EN-1991-1-1 (Eurocode 2) [1]. We specify a rectangular cross-section of the beam - width 100 mm, height 200 mm. Longitudinal upper reinforcement 1Ø6 A240S, lower working reinforcement 1Ø16 A400S, transverse reinforcement - clamps Ø8 A240S with a step of 150 mm. Safety factors for loads - by default - this is a combination according to Eurocode 2 category A: private, residential construction. We assign the type of carbon fiber element (tape, special strip with placement in grooves, carbon fiber fabric, special roving, made of carbon fibers, which allows to perform closed clamps or bends, also possible option with pre-tensioning of carbon composite tapes). As a result of calculations, we obtained the value of the bending moment from permanent and temporary loads $M_d = 24,02$ kNm, which is 1,71 times more than the bearing capacity of the normal section $M_{Rd} = 14,01$ kNm. For such a value of the degree of strengthening, 2xSikaCarboDur S-512 tapes are required (Fig. 3). We also checked the length of the tape anchoring zone, which was equal to 300 mm. (Fig. 4).



Рис.3.



Рис.4.

The 500°C isotherm method was used to determine the ultimate load-bearing capacity of a normal section under fire loading. This value was compared with the load-bearing capacity of the section obtained from the corresponding load combination. (EN-1992-1-2 4.2 and Annex B) [1]. The fire resistance time was 65 min., i.e. fire resistance class R60.

SikaCarboDur Software is a necessary and convenient tool for the design and theoretical analysis of options for strengthening with carbon-plastic composite materials. For a reinforcement ratio of a reinforced concrete

beam of 1,71 (by 71%), two carbon-plastic strips with a total cross-section of carbon composite of 120 mm² were required.

1. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1992-1-2:2004, IDT).

Комплексний підхід до вибору складу бетону для надземних конструкцій очисних споруд

Олексій Кабусь, канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалознавства та інженерії композитних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-2940-0513>;

Анатолій Сіякін, канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалознавства та інженерії композитних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0003-0546-3074>

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

Мета дослідження – обґрунтувати вимоги до складу бетону з урахуванням дії агресивного середовища на надземні конструкції очисних споруд.

Основні корозійні процеси в бетоні міських очисних споруд водовідведення зумовлені циклічним замерзанням-відтаванням води у надводній зоні та зоні змінного рівня (рис. 1, а), а також впливом хімічних речовин стічних вод, переважно сульфатів, на конструкції, що перебували в безпосередньому контакті з водою (рис. 1, б). Значні руйнування конструкцій від дії морозного впливу потребують повної їх заміни при реконструкції споруд (рис. 1, в).

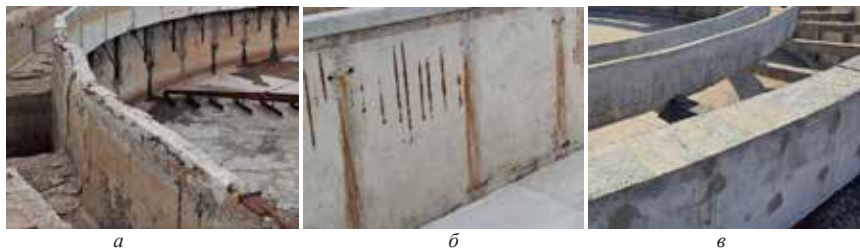


рис. 1 – Стан конструкцій очисних споруд №2 (м. Харків)

а – лоток відстійника; б – стіни аеротенку; в – відновлені конструкції відстійника

Відповідно до ДСТУ Б В.2.6-145:2010 [1] експлуатаційне середовище очисних споруд за морозним впливом класифікується як XF3 або XF4. З урахуванням стану конструкцій та вмісту у воді хлоридів і сульфатів, що посилюють корозію бетону при замерзанні, обрано клас XF4. Середній вміст сульфатів (SO_4^{2-}) у стічних водах не перевищує 500 мг/л, що відповідає класу ХА1. При водонепроникності бетону не нижче W8, особливо на цементі нормованого складу ($\text{C}_3\text{S} \leq 65\%$, $\text{C}_2\text{A} \leq 7\%$), середовище вважається слабоагресивним. Незначний хімічний вплив підтверджується станом конструкцій: поверхні мають світлий наліт, глибина сульфатної корозії за 50 років становить у середньому 1–3 см, рН бетону в тілі конструкцій – 11,8–12. Зазначене дозволяє не використовувати сульфатостійкі цементи ССПЦ або ССПЦ Д20, які в Україні малодоступні, або поширений сульфатостійкий шлакопортландцемент ССПШЦ Д60, який не рекомендується при морозному впливі XF4.

На основі проведеного комплексного аналізу рекомендується застосування бетонної суміші БСГ С30/35 Р4 W8 F200 з В/Ц не більше 0,45, об'ємом втягнутого повітря в межах 4–6% та з використанням цементів типу ПЦ II/A-III-500-Н або ПЦ II/Б-III-400-Н. Бетон з такими характеристиками забезпечує довговічність конструкцій без необхідності вторинного захисту [1]. Важливим елементом рецептури є використання комплексу суперпластифікуючих і повітрявтягуючих добавок, які сприяють формуванню довговічної структури бетону. Для підвищення сульфатостійкості доцільне також введення високодисперсних мінеральних добавок, зокрема мікрокремнезему або метакаоліну.

1. ДСТУ Б В.2.6-145:2010 Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги.

Comprehensive Selection of Concrete Mix for Above-Ground Structures of Wastewater Treatment Plants

Oleksiy Kabus, PhD, associate professor of the Department of Materials Science and Engineering of Composite Structures, <https://orcid.org/0000-0002-2940-0513>.

Anatoliy Sinyakin, PhD, associate professor of the Department of Materials Science and Engineering of Composite Structures, <https://orcid.org/0000-0003-0546-3074>.

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

The purpose of the study is to justify the requirements for the concrete mix, considering the impact of an aggressive environment on above-ground structures of wastewater treatment plants.

The main corrosion processes in the concrete of municipal wastewater treatment facilities are caused by cyclic freezing and thawing of water in the splash zone and the zone of fluctuating water level (Fig. 1a), as well as by the action of chemical substances in the wastewater, primarily sulfates, on the structures in direct contact with water (Fig. 1, b). Severe damage to the structures due to frost action necessitates their complete replacement during the reconstruction of the facilities (Fig. 1, c).



Fig. 1. – Condition of structures at wastewater treatment facilities №2 (Kharkiv)
a – tray of settling tank; b – aeration tank walls; c – restored of settling tank structures

According to DSTU B V.2.6-145:2010 [1], the operational environment of treatment facilities in terms of freeze-thaw exposure is classified as XF3 or XF4. Considering the condition of the structures and the presence of chlorides and sulfates in the water, which intensify concrete corrosion during freezing, class XF4 is selected. The average concentration of sulfates (SO_4^{2-}) in the wastewater does not exceed 500 mg/L, which corresponds to exposure class XA1. When the concrete has a water impermeability of at least W8, particularly when using cement of controlled composition ($\text{C}_3\text{S} \leq 65\%$, $\text{C}_3\text{A} \leq 7\%$), the environment is considered slightly aggressive. Minor chemical impact is confirmed by the condition of the structures: the surfaces have a light deposit, the depth of sulfate corrosion after 50 years of operation averages 1–3 cm, and the concrete pH in the body of the structure is 11.8–12. This allows for the optional use of sulfate-resistant cements such as CEM I-SR, which are not widely available in Ukraine, or while the commonly used sulfate resisting blast furnace cement CEM III/B-SR, that is not recommended under XF4.

Based on the comprehensive analysis, it is recommended to use a concrete mix class C30/35 S4 W8 F200 with a W/C < 0,45, an air content of 4–6%, and cement types such as CEM II/A-S-42,5 N or CEM II/B-S-32,5 N. Concrete with these characteristics ensures the durability of the structures without the need for additional protective coatings [1]. An essential part of the mix design is the use of a combination of superplasticizing and air-entraining admixtures, which contribute to the formation of a durable concrete structure. To enhance sulfate resistance, the introduction of highly dispersed mineral additives such as silica fume or metakaolin is also advisable.

Дослідження впливу дефектності структури рециркульованого заповнювача на стан контактної зони в структурі бетону

¹**Вікторія Зозулинець**, докт. філос., старший науковий співробітник Науково-дослідного інституту в'язучих речовин і матеріалів, <https://orcid.org/0000-0002-8066-2033>;

²**Олександр Ковальчук**, канд. техн. наук, ст. наук. співроб, проректор з наукової роботи та інноваційного розвитку, <https://orcid.org/0000-0001-6337-0488>;

³**Роман Разумов**, аспірант кафедри ТБКВ, <https://orcid.org/0009-0004-8675-0298>

¹Науково-дослідного інституту в'язучих речовин і матеріалів

²Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Одним з ключових критеріїв оцінки сучасних будівельних матеріалів є їхня довговічність. Властивості бетону, як основного будівельного матеріалу, значною мірою залежать від його мікро- та макроструктури, а також від взаємодії цементного каменю з заповнювачем. Саме ці фактори визначають міцність, довговічність та стійкість бетону до зовнішніх впливів.

Визначаючими показниками забезпечення довговічності цементного каменю і бетону є вид в'язучого і його мінералогічний склад, водоцементне співвідношення, вид добавок і заповнювачів, особливістю порової структури, міцність бетону. Бетони, що містять різноманітні заповнювачі, характеризуються різними типами контактних зон, які формуються між заповнювачами та цементним каменем. За даними дослідження, на макрорівні можна виділити такі типи взаємодій:

- хімічна взаємодія: заповнювачі та цементний камінь вступають у хімічні реакції, утворюючи перехідний шар з унікальними властивостями;
- взаємне розчинення: відбувається взаємне проникнення компонентів заповнювача та цементного каменю, що призводить до утворення зони модифікованого матеріалу;
- відсутність хімічної взаємодії: заповнювачі та цементний камінь не вступають у хімічні реакції.

Стан контактної зони суттєво впливає на властивості бетону і може бути оцінений за такими параметрами, як міцність зчеплення між заповнювачами та цементним каменем, мікротвердість та фазовий склад продуктів гідратації. Мікроструктура контактної зони між різнорідними мінералами заповнювача та продуктами гідратації цементу визначає мікротвердість і адгезію системи. Тип взаємодії на межі фаз впливає на характер руйнування бетону з природними заповнювачами. Найвищу міцність зчеплення забезпечує мінералогічна спорідненість заповнювача і цементного каменю. Для кількісної оцінки досконалості контактної зони доцільно використовувати критерій зростання мінералів за Руайе, що враховує параметри кристалічної ґратки.

Дослідження підтверджують значний вплив фізико-механічних властивостей рециркульованих компонентів на характеристики як свіжого, так і затверділого бетону. Бетони з рециркульованими продуктами (при повному або частковому заміщенні природних заповнювачів) мають три основні фази: цементний камінь, заповнювач і зону міжкомпонентної взаємодії на межі з рециркульованим заповнювачем.

1. Meng, T., Wei, H., Dai, D., Liao, J., & Ahmed, S. (2022). Effect of brick aggregate on failure process of mixed recycled aggregate concrete via X-CT. *Construction and Building Materials*, 327, 126934.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126934>

2. Gao, S., Ji, Y., Qin, Z., Zhang, H., Xing, F., & Liu, A. (2022). A comprehensive analysis of pore structures and performances of mineral admixtures modified recycled aggregate concrete based on experiment and theory. *Construction and Building Materials*, 358, 129451.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129451>

3. Liu, J., Ma, K., Shen, J., Zhu, J., Long, G., Xie, Y., & Liu, B. (2023). Influence of recycled concrete aggregate enhancement methods on the change of microstructure of ITZs in recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 371, 130772. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130772>

Investigation of the influence of recycled aggregate structure defects on the state of the contact zone in the concrete structure

Viktoriia Zozulynets, PhD, Senior Researcher at the Research Institute of Binders and Materials, <https://orcid.org/0000-0002-8066-2033>;

Oleksandr Kovalchuk, PhD, Senior Researcher, Vice-Rector for Research and Innovative Development, <https://orcid.org/0000-0001-6337-0488>;

Roman Razumov, PhD student at the Department of TBCV, <https://orcid.org/0009-0004-8675-0298>

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)

One of the key criteria for assessing modern construction materials is their durability. The properties of concrete, as the main construction material, largely depend on its micro- and macrostructure, as well as on the interaction of cement stone with aggregate. These factors determine the strength, durability and resistance of concrete to external influences.

The determining factors in ensuring the durability of cement stone and concrete are the type of binder and its mineralogical composition, water-cement ratio, type of additives and aggregates, pore structure, and concrete strength.

Concretes containing various aggregates are characterised by different types of contact zones formed between the aggregates and cement stone. According to the study, the following types of interactions can be distinguished at the macro level:

- Chemical interaction: aggregates and cement stone enter into chemical reactions, forming a transition layer with unique properties that differ from those of the original materials.
- Mutual dissolution: the aggregate and cement stone components penetrate each other, resulting in the formation of a zone of modified material.
- No chemical interaction: aggregates and cement stone do not enter into chemical reactions.

The condition of the contact zone has a significant impact on the properties of concrete and can be assessed by such parameters as the bonding strength between aggregates and cement stone, microhardness and phase composition of hydration products.

The microstructure of the contact zone between heterogeneous aggregate minerals and cement hydration products largely determines the microhardness and adhesion of the system. The nature of fracture of concrete structures with natural aggregates depends on the type of interaction at the interface. The maximum adhesion strength is observed when the aggregate and cement stone are mineralogically related. To quantify the degree of structural perfection of the contact zones, it is advisable to use the Ruyet growth criterion for minerals, which takes into account the parameters of the crystal lattice at the interfacial boundary.

The research results indicate a significant influence of the physical and mechanical characteristics of recycled concrete components on the properties of both fresh and hardened concrete mixtures. Concrete composites containing recycled products, both in full and partial replacement of natural aggregates, consist of three main phases: cement stone, aggregate and an intercomponent interaction zone formed at the interface between the surface of the cement binder and recycled aggregate.

1. Meng, T., Wei, H., Dai, D., Liao, J., & Ahmed, S. (2022). Effect of brick aggregate on failure process of mixed recycled aggregate concrete via X-CT. *Construction and Building Materials*, 327, 126934. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126934>
2. Gao, S., Ji, Y., Qin, Z., Zhang, H., Xing, F., & Liu, A. (2022). A comprehensive analysis of pore structures and performances of mineral admixtures modified recycled aggregate concrete based on experiment and theory. *Construction and Building Materials*, 358, 129451. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129451>
3. Liu, J., Ma, K., Shen, J., Zhu, J., Long, G., Xie, Y., & Liu, B. (2023). Influence of recycled concrete aggregate enhancement methods on the change of microstructure of ITZs in recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 371, 130772. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130772>

Система інтегрованої ізоляції SikaProof, як рішення для подовженого строку експлуатації спеціальних споруд

Сергій Спець, керівник напрямку «Відновлення» <https://orcid.org/0000-0001-7065-3312>;
Артем Захаров, керівник напрямку «Гідроізоляція» <https://orcid.org/0009-0004-2144-8776>

Олександр Панченко, канд.техн.наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <http://orsid.org/0000-0003-1634-0715>

ТОВ СІКА УКРАЇНА

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – провести аналіз ефективності систем ізоляції заглиблених частин спеціальних споруд, та провести порівняння існуючих рішень з системою інтегрованої ізоляції SikaProof.

Схема залежності від впливу агресивності середовища на довговічність експлуатації ізоляції під час вибору матеріалів рис. 1 та принцип подвійного з'єднання інтегрованої ізоляції з основою рис. 2.

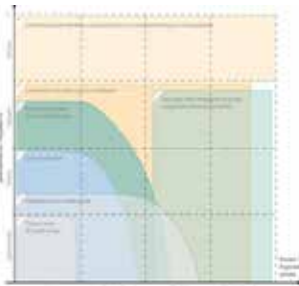


Рис.1. Схема залежності від впливу агресивності середовища на довговічність експлуатації ізоляції під час вибору матеріалів



Рис.2. Принцип подвійного з'єднання інтегрованої ізоляції з основою

Вибір оптимального підходу до гідроізоляції, проектування відповідної системи з урахуванням специфіки проекту та її правильне застосування на об'єкті є ключовими факторами для мінімізації експлуатаційних витрат.

Аналіз систем ізоляції включає розгляд наступних систем ізоляції: обмазувальних ізоляцій на основі мінеральних сумішей, бітумно полімерних сумішей, рулонних ізоляцій на основі бітумів, ПВХ, ТПО, а також реактивних смол.

Основні вимоги і характеристики на які зверталась увага: водонепроникність, хімічна стійкість, міцність на розтяг, еластичність, надійність з'єднання з основою, з'єднання і наявність швів та довговічність матеріалу. Також важливе значення має наявність аксесуарів і допоміжних засобів для забезпечення суцільності ізоляційного покриття.

Найбільш технологічними системами з підвищеними експлуатаційними характеристиками та довготривалим терміном експлуатації є системи матеріалів що інтегруються, мембрани з розділенням на секції і реактивні мембрани на основі поліуретану або полісечовини.

Рішення інтегрованої мембрани SikaProof® поєднує такі переваги полімерних мембран, як доведена довговічність (більше 100 років), стійкість до появи тріщин в основі та високу ступінь водонепроникності. Відповідає ДСТУ EN 13491.

SikaProof integrated insulation system as a solution for extended service life of special structures

Serhiy Spets, Head of the “Refurbishment” Department, <https://orcid.org/0000-0001-7065-3312>;

Artem Zakharov, Head of the “Waterproofing” Department <https://orcid.org/0009-0004-2144-8776>

Aleksandr Panhenko, Phd, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, <http://orsid.org/0000-0003-1634-0715>,

SIKA UKRAINE LLC

Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture

The purpose of the study is to analyze the effectiveness of insulation systems for buried parts of special structures, and to compare existing solutions with the SikaProof integrated insulation system.

Scheme of the dependence of the influence of environmental aggressiveness on the durability of insulation during the selection of materials Fig. 1 and the principle of double connection of integrated insulation with the base Fig. 2.

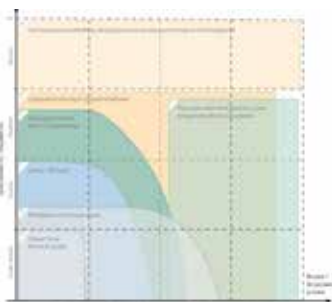


Fig.1 - Diagram of the dependence of the influence of the aggressiveness of the environment on the durability of insulation when choosing materials



Fig.2 - The principle of double connection of integrated insulation to the base

Choosing the optimal approach to waterproofing, designing an appropriate system taking into account the specifics of the project and its correct application at the site are key factors for minimizing operating costs.

Analysis of insulation systems includes consideration of the following insulation systems: coating insulation based on mineral mixtures, bitumen-polymer mixtures, roll insulation based on bitumen, PVC, TPO, as well as reactive resins.

The main requirements and characteristics that were paid attention to: water resistance, chemical resistance, tensile strength, elasticity, reliability of the connection with the base, connection and the presence of seams and durability of the material. Also important is the availability of accessories and auxiliary means to ensure the continuity of the insulation coating.

The most technological systems with increased operational characteristics and long service life are integrated material systems, membranes with division into sections and reactive membranes based on polyurethane or polyurea.

The SikaProof® integrated membrane solution combines the advantages of polymer membranes, such as proven durability (over 100 years), resistance to cracking in the substrate and a high degree of water resistance. Complies with DSTU EN 13491.

Ефективність мінеральних добавок у сумішах придатних для 3D друку

Віталій Марчук, к.т.н., доцент кафедри технології будівельних виробів та матеріалознавства, <https://orcid.org/0000-0003-0999-0402>;

Леонід Дворкін, д.т.н., професор кафедри технології будівельних виробів та матеріалознавства, <https://orcid.org/0000-0001-8759-6318>

Руслан Макаренко, к.т.н., професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0000-0003-4839-9623>

Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне)

Однією з найбільш нагальних проблем у будівельній галузі є зниження собівартості і впливу на екологію при збільшенні швидкості будівництва, без втрати якості. Рациональним вирішенням цих проблем є використання адитивної технології зведення будівель і споруд. Така технологія передбачає за допомогою спеціального 3D-принтеру шляхом екструзії бетонної суміші шар за шаром формуючи конструкцію [1]. Ключовим аргументом на користь цього є те, що конструкції, виготовлені цифровим способом, використовуватимуть матеріал лише там, де це необхідно, таким чином забезпечувати значну економію матеріалів. 3D-друк може скоротити перевитрату будівельних матеріалів та витрати робочої сили.

Зрозуміло, що для того, щоб технології 3D-бетонування стали альтернативою типовим, необхідно застосовувати енергоефективні матеріали, зокрема – техногенного походження, які мають низький вуглецевий слід і в свою чергу забезпечують всі технічні та міцнісні характеристики будівель і споруд виготовлених за даною технологією. Оскільки технологія 3D-друку розвивається, необхідно розробляти стійкі композити замінивши частину найбільш енергоємного компонента – портландцементу мінеральними добавками, таким чином зменшивши вуглецевий слід та утилізувавши накопичені відходи [2, 3].

Такі матеріали можуть виконувати роль цементуючих, пуцоланових або наповнюючих матеріалів. Таким чином, існують відмінності в продуктах гідратації, які впливають на міцність і довговічність Вапняк в якості наповнювача в складі бетонів зумовлює утворення моногідрокробоалюмінатів і гексагональних гідроалюмінатів кальцію. Цей ефект дозволяє стабілізувати еtringіт шляхом збільшення об'єму гідратів і зменшення пористості. Інертні матеріали такі як гранітний або базальтовий пил [4] викликають так званий ефект наповнювача і діятимуть як центри кристалізації, тобто вони заповнюють порожнечі в мікроструктурі цементного тіста і фізично стимулюють гідратацію цементу в перші кілька діб твердіння та ущільнюють структуру цементної матриці. Однак такі матеріали повинні забезпечувати ряд властивостей притаманних для 3D-друку зокрема необхідну рухомість, що забезпечує перекачуваність від насоса принтера до сопла [2], а також формуємість суміші, структурну міцність через певний час твердіння шару, міцність на розтяг при розколванні, що характеризується адгезією між шарами, а також міцність при згині та стиску [5].

Таким чином ефективне використання промислових відходів техногенного походження є актуальним на даний час і як наслідок можливе досягнення при цьому оптимального складу суміші, що та забезпечує необхідні екструзійні та механічні характеристики бетону.

1. Dvorkin, L.; Marchuk, V.; Hager, I.; Marozsek, M. Design of Cement–Slag Concrete Composition for 3D Printing. *Energies (Basel)* 2022, 15. <https://doi.org/10.3390/en15134610>
2. Саницький М.А. Модифіковані композиційні цементи: навч. посібник / М.Л. Саницький, Х.С. Соболев, Т.С. Марків // Львів: Видавництво ЛПІ, 2010. -132 с.
3. Кропивницька Т. П., Іващшин Г. С., Семенів Р. М. Низькоемісійні багатоконпонентні цементи в технології будівельних розчинів // Вісник ОДАБА. 2017. Вип. 68. - С. 70-75.
4. Prokopski, G.; Marchuk, V.; Huts, A. The Effect of Using Granite Dust as a Component of Concrete Mixture. *Case Studies in Construction Materials* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00349>
5. Hager, I.; Marozsek, M.; Mróz, K.; Kęsek, R.; Hebda, M.; Dvorkin, L.; Marchuk, V. Interlayer Bond Strength Testing in 3D-Printed Mineral Materials for Construction Applications. *Materials* 2022, 15, [doi:10.3390/ma15124112](https://doi.org/10.3390/ma15124112).

The effectiveness of mineral additives in mixtures suitable for 3D printing

Vitalii Marchuk, candidate of technical sciences, associate Professor of the Chair of Constructing Products Technology and Material Science, <https://orcid.org/0000-0002-0499-7544>;

Leonid Dvorkin, doctor of technical sciences, professor of the Chair of Constructing Products Technology and Material Science, <https://orcid.org/0000-0002-8261-692X>

Ruslan Makarenko, candidate of technical sciences, professor of the Department of Industrial, Civil Engineering and Engineering Structures, <https://orcid.org/0000-0003-4839-9623>

The National University of Water and Environmental Engineering (Rivne)

One of the biggest challenges in the construction industry is reducing costs and environmental impact while increasing construction speed, without losing quality. A rational solution to these problems is the use of additive technology for the construction of buildings and structures. This technology involves using a special 3D printer to extrude concrete mixture layer by layer, forming a structure [1]. The key argument in favor of this is that structures manufactured digitally will use material only where necessary, thus providing significant savings in materials.

3D printing can reduce the overconsumption of building materials and labor costs. It is clear that in order for 3D concreting technologies to become an alternative to typical ones, it is necessary to use energy-efficient materials, in particular those of man-made origin, which have a low carbon footprint and in turn provide all the technical and strength characteristics of buildings and structures manufactured using this technology. As 3D printing technology advances, it is necessary to develop durable composites by replacing some of the most energy-intensive component, Portland cement, with mineral additives, thereby reducing the carbon footprint and utilizing accumulated waste [2, 3]. Such materials can act as cementing, pozzolanic, or filler materials.

Thus, there are differences in the hydration products that affect strength and durability. Limestone as a filler in concrete causes the formation of monohydrocarboaluminates and hexagonal calcium hydroaluminates. This effect allows ettringite to be stabilized by increasing the volume of hydrates and reducing porosity. Inert materials such as granite or basalt dust [4] cause the so-called filler effect and will act as crystallization centers, i.e. they fill voids in the microstructure of the cement paste and physically stimulate cement hydration in the first few days of hardening and compact the structure of the cement matrix.

However, such materials must provide a number of properties inherent in 3D printing, in particular the necessary mobility, ensuring pumpability from the printer pump to the nozzle [2], as well as the formability of the mixture, structural strength after a certain time of layer hardening, tensile strength when heated, and are also characterized by adhesion between layers. Thus, the effective use of industrial waste of technogenic origin is relevant at the present time and, as a result, it is possible to achieve the optimal composition of the mixture, providing the necessary extrusion and mechanical characteristics of concrete.

1. Dvorkin, L.; Marchuk, V.; Hager, I.; Maroszek, M. Design of Cement–Slag Concrete Composition for 3D Printing. *Energies* (Basel) 2022, 15. <https://doi.org/10.3390/en15134610>
2. Саницький М.А. Модифіковані композиційні цементи: навч. посібник / М.Л. Саницький, Х.С. Соболев, Т.С. Марків // Львів: Видавництво ЛП, 2010. -132 с.
3. Кропивницька Т. П., Іващшин Г. С., Семенів Р. М. Низькоемісійні багатокomпонентні цементи в технології будівельних розчинів // Вісник ОДАБА. 2017. Вип. 68. - С. 70-75.
4. Prokopski, G.; Marchuk, V.; Huts, A. The Effect of Using Granite Dust as a Component of Concrete Mixture. *Case Studies in Construction Materials* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00349>
5. Hager, I.; Maroszek, M.; Mróz, K.; Keşek, R.; Hebda, M.; Dvorkin, L.; Marchuk, V. Interlayer Bond Strength Testing in 3D-Printed Mineral Materials for Construction Applications. *Materials* 2022, 15, [doi:10.3390/ma15124112](https://doi.org/10.3390/ma15124112)

Використання діоксиду титану для підвищення сорбційної здатності бетонів

Ігор Папуч, аспірант, <https://orcid.org/0009-0008-4153-3889>;

Олександр Ковальчук, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., проректор з наукової роботи та інноваційного розвитку <https://orcid.org/0000-0001-6337-0488>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

У сучасному будівництві важливе місце посідає не лише функціональність використаних матеріалів, але й їх відповідність критеріям сталого розвитку суспільства, а в ідеалі – здатність забезпечувати екологічність матеріалів і конструкцій на їх основі.

Одним із основних будівельних матеріалів на даний момент є бетон і виробі на його основі, які в тому чи іншому вигляді застосовуються у більшості будівельних конструкцій і споруд. Відповідно, постає задача забезпечити зазначені вище показники екологічності та відповідності критеріям сталого розвитку для бетонних конструкцій загальнобудівельного призначення [1].

Це може бути реалізовано традиційним вже шляхом використання у складі цементу та бетонної суміші численних і різноманітних відходів і супутніх продуктів виробництва, що само по собі знижує екологічне навантаження від виготовлення бетонних сумішей і зменшує використання природних сировинних матеріалів [2]. Водночас, такий підхід лише зменшує використання природної сировини і компенсує негативний вплив на екологію від накопичення нових порцій промислових відходів, залишаючи, натомість, відкритим питання покращення екологічності навколишнього середовища з точки зору компенсації вже завданої шкоди.

Іншим підходом є використання у складі будівельних матеріалів, і, зокрема, бетонів, модифікуючих добавок, здатних підвищувати сорбційну здатність матеріалу по відношенню до шкідливих речовин [3]. З аналізу літературних джерел, в тому числі, класичних праць з хімії металів, відомо, що значними сорбційними властивостями можуть володіти сполуки титану. Зокрема, гідроксид титану, який є достатньо поширеним матеріалом і використовується у різних галузях промисловості.

Гідроксид титану в загальному випадку може бути представлений у двох формах – у вигляді стабільного рутилу та у вигляді метастабільного анатазу. Проведені авторами представленої роботи дослідження показали, що використання рутилу майже не впливає на сорбційні властивості матеріалів з його додаванням, натомість використання анатазу дозволяє суттєво, на десятки відсотків, підвищити сорбційні властивості бетонів по відношенню до середовища, що містить зважені сполуки важких металів у повітрі. Проблемою використання анатазу є саме його метастабільність, оскільки порушення його стану призводить до перекристалізації діоксиду титану в рутил і супроводжується втратою властивостей.

Таким чином, було доведено можливість отримання бетонів з підвищеними сорбційними властивостями по відношенню до середовища з високим забрудненням важкими металами в атмосфері та доведено високу ефективність використання анатазу. Наступним етапом досліджень буде вивчення можливості забезпечення стабільності використання діоксиду титану у вигляді анатазу і створення умов для уникнення його переходу у структурний стан рутилу.

1. Kryvenko, P., Rudenko, I., Sikora, P., Sanytsky, M., Konstantynovskiy, O., & Kropyvnytska, T. (2024). Alkali-activated cements as sustainable materials for repairing building construction: a review. *Journal of Building Engineering*, 109399. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109399>
2. Krivenko, P., Petropavlovskiy, O., Kovalchuk, O., Lapovska, S., Pasko, A. (2018) Design of the composition of alkali activated portland cement using mineral additives of technogenic origin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, № 4(6), 6-15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.140324>
3. Sopov, V., Pershina, L., Butskaya, L., Latorets, E., & Makarenko, O. (2017). The role of chemical admixtures in the formation of the structure of cement stone. In *MATEC Web of conferences* (Vol. 116, p. 01018). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711601018>

Use of titanium dioxide for increasing absorption properties of concrete

Ihor Papuch, PhD student, <https://orcid.org/0009-0008-4153-3889>;

Oleksandr Kovalchuk, PhD, Senior Researcher, Vice-Rector for Research and Innovative Development <https://orcid.org/0000-0001-6337-0488>

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)

In modern construction, an important place is occupied not only by the functionality of the materials used, but also by their compliance with the criteria of sustainable development of society, and ideally - the ability to ensure the environmental friendliness of materials and structures based on them.

One of the main building materials at the moment is concrete and products based on it, which in one form or another are used in most building structures and buildings. Accordingly, the task arises to ensure the above-mentioned indicators of environmental friendliness and compliance with the criteria of sustainable development for concrete structures of general construction purposes [1].

This can be implemented in a traditional way by using numerous and diverse waste and by-products of production in the composition of cement and concrete mixtures, which in itself reduces the environmental load from the manufacture of concrete mixtures and reduces the use of natural raw materials [2]. At the same time, this approach only reduces the use of natural raw materials and compensates for the negative impact on the environment from the accumulation of new portions of industrial waste, leaving open, on the other hand, the issue of improving the environmental friendliness of the environment in terms of compensating for the damage already caused to nature.

Another approach is the use of modifying additives in the composition of building materials, and, in particular, concrete, capable of increasing the sorption capacity of the material in relation to harmful substances [3]. From the analysis of literary sources, including classical works on the chemistry of metals, it is known that titanium compounds can have significant sorption properties. In particular, titanium hydroxide, which is a fairly common material and is used in various industries.

Titanium hydroxide can generally be represented in two forms - in the form of stable rutile and in the form of metastable anatase. The studies conducted by the authors of the presented work showed that the use of rutile has almost no effect on the sorption properties of materials with its addition, while the use of anatase allows to significantly, by tens of percent, increase the sorption properties of concretes in relation to the environment containing suspended heavy metal compounds in the air.

The problem of using anatase is precisely its metastability, since the violation of its state leads to the recrystallization of the titanium dioxide structure into stable rutile and is accompanied by the loss of sorption properties.

Thus, the possibility of obtaining concretes with increased sorption properties in relation to the environment with high pollution by heavy metals in the atmosphere was proven and the high efficiency of using anatase was proven. The next stage of research will be to study the possibility of ensuring the stability of using titanium dioxide in the form of anatase and creating conditions to avoid its transition to the structural state of rutile.

1. Kryvenko, P., Rudenko, I., Sikora, P., Sanytsky, M., Konstantynovskiy, O., & Kropyvnytska, T. (2024). Alkali-activated cements as sustainable materials for repairing building construction: a review. *Journal of Building Engineering*, 109399. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109399>
2. Krivenko, P., Petropavlovskiy, O., Kovalchuk, O., Lapovska, S., Pasko, A. (2018) Design of the composition of alkali activated portland cement using mineral additives of technogenic origin. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, № 4(6), 6-15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.140324>
3. Sopov, V., Pershina, L., Butskaya, L., Latores, E., & Makarenko, O. (2017). The role of chemical admixtures in the formation of the structure of cement stone. In *MATEC Web of conferences (Vol. 116, p. 01018)*. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201711601018>

Забезпечення підвищеної міцності споруди при відновленні зруйнованих будівель

Наталія Амеліна, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0000-0002-3076-8120>

Аліна Юценко, здобувачка, <https://orcid.org/0009-0002-0936-5789>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – вивчення використання плит перекриття в сейсмічних районах та при руйнуваннях після обстрілів методом підвищення їх сейсмостійкості та міцності. Підвищена міцність споруди може бути досягнута з врахуванням комплексних проектних, конструкторських, будівельних та експлуатаційних заходів, його планування, відповідними об'ємно-планувальними рішеннями споруд, застосування відповідних матеріалів і конструктивних рішень, спостереженням за станом конструкцій в ході експлуатації споруди.

Конструкції будівель проектується з поздовжніми і поперечними стінами (сотова структура), що поєднані між собою перекриттями і покриттями в єдину просторову систему.

Результати науково-теоретичних досліджень і практичний досвід спорудження і експлуатації багатопверхових споруд в сейсмічних районах дозволив розробити основні принципи, умови, технологію і методи, які використовуються при проектуванні крупнопанельних споруд, включаючи:

1. Панелі стін і перекриттів виконують на всю кімнату;
2. Конструкції міжповерхових перекриттів і покриттів сейсмостійких будинків і споруд проектується у вигляді жорстких горизонтальних дисків, які розміщуються на одному рівні кожного поверху, в межах відсіку;
3. Горизонтальні конструкції перекриттів і покриттів надійно з'єднуються з вертикально розташованими конструкціями осевої споруди, забезпечуючи тим самим їх сумісну роботу при сейсмічних діях. Вертикальні і горизонтальні стикові з'єднання панелей поздовжніх і поперечних стін між собою і з панелями перекриття здійснюються за допомогою електрозварювання арматурних випусків, закладних деталей чи за допомогою болтових з'єднань, з наступним замонолічуванням вертикальних і горизонтальних монтажних стиків дрібнозернистим бетоном класу не нижче С20 і не нижче класу бетону панелей. Всі торцеві грані панелей стін і перекриття, що стикаються і замонолічуються, виконуються з рифленими (шпонки) чи зубчастими поверхнями. Глибину шпонок і зубців приймають не менше 4 см;
4. Застосовуються монолітні залізобетонні обв'язки (антисейсмічні пояси), що розташовуються у рівні міжповерховими перекриттів з анкеруванням і антисейсмічні пояси арматурних випусків із плит.

Необхідна жорсткість конструкцій збірних залізобетонних міжповерхових перекриттів забезпечується за рахунок опирання конструкцій на зовнішні стіни і стіни антисейсмічних швів, що передбачено з врахуванням обхвату вертикальної арматури стінових панелей арматурою швів, що приварені до випусків арматури плит перекриття.

- 1 Berdnyk O, Lastivka O, Maystrenko A, Amelina N. Processes of structure formation and neof ormation of basalt fiber in an alkaline environment. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020; 907: 012036. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012036>.
- 2 Gots V, Lastivka O, Berdnyk O, Tomin O, Mehet V. Physical-Mechanical properties of powder coating in the system "Film-Forming – Crosslinking Agent". AIP Conference Proceedings. 2023; 2840: 020002-1–020002-7 <https://doi.org/10.1063/5.0170261>

Ensuring increased strength of the structure during the restoration of destroyed buildings

*Natalia Amelina, PhD of Technical Sciences, Associate professor, head of the Department of Technologies of building structures and products, <https://orcid.org/0000-0002-3076-8120>
Alina Yuchenko, student, <https://orcid.org/0009-0002-0936-5789>*

Kyiv National University of Construction and Architecture

The purpose of the study is to study the use of floor slabs in seismic areas, and in case of destruction after shelling by increasing their seismic resistance and strength. Increased strength of the structure can be achieved taking into account comprehensive design, engineering, construction and operational measures, its planning, appropriate spatial planning solutions of structures, the use of appropriate materials and constructive solutions, monitoring the condition of the structure during the operation of the structure.

Building structures are designed with longitudinal and transverse walls (cellular structure), which are interconnected by floors and coatings into a single spatial system.

The results of scientific and theoretical research and practical experience in the construction and operation of multi-storey buildings in seismic areas allowed us to develop the basic principles, conditions, technology and methods used in the design of large-panel structures, including:

1. Wall and ceiling panels are made for the entire room;
2. The structures of interfloor ceilings and coverings of earthquake-resistant buildings and structures are designed in the form of rigid horizontal disks, which are placed at the same level of each floor, within the compartment;
3. Horizontal structures of ceilings and coverings are reliably earned and connected to vertically located structures of the structure's frame, thereby ensuring their compatible operation during seismic actions. Vertical and horizontal butt joints of panels of longitudinal and transverse walls between themselves and with ceiling panels are carried out by means of electric welding of reinforcement outlets, embedded parts or by means of bolted connections, with subsequent monolithic vertical and horizontal assembly joints with fine-grained concrete of class not lower than B15 and not lower than the class of concrete of panels. All end faces of wall panels and floors that are joined and monolithic are made with grooved (keys) or toothed surfaces. The depth of the keys and teeth is taken to be at least 4 cm;
4. Monolithic reinforced concrete straps (anti-seismic belts) are used, which are located at the level of inter-storey floors with anchoring and anti-seismic belts of reinforcement outlets from slabs.

The necessary rigidity of prefabricated reinforced concrete inter-storey floors is ensured by supporting the structures on the external walls and walls of anti-seismic joints, which is provided taking into account the coverage of the vertical reinforcement of wall panels by the reinforcement of joints welded to the reinforcement outlets of the floor slabs.

1. Berdnyk O, Lastivka O, Maystrenko A, Amelina N. Processes of structure formation and neoformation of basalt fiber in an alkaline environment. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020; 907: 012036. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012036>.
2. Gots V, Lastivka O, Berdnyk O, Tomin O, Mehet V. Physical-Mechanical properties of powder coating in the system "Film-Forming – Crosslinking Agent". AIP Conference Proceedings. 2023; 2840: 020002-1–020002-7 <https://doi.org/10.1063/5.0170261>.

Кінетика набору міцності шлакопортландцементів з додаванням модифікованих відходів

Оксана Бердник, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів <https://orcid.org/0000-0001-5321-3518>

Олексій Цанко, канд. техн. наук, старший дослідник кафедри будівельних матеріалів <https://orcid.org/0000-0003-2298-068X>

Сергій Вигovskyкий, аспірант кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0009-0003-5898-1200>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Встановити динаміку міцнісних характеристик шлакопортландцементу, модифікованого склопорошком, з метою обґрунтування його застосування у конструкціях дорожніх покриттів. Об'єктивні потреби розвитку виробництва обумовили створення нових матеріалів з підвищеними значеннями фізико-механічних та спеціальних властивостей. На сучасному етапі економічного розвитку країни до числа найбільш важливих питань, що визначають рівень і прискорення науково-технічного прогресу в промисловості, є зниження матеріало та енергоємності, підвищення якості існуючих і розробка нових ефективних матеріалів, при умові широкого використання промислових відходів. Сьогодні з розвитком технічного прогресу, збільшенням транспортного вантажопотоку і створенням розгалуженої дорожньої мережі потрібні усе більш досконали матеріали для спорудження доріг. До доріг висувається ряд вимог таких як: дорожнє полотно не повинне руйнуватися протягом тривалого часу і при цьому мати підвищену пропускну спроможність та витримувати великі навантаження. Плити дорожні широко застосовуються для будівництва доріг під вантажний транспорт. За результатами досліджень склад продуктів гідратації шлакопортландцементів, що вміщують оптимальну кількість меленого склопорошку, при різних кількостях гранульованого доменного шлаку, можна зазначити, що при збільшенні вмісту гранульованого доменного шлаку від 20 до 60 мас. % у складі продуктів гідратації зменшується кількість високоосновних гідросилікатів кальцію та збільшується кількість низькоосновних гідросилікатів кальцію. Найбільші значення міцності штучного каменю, отриманого на основі шлакопортландцементу з вмістом 40% гранульованого доменного шлаку і 5% склопорошку.

Рациональне використання доменних шлаків є важливим резервом підвищення ефективності металургійного і цементного виробництва. Доменні шлаки є повноцінним продуктом для виробництва будівельних матеріалів, вони широко використовуються у будівництві. При виробництві цементу гранульований доменний шлак використовується у якості активної гідралічної добавки і в невеликому об'ємі - в якості одного із компонентів сировинної суміші.

Тому високі показники кінетики набору міцності та експлуатаційних характеристик свідчать про довговічність отриманих бетонів, які можуть бути рекомендовані до використання:

- в монолітному будівництві;
- при зведенні будівель і споруд спеціального призначення (гідротехнічне будівництво, дорожні бетони тощо);
- для виробництва спеціальних бетонів та бетонів високої якості;
- при отриманні захисних покриттів для залізобетонних виробів.

1. Meyer C. Recycled glass from waste material to valuable resource / C. Meyer // Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium, Dundee UK, 2001. – P. 1–10.
2. Ketov A.A. Peculiar chemical and technological properties of glass cullet as the raw material for foamed insulation / A.A. Ketov // Recycling and Reuse of Waste Materials: Proceedings of the International Symposium. Dundee UK, 2003. – P. 695–704.
3. F. A. Olutoge and C. Strength. (2016). Effect of Waste Glass Powder (WGP) on the Mechanical Properties of Concrete.” Am. J. Eng. Res., vol. 38, no. 511, pp. 2320–847, [Online]. Available: www.ajer.org

Kinetics of strength gain of slag Portland cements with the addition of modified waste

Oksana Berdnyk, PhD of Technical Sciences, Associate professor, head of the Department of Technologies of building structures and products, <https://orcid.org/0000-0001-5321-3518>

Aleksey Tsapko, PhD of Technical Sciences, Associate professor, Department of Building Materials, <https://orcid.org/0000-0003-2298-068X>

Serhii Vyhovskyi, graduate student, head of the Department of Technologies of building structures and products, <https://orcid.org/0009-0003-5898-1200>

Kyiv National University of Construction and Architecture

To establish the dynamics of the strength characteristics of slag Portland cement modified with glass powder in order to justify its use in road pavement structures.

The objective needs of production development have led to the creation of new materials with enhanced physical, mechanical and special properties. At the current stage of the country's economic development, the most important issues that determine the level and acceleration of scientific and technological progress in industry are the reduction of material and energy intensity, improvement of the quality of existing materials and development of new efficient materials, provided that industrial waste is widely used. Today, with the development of technological progress, an increase in traffic and the creation of an extensive road network, more and more advanced materials are needed for road construction. A number of requirements are imposed on roads, such as: the roadway should not be destroyed for a long time and at the same time have increased capacity and withstand heavy loads. Road slabs are widely used for the construction of roads for freight transport and vehicles with a large tonnage

According to the results of studies of the composition of hydration products of slag Portland cements containing the optimal amount of ground glass powder at different amounts of granulated blast furnace slag, it can be noted that with an increase in the content of granulated blast furnace slag from 20 to 60 wt. % in the composition of hydration products, the amount of high-base calcium hydrosilicates decreases and the amount of low-base calcium hydrosilicates increases. The highest strength values of artificial stone obtained on the basis of slag Portland cement containing 40% of granulated blast furnace slag and 5% of glass powder.

Rational use of blast furnace slag is an important reserve for improving the efficiency of metallurgical and cement production. Blast furnace slag is a valuable product for the production of building materials and is widely used in construction. In cement production, granulated blast furnace slag is used as an active hydraulic additive and, in a small amount, as one of the components of the raw material mixture.

Therefore, the high rates of strength gain kinetics and performance characteristics indicate the durability of the resulting concretes, which can be recommended for use:

- in monolithic construction;
- in the construction of buildings and structures for special purposes (hydraulic engineering, road concrete, etc.)
- for the production of special concrete and high quality concrete;
- for the production of protective coatings for reinforced concrete products.

1. Meyer C. Recycled glass from waste material to valuable resource / C. Meyer // Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium, Dundee UK, 2001. – P. 1–10.
2. Ketov A.A. Peculiar chemical and technological properties of glass cullet as the raw material for foamed insulation / A.A. Ketov // Recycling and Reuse of Waste Materials: Proceedings of the International Symposium. Dundee UK, 2003. – P. 695–704.
3. F. A. Olutoge and C. Strength. (2016). Effect of Waste Glass Powder (WGP) on the Mechanical Properties of Concrete,” Am. J. Eng. Res., vol. 38, no. 511, pp. 2320–847, [Online]. Available: www.ajer.org

Ударно-захисні характеристики реакційно-порошкових бетонів на основі лужно-активованих шлакопортландцементів

Володимир Гоц, докт. техн. наук., професор кафедри технології будівельних конструкцій та виробів, <http://orcid.org/0000-0001-7702-1609>,

Олександр Гелевера, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій та виробів, <http://orcid.org/0000-0002-6285-9780>,

Андрій Разсамакін, аспірант кафедри технології будівельних конструкцій та виробів, <http://orcid.org/0000-0001-5130-6059>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м.Київ)

У даній роботі вирішувалась задача розробки реакційно-порошкових бетонів (РПБ) підвищеної ефективності за рахунок використання лужно-активованих цементів на основі побічних продуктів та промислових відходів виробництва [1] і дослідження їх спеціальних фізико-механічних характеристик – міцності на стиск та згин, ударної міцності і тріщиностійкості, що обумовлено потребами часу та військово-політичної ситуації у світі і в Україні зокрема [2].

В якості алюмосилікатної складової в'язучої речовини була використана суміш "доменний шлак : портландцемент" із вмістом в ній портландцементу 5...45 мас.%. В якості лужного компонента – розчинні силікати натрію з $M_c = 1...3$.

Ударна міцність визначалась за методикою [3] на зразках-кубах $10 \times 10 \times 10$ см.

У результаті отримані надшвидкотверднучі РПБ бетони з міцністю на стиск через 3 години – 19...28 МПа, через 1 добу – 36...40 МПа, через 28 діб – 78...130 МПа, через 360 діб – 88...144 МПа із співвідношення міцності на стиск до міцності згин 5,3...5,9, що вказує на високу тріщиностійкість бетонів.

Результати випробувань на ударну міцність представлені у Табл.1 і на Рис.1.

Табл. 1 – Ударна міцність РПБ різного складу

№	Шифр зразка	Вага гіри, кг	Висота падіння гіри, м	Кількість ударів до руйнування	Енергія руйнування, КДж/м ³
1	ПД (дисилікат)	2	1	220	4316,4
2	ПМ (метасилікат)	2	1	171	3355,0
3	ПЦ (п/цемент)	2	1	152	2982,2



а



б



в

Рис.1. Ударна стійкість реакційно-порошкових бетонів різного складу:

а - РПБ на основі метасилікату натрію; б - РПБ на основі дисилікату натрію;

в - РПБ на основі портландцементу з використанням суперпластифікатора

1. Krivenko P.V., Petropavlovsky O.N., Gelevera A.G., Vozniuk G.V., Pushkar V.I. Commercially-produced alkaline cements and their efficiency *Scientific-Technical Collection "Resource-Saving Materials, Structures, Buildings and Structures"*, no. 18, 2009. P. 64-71.
2. Chang Yu Kuo, Ying-Kuan Tsai, Jo Yen Nieh, Yi Shuan Tian An Experimental Study on Electromagnetic Shielding Effectiveness and Impact Resistance of UHPC for Protective Facilities. *Kay Engineering Materials*, Vol.983, 2024. P.87-95. DOI:[10.4028/p-OIA9sQ](https://doi.org/10.4028/p-OIA9sQ).
3. Руденко, І., Гелевера, О., Константиновський, О., & Разсамакін, А. (2024). Реакційно-порошкові бетони на основі лужно-активованого цементу. Будівельні конструкції. Теорія і практика, (15), 135–145. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.135-145>

Impact protection characteristics of reactive powder concretes based on alkali-activated slag and portland cements

Volodymyr Gotz, Doctor of Engineering, Professor of the Department of Technology of Building Structures and Products, <http://orcid.org/0000-0001-7702-1609>,

Oleksandr Helevera, PhD, Associate Professor of the Department of Technology of Building Structures and Products, <http://orcid.org/0000-0002-6285-9780>,

Andrii Razsamakin, postgraduate student of the Department of Technology of Building Structures and Products, <http://orcid.org/0000-0001-5130-6059>

Kyiv National University of Construction and Architecture

This work solved the problem of developing reaction-powdered concrete (RPC) with increased efficiency by using alkali-activated cements based on by-products and industrial waste [1] and studying their special physical and mechanical characteristics – compressive and flexural strength, impact strength and crack resistance, which is due to the needs of the time and the military-political situation in the world and in Ukraine in particular [2].

As an aluminosilicate component of the binder, a blast furnace slag : Portland cement mixture with a Portland cement content of 5...45 wt.% was used. As an alkaline component – soluble sodium silicates with Ms = 1...3 were used.

The impact strength was determined according to the method [3] on cube specimens 10×10×10 cm.

As a result, ultra-fast-curing RPC concretes were obtained with compressive strengths of 19...28 MPa after 3 hours; 36...40 MPa after 1 day; 78...130 MPa after 28 days; 88...144 MPa after 360 days with a ratio of compressive strength to flexural strength of 5.3...5.9, indicating high crack resistance of the concretes.

The results of the impact strength tests are presented in Table 1 and Fig. 1.

Tabl. 1 – Impact strength of RPC of different composition

№	Sample code	Weight of kettle bell, kg	Height of kettle bell drop, m	Number of hits before destruction	Destruction energy, kJ/m ³
1	PD (disilicate)	2	1	220	4316,4
2	PM (metasilicate)	2	1	171	3355,0
3	OPC (cement)	2	1	152	2982,2



a



b



c

Fig.4. Impact resistance of reaction powder concretes of different compositions:

a – RPC based on sodium metasilicate; b – RPC based on sodium disilicate; c – RPC based on Portland cement using a superplasticizer

1. Krivenko P.V., Petropavlovsky O.N., Gelevera A.G., Vozniuk G.V., Pushkar V.I. Commercially-produced alkaline cements and their efficiency *Scientific-Technical Collection "Resource-Saving Materials, Structures, Buildings and Structures"*, no. 18, 2009. P. 64-71.
2. Chang Yu Kuo, Ying-Kuan Tsai, Jo Yen Nieh, Yi Shiuan Tian An Experimental Study on Electromagnetic Shielding Effectiveness and Impact Resistance of UHPC for Protective Facilities. *Kay Engineering Materials*, Vol.983, 2024. P.87-95. DOI:[10.4028/p-OIA9sO](https://doi.org/10.4028/p-OIA9sO).
3. Rudenko, I. I., Gelevera, O. V., Kostantynovskyi, V. O., & Razzamakin, A. V. (2024). Reactive powder concretes based on alkali-activated cement. *Building Constructions. Theory and Practice*, 15, 135–145.[in Ukrainian] <https://doi.org/10.32347/2522-4182.15.2024.135-145>

Ефективність використання відходів рециклінгу в складі бетонів для адитивних технологій будівництва

Олесь Ластівка, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних к і виробів, <https://orcid.org/0000-0002-3670-0020>

Артем Смогдій, аспірант кафедри технології будівельних конструкцій і виробів <https://orcid.org/0009-0007-5870-5002>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – провести дослідження впливу рецептурного складу бетонів з використанням відходів рециклінгу для технології 3Д-друку.

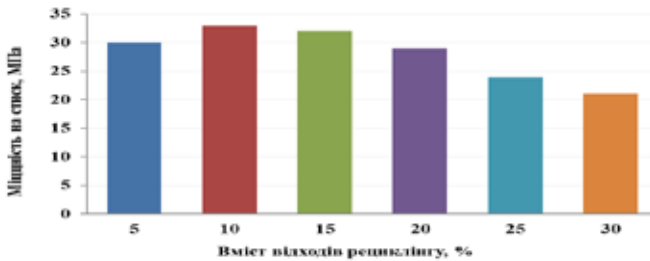


Рис.1 – Міцність на стиск бетону з використанням відходів рециклінгу.

Дослідження спрямоване на аналіз впливу рецептурного складу бетонів, до яких додавалися відходи рециклінгу, на їхні фізико-механічні властивості та придатність для технології 3Д-друку. У процесі експериментів використано відходи будівельного бетону (дроблений бетонний щебінь), які частково замінювали традиційні компоненти – пісок і щебінь.

Експерименти проведено на зразках із різним відсотковим вмістом відходів рециклінгу: 10 %, 20 % та 30 % від загальної маси заповнювачів. До складу також вводилися добавки пластифікатори та прискорювачі твердіння. Зразки виготовлялися двома способами: шляхом 3Д-друку (екструзія через сопло) та традиційним литтям у форми для порівняння характеристик. Після 28 діб витримки проводилися випробування на міцність на стиск та щільність. В результаті досліджень виявлено, що заміна до 20 % традиційних заповнювачів рецикльованим щебенем дозволяє досягти міцності на стиск у межах 25-30 МПа, що відповідає вимогам для конструкційних елементів низькоповерхових будівель. При цьому суміші зберігали достатню пластичність (консистенція 180-200 мм за розливом конуса), що забезпечувало стабільне видавлювання через сопло 3Д-принтера без розшарування. Зразки з вмістом відходів понад 30% демонстрували зниження міцності (до 18-20 МПа) та підвищену пористість, що пов'язано з неоднорідністю рецикльованих матеріалів та їхньою зменшеною адгезією до цементного каменю.

Порівняння зразків, виготовлених 3Д-друком та литтям, показало, що надруковані елементи мають дещо нижчу щільність (на 5-7 %) через пошарове нанесення, але при правильному підборі складу різниця в міцності не перевищувала 10 %. Отже, оптимальним визнано склади з діапазоном вмісту рецикльованого щебеню в межах 10...20 %, які забезпечують баланс між екологічністю, економічністю та технологічністю для 3Д-друку. Отримані дані підтверджують перспективність використання відходів рециклінгу в бетонах для адитивного будівництва, сприяючи зменшенню відходів та раціональному використанню ресурсів.

1 Wolfs, Hardened properties of 3D printed concrete: the influence of process parameters on interlayer adhesion, Cement Concr. Res., № 119, с. 132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.02.017>

Efficiency of the use of recycling waste in the composition of concrete for additive construction technologies

Oles Lastivka, PhD of Technical Sciences, Associate professor Department of Technology of Building Structures and Products <https://orcid.org/0000-0002-3670-0020>

Artem Smogliy, Graduate Student, Department of Technology of Building Structures and Products, <https://orcid.org/0009-0007-5870-5002>

Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture (Kyiv)

The purpose of the study is to conduct a study of the impact of the recipe composition of concrete using recycling waste for 3D printing technology.

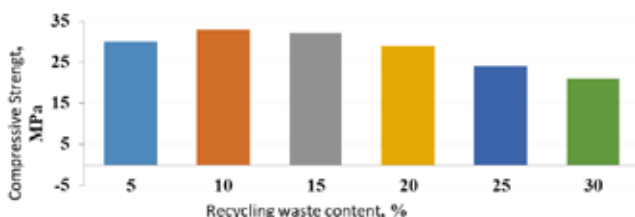


Fig.1 – Compressive strength of concrete using recycling waste.

The study is aimed at analyzing the impact of the recipe composition of concretes to which recycling waste was added on their physical and mechanical properties and suitability for 3D printing technology. In the process of experiments, construction concrete waste (crushed concrete, crushed stone) was used, which partially replaced traditional components - sand and crushed stone.

Experiments were carried out on samples with different percentages of recycling waste: 10%, 20% and 30% of the total mass of aggregates. The composition also included additives, plasticizers and hardening accelerators - to improve rheological properties and reduce curing time. The samples were made in two ways: by 3D printing (extrusion through a nozzle) and by traditional molding to compare characteristics. After 28 days of exposure, compressive strength and density tests were performed.

As a result of the research, it was found that the replacement of up to 20% of traditional aggregates with recycled crushed stone allows you to achieve compressive strength in the range of 25-30 MPa, which meets the requirements for structural elements of low-rise buildings. At the same time, the mixtures retained sufficient plasticity (consistency 180-200 mm according to the blurring of the cone), which ensured stable extrusion through the nozzle of the 3D printer without delamination. Samples with a waste content of more than 30% showed a decrease in strength (up to 18-20 MPa) and increased porosity, which is associated with the heterogeneity of recycled materials and their reduced adhesion to cement stone.

A comparison of samples made by 3D printing and casting showed that the printed elements have a slightly lower density (by 5-7%) due to layer-by-layer application, but with the correct selection of the composition, the difference in strength did not exceed 10%. Therefore, compositions with a range of recycled crushed stone content within 10 ... 20% that strike a balance between sustainability, economy and manufacturability for 3D printing. The data obtained confirm the prospects for the use of recycling waste in concrete for additive construction, contributing to the reduction of waste and rational use of resources.

1 Wolfs, Hardened properties of 3D printed concrete: the influence of process parameters on interlayer adhesion, *Cement Concr. Res.*, № 119, c. 132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.02.017>.

Жаростійкі лужно-активовані портландцементи системи «портландцемент – метаксолін – натрієве рідке скло»

^{1,2}**Олександр Константиновський**, канд. техн. наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій і виробів, <http://orcid.org/0000-0002-7936-5699>

^{1,2}**Артем Ковальчук**, асистент доцент кафедри технологій будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0000-0002-3532-4510>

^{1,2}**Владислав Онатій**, аспірант доцент кафедри технологій будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0009-0001-5272-5017>

¹Київський національний університет будівництва і архітектури (м.Київ)
²Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В.Д. Глуховського

Мета дослідження – підвищити стійкість портландцементу до дії $t = 800$ °С за рахунок формування у фазовому складі гібридної системи CSH-NASH, що планується досягнути шляхом заміни частини клінкерної складової метаксоліном з одночасним введенням лужного компоненту.

Доведено можливість підвищення жаростійкості портландцементу при впливі температур $t = 400 \dots 1000$ °С за рахунок використання заміни частини клінкерної складової метаксоліном і замішування натрієвим рідким скло. Введення метаксоліну в присутності лужного активатора обумовлює відсутність в продуктах гідратації портландиту $\text{Ca}(\text{OH})_2$, формування С-А-S-Н-фаз типу стратленгіту $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ і цеолітоподібних гідралюмосилікатів типу гідроніфеліну $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Плавне протікання структуроутворюючих процесів при високих температурах з підвищенням ступеню фрагментарності забезпечується запобіганням регідратації CaO , кристалізацією високотемпературної фази геленіту $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ і топотактичною перекристалізацією гідроніфеліну в ніфеліну $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ без руйнування структури (рис. 1). Вказані процеси структуроутворення обумовлюють підвищення залишкової міцності від 5,0...35,0 % до 58,6...204,6 %.

Визначено оптимальну область компонентного складу лужно-активованого портландцементу для використання при температурах до 1000 °С за показниками міцності на стиск, залишкової міцності (рис. 2) і термічної усадки. При вмісті метаксоліну 17...30 % і використанні рідкого скла густиною 1170...1250 кг/м³ цемент характеризується високими термомеханічними властивостями – міцність на стиск ≥ 30 МПа залишкова міцність ≥ 70 %, термічна усадка ≤ 7 %.

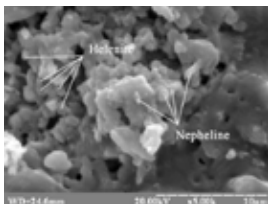


Рис.1 - Електронні мікрофотографії поверхні сколу лужно-активованого портландцементу після 28 діб гідратації і нагрівання до $t = 800$ °С

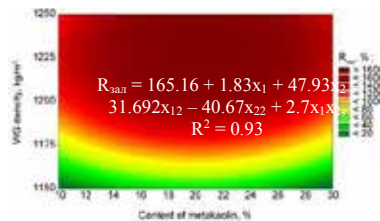


Рис.2 - Діаграма зміни залишкової міцності лужно-активованого портландцементу при $t = 800$ °С

- Kryvenko, P., Rudenko, I., Sikora, P., Sanytsky M., Konstantynovskiy, O., & Kropyvnytska, T. (2024). Alkali-activated cements as sustainable materials for repairing building construction: a review. *Journal of Building Engineering*, 90, 109399. <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2024.109399>
- Krivenko, P., & Kyrychok, V. (2021). Advances in geopolymer-zeolite composites – synthesis and characterization: Monograph, in: P. Vazureanu, P. Krivenko (Eds.). IntechOpen, London. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93360>

Heat-resistant alkali-activated Portland cements of the «Portland cement – metakaolin – sodium liquid glass» system

^{1,2}**Oleksandr Konstantynovskiy**, PhD (Eng), associate Professor, department of the technology of building constrictions and products, <http://orcid.org/0000-0002-7936-5699>

^{1,2}**Artem Kovalchuk**, assistant, department of the technology of building constrictions and products, <https://orcid.org/0000-0002-3532-4510>

^{1,2}**Vladyslav Onatii**, postgraduate student, department of the technology of building constrictions and products, <https://orcid.org/0009-0001-5272-5017>

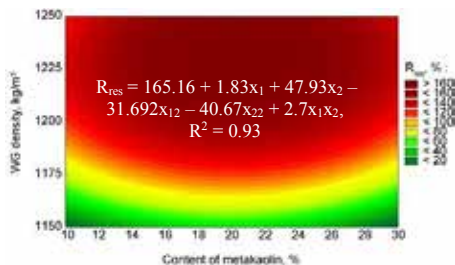
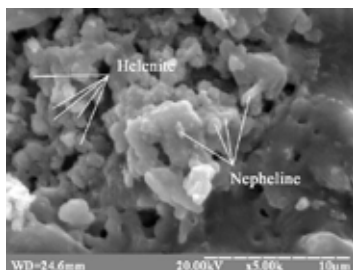
¹Kyiv National University of Construction and Architecture

²V.D. Glukhovskiy Research Institute of Binders and Materials,

The aim of the study is to increase the resistance of Portland cement to $t = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ by forming a hybrid CSH-NASH system in the phase composition, which is planned to be achieved by replacing part of the clinker component with metakaolin with the simultaneous introduction of an alkaline component.

The possibility of increasing the heat resistance of Portland cement at temperatures $t = 400\text{...}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ by replacing a part of the clinker component with metakaolin and mixing with sodium liquid glass was proved. The introduction of metakaolin in the presence of an alkaline activator causes the absence of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in the hydration products of portlandite, the formation of C-A-S-H phases such as stratlingite $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ and zeolite-like hydroaluminosilicates such as hydronephelin $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$. The smooth course of structure-forming processes at high temperatures with an increase in the degree of fragmentation is ensured by preventing CaO rehydration, crystallisation of the high-temperature phase of the $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ helenite and topotactic recrystallization of hydronepheline into nepheline $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ without destroying the structure (fig. 1). These structure formation processes lead to an increase in residual strength from 5.0...35.0 % to 58.6...204.6 %.

The optimal region of the component composition of alkali-activated Portland cement for use at temperatures up to $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ was determined in terms of compressive strength, residual strength (Fig. 2), and thermal shrinkage. With a metakaolin content of 17...30 % and the use of liquid glass with a density of $1170\text{...}1250\text{ kg/m}^3$, the cement is characterized by high thermomechanical properties: compressive strength $\geq 30\text{ MPa}$, residual strength $\geq 70\text{ }%$, and thermal shrinkage $\leq 7\text{ }%$.



- Kryvenko, P., Rudenko, I., Sikora, P., Sanytsky M., Konstantynovskiy, O., & Kropyvnytska, T. (2024). Alkali-activated cements as sustainable materials for repairing building construction: a review. *Journal of Building Engineering*, 90, 109399. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109399>
- Krivenko, P., & Kyrychok, V. (2021). Advances in geopolymer-zeolite composites – synthesis and characterization: Monograph, in: P. Vizeureanu, P. Krivenko (Eds.). IntechOpen, London. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93360>

Будівельні розчини і бетони на відходах з використанням вібраційного вакууму

Тетяна Дехта, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-5023-3070>

Сергій Бондаренко, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-9947-721X>

Світлана Василенко, асистент кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-8687-4726>

Український державний університет науки і технологій, Навчально-науковий інститут Придніпровська державна академія будівництва та архітектури (м. Дніпро)

Основною метою роботи є розробка технології переробки вторинних мінеральних ресурсів у ефективні будівельні матеріали, що сприятиме покращенню стану навколишнього природного середовища. В якості прикладу запропоновано вирішення проблеми утилізації відпрацьованих формувальних сумішей (ВФС).

На території Придніпров'я, зокрема на звалищах, відвалах і в спеціалізованих сховищах, накопичено десятки мільйонів тонн різних вторинних мінеральних ресурсів, серед яких переважають відпрацьовані формувальні суміші металургійних і машинобудівних підприємств, а також золошлакові відходи теплових електростанцій [1].

Комплексні теоретичні й експериментальні дослідження довели, що вібровакуумування є більш ефективним методом ущільнення бетонів на основі золошлакових сумішей і ВФС, ніж традиційне вібраційне ущільнення. Застосування вібраційного вакууму забезпечує підвищення щільності, міцності, морозостійкості та інших фізико-механічних властивостей бетонів. Крім того, у випадку бетонів з однаковим рівнем міцності можливе зниження витрат цементу, а також реалізація негайної розпалубки та скорочення тривалості термічної обробки. Варто зазначити, що запропонована технологія не потребує суттєвих капіталовкладень, оскільки ґрунтується на використанні стандартного обладнання, поширеного в галузі виробництва залізобетонних виробів [1].

З метою покращення якості золошлакового вакуумбетону запропоновано додавання до бетонної суміші невеликої кількості електроліту на етапі приготування. Проведено дослідження основних властивостей бетонів, ущільнених за допомогою вібраційного вакууму, на основі вторинної мінеральної сировини, та здійснено порівняльний аналіз із традиційно ущільненими бетонами. Результати експериментів підтвердили переваги вакуум-бетонів [2]. Найбільш об'єктивну оцінку характеристик міцності та інших експлуатаційних властивостей бетонів, виготовлених із використанням вторинних мінеральних ресурсів та ущільнених вібраційним вакуумом, доцільно здійснювати у виробничих умовах, наприклад, на заводах залізобетонних виробів.

У ході дослідження було доведено, що на основі відпрацьованих формувальних сумішей металургійних і машинобудівних підприємств можливо отримати високоякісні бетони підвищеної міцності, придатні для використання в різних видах будівництва.

Розроблена технологія сприяє ефективному використанню ресурсного потенціалу Придніпров'я та дозволяє зменшити металоємність виробництва за рахунок негайної розпалубки виробів [2].

1. Pshinko O. M., & Pavlenko T. M., & Dekhta T. M., & Hromova O. V., & Steinbrech O. V. (2022). Improvement of concrete and building mortar technology using secondary mineral resources. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 91-96. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-2/091>
2. Dekhta T., & Bondarenko S., & Vasylenko S. (2024). Vacuum concretes and mortars using technogenic raw materials. Scientific and practical conference «Promotion of energy efficiency and training of specialists for the reconstruction of Ukraine», NGO «Energy and Innovation DniproHub», Dnipro, Ukraine, 49 – 54. [DOI-Збірник тез конференції 13.03.24.pdf](https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-2/091)

Construction mortars and concretes on waste using vibration vacuum

Tetiana Dekhta, PhD, Associate Professor of the Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, <https://orcid.org/0000-0001-5023-3070>

Serhiy Bondarenko, PhD, Associate Professor of the Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, <https://orcid.org/0000-0001-9947-721X>

Svitlana Vasylenko, assistant of the Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, <https://orcid.org/0000-0001-8687-4726>

Ukrainian State University of Science and Technology, Educational and Scientific Institute of the Dnieper State Academy of Civil Engineering and Architecture (Dnipro)

The main objective of this study is to develop a technology for recycling secondary mineral resources into efficient construction materials, thereby contributing to the improvement of the environment. As an example, the problem of utilizing spent molding mixtures (SMM) is addressed.

In the Prydniprovya region, tens of millions of tons of various secondary mineral resources have accumulated at landfills, waste heaps, and specialized storage facilities. These include primarily spent molding mixtures from metallurgical and machine-building enterprises, as well as ash and slag waste from thermal power plants [1].

Comprehensive theoretical and experimental studies have shown that vibro-vacuum compaction is a more effective method of densifying concretes based on ash-slag mixtures and SMM compared to traditional vibration compaction. The use of vibration vacuum technology enhances the density, strength, frost resistance, and other physical and mechanical properties of the concrete. Moreover, for concretes with equal strength, it is possible to reduce cement consumption, allow immediate demolding, and significantly shorten the duration of heat treatment. Notably, the proposed technology does not require substantial capital investment, as it utilizes standard equipment commonly used in the precast concrete industry [1].

To further improve the quality of ash-slag vacuum concrete, the addition of a small amount of electrolyte into the concrete mix during preparation has been proposed. The main properties of concretes compacted using vibration vacuum technology based on secondary mineral raw materials have been studied, and a comparative analysis with conventionally compacted concretes has been conducted. Experimental results confirmed the advantages of vacuum concretes [2]. The most objective assessment of the strength and other performance characteristics of concretes made with secondary mineral resources and compacted by vibration vacuum can be achieved under production conditions, such as at precast concrete plants.

The study has shown that high-quality, high-strength concretes suitable for various construction applications can be produced from spent molding mixtures of metallurgical and machine-building enterprises.

The developed technology promotes efficient use of the resource potential of the Prydniprovya region and allows for reduced material intensity in production due to immediate demolding of the formed products [2].

1. Pshinko O. M., & Pavlenko T. M., & Dekhta T. M., & Hromova O. V., & Steinbrech O. V. (2022). Improvement of concrete and building mortar technology using secondary mineral resources. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 91-96. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-2/091>
2. Dekhta T., & Bondarenko S., & Vasylenko S. (2024). Vacuum concretes and mortars using technogenic raw materials. Scientific and practical conference «Promotion of energy efficiency and training of specialists for the reconstruction of Ukraine», NGO «Energy and Innovation DniproHub», Dnipro, Ukraine, 49 – 54. [DOI-Збірник тез конференції 13.03.24.pdf](https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-2/091)

Використання полідисперсних мінеральних компонентів для поліпшення експлуатаційних властивостей дрібношугучних вібропресованих виробів

Алла Майстренко, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0000-0002-1152-995X>

Оксана Бердник, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0000-0001-5231-3518>

Артем Захаров, аспірант технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0009-0002-8657-5149>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Незважаючи на наявність практичних розробок, пов'язаних з виробництвом бруківки, відкритою лишається проблема вдосконалення їх якості і строку служби та їх покращення, шляхом застосування різного типу добавок.

Одним із перспективних напрямків покращення характеристик виробів є застосування мінеральних добавок, які частково замінюють цемент і покращують технічні характеристики бетону. Ці добавки впливають на структуру та властивості бетону, водночас економлять цемент і заповнювачі.

Одним із дефектів бруківки, що недопустимі при експлуатації є висоли (поверхневий дефект бетону, який не впливає на структурні характеристики). Одним із дефектів бруківки що недопустимі є такий вид недоліку як висоли (поверхневий дефект бетону).

Метою роботи є дослідження бетонів із використанням полідисперсного мінерального компоненту у вигляді цеоліту для виготовлення бруківки, та дослідження їх впливу на властивості бетонів, з пропозицією оптимальних складів бетонної суміші для дрібношугучних виробів.

У дослідженні було проаналізовано два склади бетонних сумішей: контрольний на основі ПЦ II/A-III-500 та суміші із заміною 10% цементу цеолітом. Вироби формувалися одношарові, технологією вібропресування за типом «подвійне Т» на лабораторному вібромайданчику. Міцність бетону визначалась швидкістю гідратації, пуцолановою реакцією цеоліту, впливом заповнювачів та умовами тепловологісного тверднення.

Встановлено, що на початкових етапах тверднення, незалежно від умов зберігання, міцність контрольних зразків перевищувала міцність зразків, що містила цеоліт. Однак, через 28 діб вироби із цеолітом демонстрували вищу міцність на 26% у сухих умовах зберігання і на 21% у вологих. Відповідно, додавання цеоліту до бетонних сумішей покращує міцність виробів на стиск, особливо за сухих умов зберігання, що є вагомою перевагою для дрібношугучних вібропресованих виробів.

Бетон із додаванням цеоліту має менші втрати маси, що підтверджує його кращу вологостійкість та міцність, демонструє нижчий рівень водопоглинання (за масою 1,81-2,19%), що підтверджує його високу щільність та кращі експлуатаційні характеристики. В свою чергу, менші показники водопоглинання свідчать про нижчу ймовірність проникнення шкідливих розчинів, які можуть викликати корозію бетону.

Таким чином, полідисперсний мінеральний компонент, такий як цеоліт, забезпечує не лише більшу міцність при використанні як заміник цементу (до 15%), але й запобігає первинним висолам.

1. Berdnyk O., Amelina N., Petrikova E., Maystrenko A. The use of self-compacting concrete with polycarboxylate additives in the production of long reinforced concrete structures. *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, 2023. 2684, 040001. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0120140>.
2. Maistrenko A., Berdnyk O., Amelina N., Petrikova E., Trigub V. Contact-Condensation Binders Containing in Polymers. *Materials Science Forum*. 2024. Vol. 1141. pp. 85–92. <https://doi.org/10.4028/p-27xo4y>

The use of polydisperse mineral components to improve the performance properties of small-piece vibropressed products

*Alla Maystrenko, PhD of Technical Sciences, Associate professor, head of the Department of Technologies of building structures and products, <https://orcid.org/0000-0002-1152-995X>
Oksana Berdnyk, PhD of Technical Sciences, Associate professor, head of the Department of Technologies of building structures and products, <https://orcid.org/0000-0001-5231-3518>
Artem Zakharov, graduate student, head of the Department of Technologies of building structures and products, <https://orcid.org/0009-0002-8657-5149>*

Kyiv National University of Construction and Architecture

Despite the existence of practical developments related to the production of paving stones, the problem of improving their quality and service life and their improvement through the use of various types of additives remains open.

One of the promising areas for improving the characteristics of products is the use of mineral additives that partially replace cement and improve the technical characteristics of concrete. These additives affect the structure and properties of concrete, while saving cement and aggregates.

One of the defects in paving stones that are unacceptable in operation is efflorescence (a surface defect in concrete that does not affect structural characteristics). One of the unacceptable defects of paving stones is such a defect as efflorescence (a surface defect of concrete).

The aim of the work is to study concrete using a polydisperse mineral component in the form of zeolite for the manufacture of paving stones, and to investigate their effect on the properties of concrete, with the proposal of optimal concrete mixtures for small-piece products.

Two concrete mixtures were analyzed in the study: a control mix based on PC II/A-S-500 and a mix with 10% of cement replaced with zeolite. The products were formed in single layers using the “double T” vibropressing technology on a laboratory vibroformer. The strength of concrete was determined by the rate of hydration, the pozzolanic reaction of zeolite, the effect of aggregates, and the conditions of thermal-humidity curing.

It was found that at the initial stages of curing, regardless of storage conditions, the strength of control samples exceeded the strength of samples containing zeolite. However, after 28 days, the products with zeolite showed higher strength by 26% under dry storage conditions and by 21% under wet storage conditions. Accordingly, the addition of zeolite to concrete mixtures improves the compressive strength of products, especially under dry storage conditions, which is a significant advantage for small-piece vibropressed products.

Concrete with the addition of zeolite has lower weight loss, which confirms its better moisture resistance and strength, and demonstrates a lower level of water absorption (by weight 1.81-2.19%), which confirms its high density and better performance. In turn, lower water absorption rates indicate a lower probability of penetration of harmful solutions that can cause concrete corrosion.

Thus, a polydisperse mineral component such as zeolite not only provides greater strength when used as a cement substitute (up to 15%), but also prevents primary efflorescence.

1. Berdnyk O, Amelina N, Petrikova E, Maystrenko A. The use of self-compacting concrete with polycarboxylate additives in the production of long reinforced concrete structures. *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, 2023. 2684, 040001. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0120140>.
2. Maistrenko A., Berdnyk O., Amelina N., Petrikova E., Trigub V. Contact-Condensation Binders Containing in Polymers. *Materials Science Forum*. 2024. Vol. 1141. pp. 85–92. <https://doi.org/10.4028/p-27xo4y>

Фактори, які впливають на колір вібропресованих бетонних тротуарних плит

Євгенія Петрикова, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0000-0001-6781-0954>

Алла Майстренко, канд. ехн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0000-0002-1152-995X>

Андрій Шудренко, здобувач, <https://orcid.org/0009-0006-2274-9532>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Мета дослідження – провести дослідження впливу сировинних компонентів, таких як вид цементу і дрібного заповнювача, та умов тверднення на колір вібропресованих бетонних тротуарних плит.



Рис.1 – Вплив кольору цементу при однаковому дозуванні жовтого пігменту: 1 – виріб на білому цементі; 2 – виріб на звичайному (сірому) цементі



Рис.2 – Вплив температурного середовища в камері тверднення на колір виробів: 1 – $t = 23^{\circ}\text{C}$; 2 – $t = 17^{\circ}\text{C}$; 3 – $t = 20^{\circ}\text{C}$

Проведені дослідження впливу сировинних компонентів на колір бетонних вібропресованих тротуарних плит, а саме кольору цементу і дрібного заповнювача; розглянуто оптимальну послідовність виготовлення декоративної дрібнозернистої бетонної суміші. Розглянуто вплив умов тверднення декоративних бетонів на кінцевий відтінок бетонної поверхні (рис. 1, рис. 2). Аналіз результатів вказує, що істотний вплив на колір мають, перш за все, колір цементу і дрібного заповнювача, а також їх вміст в бетонній суміші. Декоративний бетон, виготовлений із застосуванням звичайного цементу, має менш яскравий відтінок у порівнянні з бетоном, виготовленим із застосуванням білого цементу. Чисті і яскраві кольори бетонної поверхні можна отримати тільки при застосуванні білого цементу. При цьому необхідно враховувати яку кольорову гаму пігментів використовують. Так чистий чорний і коричневий колір можна отримати на сірому цементі; відтінки червоного, виготовленого на білому і на сірому цементі, мають незначні відмінності в кольорі; а для жовтого і синього кольору, колір цементу має першочергове значення. Тобто чистий відтінок жовтого або синього кольору можливо отримати виключно при застосуванні білого цементу. Встановлено, що на відтінок впливає і варіація кольору сірого цементу від світло-сірого до зеленувато-сірого. На остаточний відтінок бетону впливає і характерний колір заповнювача. Для виробництва фарбованих бетонних виробів найбільш вдалим є використання пісків білих, світло-сірих і світло-жовтих відтінків, які практично не впливають на кінцевий колір бетонної поверхні. Умови тверднення декоративних бетонних виробів також надають істотний вплив на кінцевий відтінок бетонної поверхні. Цементний камінь, що утворюється в процесі гідратації цементу, складається з кристалів, розмір яких визначає, як буде розсіюватися світло на бетонній поверхні [1]. Чим вища температура і вологість середовища в камері тверднення, тем інтенсивніше йде тверднення дрібних кристалів голчатої форми. Посилене розсіювання такими кристалами світла призводить до того, що поверхня освітлюється.

Factors that can influence the colour of vibro-pressed concrete paving slabs

Evgeniya Petrikova, PhD of Technical Sciences, Associate professor, head of the Department of Technologies of building structures and products, <https://orcid.org/0000-0001-6781-0954>
Alla Maistrenko, PhD of Technical Sciences, Associate professor, , head of the Department of Technologies of building structures and products, <https://orcid.org/0000-0002-1152-995X>
Andriy Shudrenko, student, <https://orcid.org/0009-0006-2274-9532>

Kyiv National University of Construction and Architecture

The purpose of the study is to investigate the influence of raw materials, such as the type of cement and fine aggregate, and curing conditions on the colour of vibro-pressed concrete paving slabs.



Fig. 1 - Effect of cement colour at the same dosage of yellow pigment: 1 - product on white cement; 2 - product on ordinary (grey) cement



Fig. 2 - The effect of the temperature environment in the curing chamber on the colour of the products: 1 - $t = 23^{\circ}\text{C}$; 2 - $t = 17^{\circ}\text{C}$; 3 - $t = 20^{\circ}\text{C}$

The influence of raw material components on the colour of concrete vibro-pressed paving slabs, namely the colour of cement and fine aggregate, was studied; the optimal sequence of manufacturing a decorative fine-grained concrete mixture was considered. The influence of the curing conditions of decorative concrete on the final shade of the concrete surface is considered (Fig. 1, Fig. 2).

The analysis of the results shows that the colour is primarily influenced by the colour of the cement and fine aggregate, as well as their content in the concrete mix. Decorative concrete made with ordinary cement has a less bright shade compared to concrete made with white cement. Clean and bright colours of the concrete surface can be obtained only with white cement. It is necessary to take into account the colour range of pigments used. For example, pure black and brown colours can be obtained with grey cement; shades of red made with white and grey cement have slight differences in colour; and for yellow and blue, the colour of the cement is of primary importance. That is, a pure shade of yellow or blue can be obtained only with white cement. It was found that the shade is also affected by the variation in the colour of grey cement from light grey to greenish grey. The final shade of concrete is also influenced by the characteristic colour of the aggregate. For the production of painted concrete products, the most successful is the use of sands of white, light grey and light yellow shades, which practically do not affect the final colour of the concrete surface.

The curing conditions of decorative concrete products also have a significant impact on the final shade of the concrete surface. Cement stone, formed during the hydration of cement, consists of crystals, the size of which determines how light will be scattered on the concrete surface [1]. The higher the temperature and humidity of the environment in the curing chamber, the more intense the formation of small needle-shaped crystals. The enhanced scattering of light by these crystals causes the surface to brighten.

Вимоги до виробів з кам'яної вати для різних теплоізоляційних рішень

Гор Железняк, аспірант кафедри технології будівельних конструкцій і виробів
<https://orcid.org/0009-0008-0458-4943>

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

Головною сферою застосування жорстких виробів з кам'яної вати в будівництві – теплоізоляція в конструкціях плоских покрівель і в системах навісних вентиляваних фасадів. Для таких плит регламентується міцність на стиск, міцність на відрив шарів під рівномірною розподіленою навантаженням. Згідно нормативних документів використання в конструкціях покрівель з мінеральних плит виготовлені тільки за допомогою пресового способу або формуванням з гідромас, з міцністю на стиск, відповідно 80 кПа і 100 кПа.

Згідно основним експлуатаційним характеристикам матеріалу [1], враховуються основні види теплоізоляційних рішень які застосовуються в сучасному будівництві і забезпечують якісні показники матеріалу і забезпечують оптимізацію основних експлуатаційних показників плит (табл. 1.).

Таблиця 1

Основні показники ізоляційних плит

Показники ізоляційних плит	Міцність на стиск при 10% деформації, кПа	Міцність на відрив шарів, кПа
Покрівельних	60	10
Вентильованих	20	4
Штукатурних фасадів	45	15

Для теплоізоляції плоских покрівель, застосовуються жорсткі і наджорсткі плити з кам'яної вати, всі матеріали умовно поділяються на одношарові і двошарові [2].

При одношаровому рішенні вся товщина теплоізоляційного шару формується однією плитою. Щільність такої плити від 130 до 200 кг/м³ і міцність на стиск при 10% деформації не менше 45-60 кПа. Діапазон товщин плит більшості виробників до 200 мм.

Двошарові рішення включають в себе дві плити, в яких верхня більш жорстка і міцна, а нижня має меншу міцність. Існуючі матеріали мають щільність 175-220 кг/м³ і міцність на стиск 60-85 кПа для верхньої плити, і відповідно 100-145 кг/м³ і 20-40 кПа для нижньої плити. Номенклатура товщин – 40-60 мм для верхніх і від 50 до 200мм нижніх плит.

Виходячи з номенклатури, можна зробити висновок про наявність прямої залежності міцності теплоізоляційного матеріалу від його щільності (рис.1).

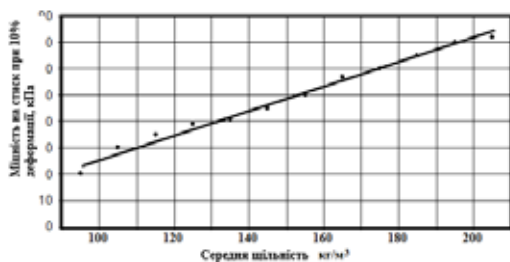


Рис. 1. Залежність міцності на стиск виробів з кам'яної вати від щільності

Двошарові рішення є більш економічними в порівнянні з одношаровими за рахунок зменшення середньої щільності рішення, але більш витратними в зв'язку з необхідністю вкладання двох шарів замість одного.

1. Meyer C. Recycled glass from waste material to valuable resource / C. Meyer // Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium, Dundee UK, 2001. – P. 1–10.
2. Ketov A.A. Peculiar chemical and technological properties of glass cullet as the raw material for foamed insulation / A.A. Ketov // Recycling and Reuse of Waste Materials: Proceedings of the International Symposium. Dundee UK, 2003. – P. 695–704.

Requirements for stone wool products for different thermal insulation solutions

Jeleznyak I., graduate student, head of the Department of Technologies of building structures and products

Kyiv National University of Construction and Architecture

The main area of application of rigid stone wool products in construction is thermal insulation in flat roof structures and in ventilated facade systems. For such boards, the compressive strength and tensile strength of the layers under an evenly distributed load are regulated. According to the regulatory documents, mineral slabs made by pressing or molding from hydromasses with a compressive strength of 80 kPa and 100 kPa, respectively, are used in roof structures.

According to the main performance characteristics of the material [1], the main types of thermal insulation solutions used in modern construction are taken into account, which ensure the quality of the material and optimize the main performance indicators of the boards (Table 1).

Table 1

Main characteristics of insulation boards

Performance of insulation boards	Compressive strength at 10% deformation, kPa	Tensile strength of layers, kPa
Roofing	60	10
Ventilated	20	4
Plaster facades	45	15

For thermal insulation of flat roofs, rigid and ultra-rigid stone wool boards are used, all materials are conventionally divided into single-layer and double-layer [2].

With a single-layer solution, the entire thickness of the thermal insulation layer is formed by a single slab. The density of such a board is from 130 to 200 kg/m³ and the compressive strength at 10% deformation is at least 45-60 kPa. The range of thicknesses of boards from most manufacturers is up to 200 mm.

Two-layer solutions include two slabs, in which the upper one is more rigid and stronger, and the lower one has lower strength. Existing materials have a density of 175-220 kg/m³ and a compressive strength of 60-85 kPa for the upper slab, and 100-145 kg/m³ and 20-40 kPa for the lower slab, respectively. The range of thicknesses is 40-60 mm for the top slabs and 50 to 200 mm for the bottom slabs.

Based on the nomenclature, it can be concluded that the strength of the insulation material directly depends on its density (Fig. 1).

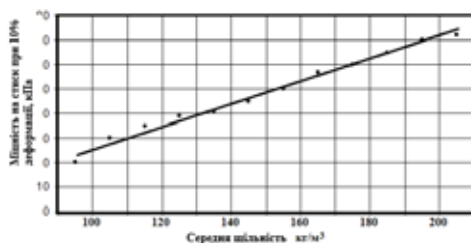


Fig. 1. Dependence of compressive strength of stone wool products on density

Two-layer solutions are more cost-effective than single-layer solutions due to a reduction in the average density of the solution, but more expensive due to the need to install two layers instead of one.

1. Meyer C. Recycled glass from waste material to valuable resource / C. Meyer // Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium, Dundee UK, 2001. – P. 1–10.
2. Ketov A.A. Peculiar chemical and technological properties of glass cullet as the raw material for foamed insulation / A.A. Ketov // Recycling and Reuse of Waste Materials: Proceedings of the International Symposium. Dundee UK, 2003. – P. 695–704.

СЕКЦІЯ 3

Панельна дискусія:
*«Комп'ютерне моделювання конструкцій
будівель і споруд спеціального призначення»*



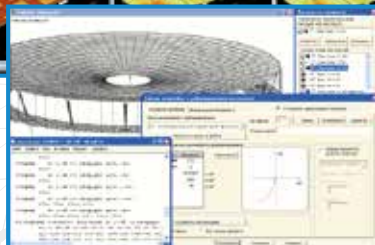
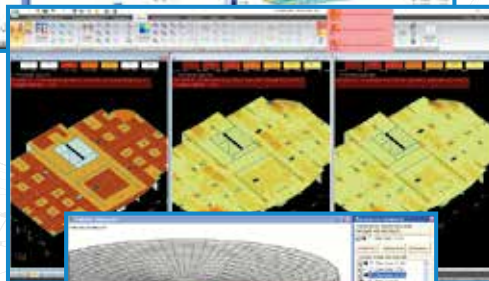
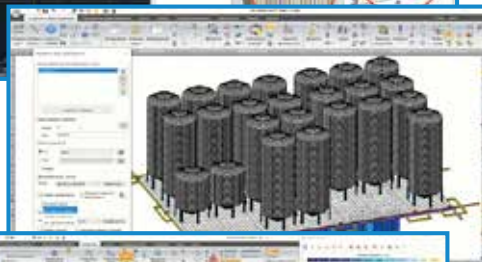
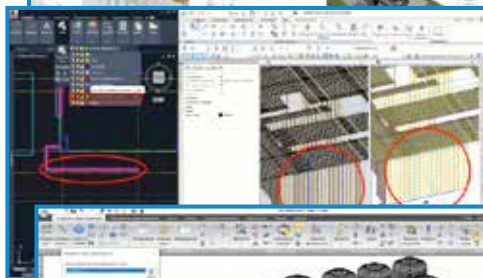
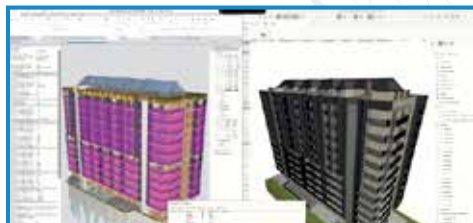
LIRA-FEM®

LIRA-CAD®



**Програмний комплекс для розрахунку, проєктування,
моделювання процесів життєвого циклу будівельних конструкцій**

- Реалізація технології BIM. Двосторонній зв'язок Revit - LIRA-FEM - Revit, Tekla - LIRA-FEM - Tekla. Інтеграція з AutoCAD, ArchiCAD, Advance Steel, Allplan, СТАРКОН, Gmsh, MS Word, MS Excel, та ін.
- Потужний багатофункціональний процесор, який реалізує швидкодійні алгоритми складання і рішення систем рівнянь з порядком до декількох мільйонів невідомих.
- Розвинена бібліотека скінченних елементів, що дозволяє створювати комп'ютерні моделі практично будь-яких конструкцій.
- Моделювання процесів життєвого циклу конструкцій та конструктивних систем, які включають моделювання процесу зведення, прогресуючого обвалення, зміни НДС в часі та ін.
- Суперелементне моделювання з візуалізацією на всіх етапах розрахунку, що дозволяє зняти будь-які обмеження на розмір розв'язуваної задачі.
- Можливість розрахунку на різні види динамічних дій (сейсміка, вітер з урахуванням пульсації, вібраційні навантаження, імпульс, удар, відповідь-спектр, сейсміка на основі акселерограми). Для сейсмічних впливів реалізовані норми України, Казахстану, Азербайджану, Грузії, Франції, Алжиру, Туреччини та ін.
- Модулі врахування фізичної нелінійності на основі різних нелінійних залежностей σ - ϵ , що забезпечують можливість комп'ютерного моделювання процесу навантаження моно- і бі-матеріальних залізобетонних конструкцій з дослідженням тріщиноутворення, проявом деформацій повзучості і текучості аж до отримання картини руйнування конструкції.
- Модулі врахування геометричної нелінійності, що дозволяють проводити розрахунок таких конструкцій, як гнучкі плити, оболонки, окремі канати, вантові ферми, висячі покриття, тенти, мембрани та ін.





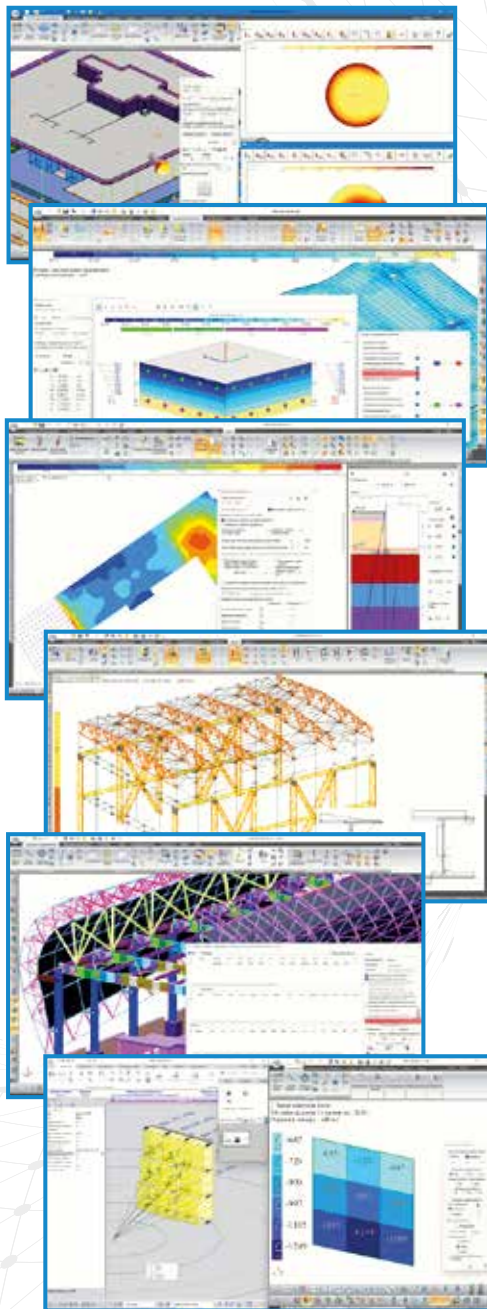
LIRA-FEM®

LIRA-CAD®



**Програмний комплекс для розрахунку, проєктування,
моделювання процесів життєвого циклу будівельних конструкцій**

- Розрахунково-графічна система Теплопровідність. Нелінійна теплопровідність для стержневих, пластинчастих та об'ємних СЕ. Можливість створювати закони зміни коефіцієнта теплопровідності, коефіцієнта теплоємності та питомої ваги залежно від температури.
- Розрахунково-графічна система Вогнестійкість. Автоматизований підбір армування для забезпечення необхідної межі вогнестійкості залізобетонних і сталезалізобетонних конструкцій за ознакою втрати несучої здатності згідно з нормами СТО 36554501-006-2006 та ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2: 2012.
- Системи для розрахунку і проєктування залізобетонних, армокам'яних і сталевих конструкцій відповідно до нормативів країни України, Казахстану та Європи.
- Розрахунково-графічна система Грунт.
- Розрахунково-графічна система Конструктор перерізів.
- Прогресуюче обвалення - спеціалізована система, яка відповідає чинним рекомендаціям для моделювання поведінки конструкцій будівель і споруд у разі аварійних впливів, що викликали локальний руйнування окремих несучих елементів.
- Спеціалізований документатор, що дозволяє формувати звіт, що складається з текстової, табличної і графічної інформації з формуванням файлів для MS Office.
- Автоматизування всіх процесів, пов'язаних з визначенням інтенсивності вибухового навантаження та його прикладанням до відповідних елементів конструкції з урахуванням різних параметрів вибуху.



www.liraland.ua
+38 044 5905886 info@liraland.com.ua



@liraland

Моделювання зміни напружено-деформованого стану конструкцій протягом життєвого циклу в програмному забезпеченні LIRA-FEM

Марія Барабаш, докт. техн. наук, професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва, <https://orcid.org/0000-0003-2157-521X>

ДП "Київський авіаційний інститут";
ТОВ "ЛІРА САПР"

Ця доповідь присвячена розробленим чисельним методам, які дозволяють моделювати весь процес життєвого циклу будівель і споруд, включаючи етапи монтажу, реологічні процеси під час експлуатації та процес адаптації конструктивної системи до змінних навантажень у разі надзвичайних ситуацій.

Одним із основних напрямів у проєктуванні будівель і споруд є підвищення надійності, безпеки та довговічності при зменшенні витрат матеріалів. Важливою складовою є чисельне моделювання процесів життєвого циклу, зокрема тих, що пов'язані зі змінами в конструкціях напружено-деформованого стану (НДС) на всіх етапах життєвого циклу будівельного об'єкта.

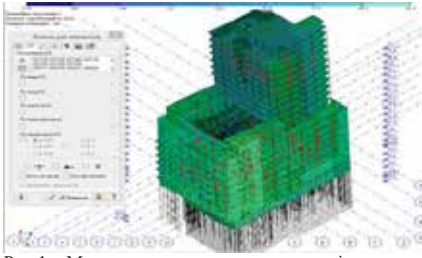


Рис.1 – Моделювання проєктних впливів

Необхідність комплексного чисельного аналізу будівель і споруд виникає через: зростаючу складність конструктивних рішень і умов експлуатації (багатовимірність, складність і багатофункціональність будівель і споруд, їх великі розміри, виняткова складність моніторингу поточного технічного стану, неможливість ремонту без повного зняття навантажень, схильність до змін просторового планування та режимів навантаження під час

експлуатації); унікальність (грунтові, кліматичні та інші зовнішні умови, унікальна складність і тривалість будівництва та експлуатації, підвищена роль "людського фактору" на всіх етапах життєвого циклу); а також неповнота та невизначеність вихідних даних (геометрія, жорсткість, граничні та початкові умови, навантаження та впливи).

Однак усі ці фактори не враховані в повному обсязі в чинних нормативних документах та в практиці проєктування і будівництва, що призводить або до недостатньої надійності конструкцій, або до надмірного витрачання матеріалів.

Метою цього дослідження є вирішення проблеми конструкційної безпеки будівель і споруд шляхом розробки комплексу науково обґрунтованих методів чисельного моделювання НДС конструкцій з урахуванням усіх етапів їх життєвого циклу та вдосконалення методів розрахунку, що враховують нелінійні деформації. Чисельне моделювання процесів життєвого циклу дозволяє формувувати та вирішувати задачі, які не можна розв'язати за допомогою фізичних експериментів.

В рамках цього дослідження та враховуючи військові дії, які відбуваються в нашій країні, особливу важливість набувають розрахунки на закритичні, в тому числі вибухові впливи.

Інтеграція врахування змін НДС протягом життєвого циклу в проєктні практики дозволяє надійно оцінити НДС ще на стадії проєктування, а також провести низку чисельних експериментів.

1. Барабаш М., Ковальов А., Ромашкіна М. (2023). Розрахункове оцінювання вогнестійкості вогнезахисених залізобетонних будівельних конструкцій засобами ПК «ЛІРА-САПР». Будівельні конструкції. Теорія і практика, (12), 53–64. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.53-64>

Modeling the changing stress-strain state of constructions during the life cycle in LIRA-FEM software

Mariia Barabash, doctor of technical sciences, professor Department of Computer Technologies of Building Construction, <https://orcid.org/0000-0003-2157-521X>

*State Enterprise "Kyiv Aviation University", "
LIRA SAPR" Ltd*

This report presents developed numerical methods that allow for modeling the entire life cycle process of buildings and constructions, including stages of assemblage, rheological processes during operation, and the process of structural system adaptability to changing loads in case of force majeure situations.

One of the main directions in the design of building and construction is increasing reliability, safety, and durability with reducing material consumption. Importantly, numerical modeling of life cycle processes is crucial, particularly those related to changes in the stress-strain state (SSS) at all stages of the construction object's life.

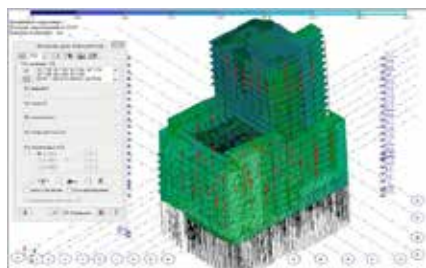


Fig.1-Modeling of off-design impacts

The necessity for comprehensive numerical analysis of buildings and constructions arises from: the increasing complexity of structural solutions and operating conditions (multidimensionality, complexity, and multifunctionality of buildings and constructions, their large dimensions, exceptional difficulty in monitoring the current technical state, the impossibility of repairs without completely removing loads, the tendency for changes in spatial planning and load modes during operation); uniqueness

(soil, climatic, and other external conditions, the unique complexity and duration of construction and operation, the increased role of the "human factor" at all stages of the life cycle); as well as the incompleteness and uncertainty of initial data (geometry, stiffness, boundary and initial conditions, loads, and impacts).

However, all these factors are not fully accounted for in existing regulatory documents and in design and construction practices, which leads either to insufficient reliability of structures or excessive material consumption.

The aim of this research is to solve the issue of structural safety for buildings and constructions through the development of a set of scientifically based methods for numerically modeling the SSS of structures, considering all stages of their life cycle, and advancing calculation methods that account for nonlinear deformation. Numerical modeling of life cycle processes allows for the formulation and solution of problems that cannot be addressed through physical experimentation.

Within the framework of this research and taking into account the military operations taking place in our country, calculations for supercritical, including explosive effects, are of particular importance.

Integrating the consideration of the SSS changes throughout the life cycle into design practices enables a reliable assessment of the SSS during the design phase, as well as the conduct of multiple numerical experiments.

1. Barabash M., Kovaliov A., Romashkina M. Computational assessment of fire resistance of fireproof reinforced concrete building structures using the LIRA-SAPR software. *Building Structures. Theory and Practice*, (12), 53–64. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.53-64>

Розрахунок будівлі на вплив повітряної ударної хвилі

Марина Ромашикіна, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-7158-4037>

ТОВ «ЛІРА САІР» (м. Київ)

У контексті поточної військової ситуації для нашої країни розрахунок на вплив дії повітряної ударної хвилі на будівлі є надзвичайно важливим для забезпечення їх стійкості. Повітряна ударна хвиля є одним з основних факторів, що можуть спричинити значні руйнування будівель. Розрахунок цього впливу є важливою частиною комплексної оцінки вибухової небезпеки, що дозволяє виявити вразливі місця у конструкціях і вчасно вжити заходів для їх підсилення.

Повітряна ударна хвиля, що утворюється внаслідок вибуху, залежно від типу (наземний чи повітряний), має свої особливості поширення. При повітряному вибуху ударна хвиля поширюється сферично від епіцентру вибуху, а в наземному вибуху хвиля відбивається від поверхні землі, утворюючи підсилений фронт — так звану відбиту хвилю, яка може мати більшу амплітуду тиску порівняно з первинною хвилею. З моменту прибуття фронту ударної хвилі до конструкції тиск різко зростає до максимального значення P_g . Після цього тиск поступово знижується до атмосферного рівня P_0 , а при деяких сценаріях може падати й нижче атмосферного, утворюючи фазу розрідження.

У LIRA-FEM та LIRA-CAD реалізовані алгоритми для автоматизованого розрахунку вибухового навантаження відповідно до UFC 3-340-02 [1,2]. Методика базується на визначенні масштабованої відстані (Z) з урахуванням маси вибухової речовини та відстані до об'єкта. У LIRA-CAD цей алгоритм інтегрований у систему «Генератор», який працює на основі параметричного моделювання та візуального програмування за допомогою нодів [3].

На основі введених даних (маса вибухової речовини, відстань до конструкції, тип вибуху) визначаються основні характеристики ударної хвилі: пік надлишкового тиску, тривалість фаз, імпульс тиску, швидкість фронту ударної хвилі. Для відбитої хвилі додатково розраховується коефіцієнт відбиття, що впливає на визначення навантаження на конструктивні елементи. У LIRA-FEM розраховані значення надлишкового тиску прикладаються або як статичне навантаження, що враховує пікові значення тиску, або як динамічне, з автоматичним формуванням графіків імпульсу для кожного скінченного елемента конструкції.

Система «Динаміка у часі» LIRA-FEM дозволяє виконувати нелінійний динамічний розрахунок методом прямого інтегрування рівнянь руху в часі. Також є змога змоделювати різні сценарії вибухових навантажень, враховуючи ефекти демпфування.

Система "Динаміка у часі" застосовується для вирішення як лінійних, так і фізично нелінійних задач. В результаті розрахунку визначаються переміщення, швидкість, прискорення, зусилля та напруження для всіх елементів у кожен момент часу. Автоматично сформовані розрахункові сполучення (PC3, PCH) використовуються для перевірки несної здатності залізобетонних, сталевих, алюмінієвих та армокаміанних конструкцій.

Таким чином, розрахунок впливу повітряної ударної хвилі на будівлі є критично важливим для підвищення їх стійкості в умовах воєнних дій. Завдяки використанню сучасних методик, зокрема в LIRA-FEM та LIRA-CAD, можна автоматизувати розрахунки вибухових навантажень та визначити основні характеристики ударної хвилі. Це дозволяє моделювати її вплив на конструкції, враховувати динамічні особливості та перевіряти їхню несну здатність, що сприяє підвищенню безпеки будівель та мінімізації ризиків руйнування.

1. USA Department of Defense (DoD), UNIFIED FACILITIES CRITERIA (UFC) 3-340-02: Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, 2008
2. Ramon Gilsanz, Ronald Hamburger, Darrell Barker, Joseph L. Smith, Ahmad Rahimian, AISC Design Guide 26: Design of Blast Resistant Structures, AISC 2013
3. Барабаш М.С., Костиря Н.О., Максименко В.П. Modeling of Building Structures Resistance to Collapse Failure from Explosive Impact Advances in Science and Technology— 2024. —Vol. 156. — P.65-74 <https://doi.org/10.4028/p-CSaY06>

Analysis of a building on an air shock wave

Marina Romashkina, candidate of technical sciences, <https://orcid.org/0000-0002-7158-4037>

LIRA SAPR Ltd. (Kyiv, Ukraine)

In the current military situation for our country, the analysis of the air shock waves on buildings is crucial to ensure their strength. An air shock wave is one of the main factors that can cause significant damage to buildings. So, this analysis is an important part of a thorough evaluation of an explosive threat; it allows us to identify vulnerabilities in structures and take timely measures to strengthen them.

The air shock wave produced by an explosion has unique propagation properties depending on whether it is a ground or air explosion. In a ground explosion, the shock wave reflects off the ground surface to generate an amplified front – the so-called reflected wave, which may have a larger pressure amplitude than the primary wave. In an air explosion, the shock wave travels spherically from the epicentre of the explosion. The pressure rises rapidly to a maximum value of P_r as soon as the shock wave front reaches the structure. After that, the pressure gradually decreases to the atmospheric level P_0 , and in certain cases, it may even drop below atmospheric pressure, creating a rarefaction phase.

In accordance with UFC 3-340-02, the LIRA-FEM program and its LIRA-CAD module implement algorithms for the automated computation of the explosive load [1, 2]. The methodology is based on the determination of the scaled distance (Z), taking into account the mass of the explosive and the distance to the object. In the LIRA-CAD module, this algorithm is integrated into the Generator system (Fig. 1). The algorithm operates on the basis of parametric modelling and visual programming with nodes [3].

The primary features of the shock wave — the overpressure peak, phase length, pressure pulse, and speed of the shock wave front — are identified based on the data entered (explosive mass, distance to the structure, and type of explosion). In order to determine the load on structural parts, the reflection coefficient for the reflected wave is also computed. In the LIRA-FEM program, the calculated overpressure values are applied either as a static load, taking into account the peak pressure values, or as a dynamic load, with impulse graphs automatically generated for each finite element of the structure.

The Time History Analysis system in the LIRA-FEM program enables the user to carry out the nonlinear dynamic analysis by direct integration of the equations of motion. It is also possible to simulate various scenarios of explosive load, taking into account the effects of damping.

The Time History Analysis system is mentioned to solve both linear and physically nonlinear problems. The analysis results contain displacements, velocities, accelerations, forces and stresses for all elements at each time point. Automatically generated design combinations (DCF, DCL) are used to check the bearing capacity of reinforced concrete, steel, aluminium and masonry reinforcing structures.

So, to strengthen the buildings against military actions, it is therefore essential to analyse them on an air shock wave. Modern techniques, including those found in the LIRA-FEM program and its LIRA-CAD module, make it feasible to compute the explosive loads and identify the main parameters of the shock wave. This makes it possible to model the impact of the shock wave on the structures, consider dynamic features and check their load-bearing capacity; it helps to improve the safety of buildings and minimise the risk of destruction.

1. USA Department of Defense (DoD), UNIFIED FACILITIES CRITERIA (UFC) 3-340-02: Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, 2008
2. Ramon Gilsanz, Ronald Hamburger, Darrell Barker, Joseph L. Smith, Ahmad Rahimian, AISC Design Guide 26: Design of Blast Resistant Structures, AISC 2013
3. Barabash M.S., Kostyra N.O., Maksymenko V.P. Modeling of Building Structures Resistance to Collapse Failure from Explosive Impact Advances in Science and Technology- 2024. -Vol. 156. - P.65-74 <https://doi.org/10.4028/p-CSaY06>

Оцінка межі вогнестійкості сталевих конструкцій з використанням LIRA-FEM

Олексій Башинський, доктор філософії (PhD), фахівець САПР, <https://orcid.org/0000-0003-2466-4306>

ТОВ «ЛІРА САПР» (м. Київ)

Мета дослідження – сформувати та описати інженерно-технічний алгоритм розрахунку металевих конструкцій на вогнестійкість за уточненою методикою Єврокоду. Наразі існують спрощені аналітичні методики розрахунку сталевих конструкцій на вогнестійкість, в тому числі і за Єврокодом. Метод визначення критичної температури, який в тому числі реалізовано в LIRA-FEM є швидким способом оцінки температури, за якої поперечний переріз втрачає несну спроможність. Проте час настання граничного стану конструкції за вогнестійкістю за таким методом визначити неможливо.

Саме тому пропонується методика, що заснована на уточненому методі оцінки границі вогнестійкості сталевих конструкцій. Дана методика полягає у виконанні двох розрахунків: теплотехнічний – для визначення часу настання гранично стану за вогнестійкістю, та механічний (статичний) – для визначення несної здатності перерізу внаслідок підвищення в ньому температури. Алгоритм розрахунку за запропонованою методикою наведено на рисунку 1.



Рис. 1. Чисельно-аналітичний алгоритм визначення границі вогнестійкості сталевої балки перекриття

Запроповану методику можна вважати достовірною у зв'язку з порівнянням отриманих результатів теплотехнічного та механічного чисельного розрахунку з результатами натурних експериментів [1,2].

1. S. Bilyk, O. Bashynska, O. Bashynskiy. Determination of changes in thermal stress state of steel beams in LIRA-SAPR software. *Strength of Materials and Theory of Structures*. Київ, 2022. Вип. 108. С. 182-202. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.189-202>
2. Башинський О.В. Оцінка несучої здатності сталевої балки перекриття в умовах високих температурних впливів. *Наука та будівництво*. Київ, 2024. Том 39 №1 (2024). С. 72-78. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-8>

Assessment of the fire resistance limit of steel structures using LIRA-FEM

Oleksii Bashynskiy, PhD (Tech.), CAD specialist, <https://orcid.org/0000-0003-2466-4306>;

LIRA SAPR LLC (Kyiv)

The purpose of the study is to formulate and describe an engineering and technical algorithm for calculating metal structures for fire resistance according to the revised Eurocode methodology. At present, there are simplified analytical methods for calculating steel structures for fire resistance, including those based on the Eurocode. The method of determining the critical temperature, which is also implemented in LIRA-FEM, is a quick way to estimate the temperature at which a cross-section loses its load-bearing capacity. However, it is impossible to determine the time of occurrence of the fire resistance limit state of the structure using this method.

That is why we propose a methodology based on a refined method for assessing the fire resistance limit of steel structures. This methodology consists of two calculations: a thermal calculation to determine the time of onset of the fire resistance limit state, and a mechanical (static) calculation to determine the load-bearing capacity of a section due to an increase in temperature. The calculation algorithm according to the proposed method is shown in Figure 1.



Fig. 1. Numerical and analytical algorithm for determining the fire resistance limit of a steel floor beam

The proposed methodology can be considered reliable due to the comparison of the results of thermal and mechanical numerical calculations with the results of full-scale experiments [1,2].

1. S. Bilyk, O. Bashynska, O. Bashynskiy. Determination of changes in thermal stress state of steel beams in LIRA-SAPR software. *Strength of Materials and Theory of Structures*. Kyiv, 2022. Issue.108. Pp. 182–202. <https://doi.org/10.32347/2410-2547.2022.108.189-202>
2. Bashynskiy O.V. Estimation of the bearing capacity of a steel floor beam under high temperature effects. *Science and construction*. Kyiv, 2024. Vol. 39 №1 (2024). Pp. 72-78. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2024-8>

Перевірка залізобетонних конструкцій за допомогою системи «Експертиза ЗБК» у LIRA-CAD та LIRA-FEM

Андрій Томашевський, інженер-програміст, асистент кафедри комп'ютерних технологій будівництва, <https://orcid.org/0000-0001-5960-2100>

ТОВ «ЛІРА САПР»,
Державний університет «Київський авіаційний інститут» (м. Київ)

Традиційна технологія автоматизованого проектування залізобетонних конструкцій у програмному комплексі LIRA-FEM передбачає наступні етапи [1]: створення моделі несучих конструкцій за фактичними опалубочними розмірами; створення ідеалізованої скінченно-елементної моделі (що передбачає, зокрема, визначення жорсткісних характеристик конструкції за фізично нелінійним розрахунком, спрощеними методиками лінійних розрахунків чи комбінованими методами, втіленими у функціях під загальною назвою «Інженерна нелінійність» [2]; підбір армування за визначеними розрахунковими сполученнями зусиль з використанням скінченно-елементного постпроцесора для розрахунків залізобетонних конструкцій; виконання інженером конструювання (у тому числі за допомогою інтерактивних шкал та мозаїк в LIRA-FEM або інструментів для уніфікації та автоматизованого конструювання в LIRA-CAD).

Оскільки фінальне конструктивне рішення відрізняється від того теоретичного армування, що було підібрано постпроцесором, необхідно виконати перевірку прийнятих конструктивних рішень на відповідність заданим вимогам обраних нормативних документів. У LIRA-FEM для цього використовується скінченно-елементний постпроцесор для перевірки заданого армування, а починаючи з версії 2025, ще й система «Експертиза ЗБК» на базі LIRA-CAD. Окрім перевірки бетонних і залізобетонних конструкцій при новому будівництві, додатковими задачами, де також може бути застосована система «Експертиза ЗБК», є локальний розрахунок окремої конструкції на задані зусилля, перевірка достатності орієнтовного армування перед призначенням приведених жорсткісних характеристик, оцінка міцності та експлуатаційної придатності вже існуючих конструкцій, зокрема при реконструкції та підсиленні.

Система «Експертиза ЗБК» використовує у якості імпортованих вихідних даних інформаційну модель будівельних конструкцій із детальною геометрією та необхідною семантикою, побудовану за допомогою інструментів LIRA-CAD, а також внутрішні зусилля в розрахункових перерізах конструкцій, обчислені у LIRA-FEM. Потенційно такі вихідні дані також можуть бути створені локально чи імпортовані з інших програм. Система має своїм пріоритетом контроль користувача над усіма вихідними даними та ходом розрахунку, тобто передбачає, що користувач явно вказує, які розрахунки мають бути виконані, на які комбінації навантажень, для яких конструктивних елементів та якими розрахунковими характеристиками ті будуть наділені в контексті кожного з розрахунків.

Така деталізація та структурування вихідних даних дозволяє реалізовувати більш універсальні та узагальнені (порівняно із наведеними в нормативних документах та посібниках, орієнтованих на розрахунки вручну) алгоритми перевірок, а також виконувати розрахунки строго відповідно до задуму інженера.

Результатами перевірок є коефіцієнти використання для кожного розрахункового перерізу заданих конструктивних елементів, загальний перегляд яких відбувається у вигляді інтерактивної мозаїки на 3D виді. За необхідності для обраних конструкцій, розрахункових задач та комбінацій навантажень може бути виведене трасування розрахунку, тобто відображення хронології розрахунку з використаними розрахунковими формулами й алгоритмічними умовами та підстановкою вихідних та проміжних розрахованих значень величин.

1. Городецький О. С., Євзеров І. Д. Комп'ютерні моделі конструкцій. Київ : Факт, 2007. 394 с.
2. Барабаш М. С., Сорока М. М., Сур'янінов М. Г. Нелінійна будівельна механіка з ПК ЛІРА-САПР : монографія. Одеса : Екологія, 2018. 248 с.

Checks of reinforced concrete structures using “RC Expert” system in LIRA-CAD and LIRA-FEM

Andrii Tomashevskiy, software engineer, lecturer’s assistant at the Department of Computer Technologies in Construction; <https://orcid.org/0000-0001-5960-2100>

*“LIRA SAPR” Ltd.,
State University “Kyiv Aviation Institute”*

The traditional technology for automated design of reinforced concrete structures in the LIRA-FEM software suite includes the following stages [1]: creation of a model of load-bearing structures based on actual formwork dimensions; creation of an idealized finite element model (which includes, in particular, the determination of the structural stiffness characteristics using physically nonlinear analysis, simplified linear calculation methods, or combined methods implemented through functions under the general name “Engineering Nonlinearity” [2]); reinforcement design based on defined load combinations using the finite element postprocessor for reinforced concrete structure calculations; and structural detailing performed by the engineer (including with the help of interactive scales and mosaics in LIRA-FEM or unification and automated detailing tools in LIRA-CAD).

Since the final structural solution often differs from the theoretical reinforcement selected by the postprocessor, it is necessary to verify the accepted structural design against the requirements of the selected design codes. In LIRA-FEM, this may be done using the finite element postprocessor for checking the specified reinforcement. Starting from the 2025 version, this task can also be performed using the “RC Expert” system based on LIRA-CAD.

In addition to the checks of concrete and reinforced concrete structures for new construction, the “RC Expert” system can also be used for another tasks, such as local analysis of individual structures under specified forces, verification of the adequacy of preliminary reinforcement before assigning equivalent stiffness characteristics, and evaluation of the strength and serviceability of existing structures, particularly in reconstruction or strengthening scenarios.

The “RC Expert” system uses, as imported input data, a building information model of structural components with detailed geometry and necessary semantics, created using LIRA-CAD tools, as well as internal forces at design cross-sections of the structures, calculated in LIRA-FEM. Potentially, such input data can also be created locally or imported from other software packages.

A key priority of the system is to maintain user control over all input data and the calculation process. This means the user explicitly specifies which checks are to be performed, for which load combinations, for which structural elements, and with which design characteristics those elements are to be evaluated in the context of each check.

Such detail and structuring of input data allows the implementation of more universal and generalized verification algorithms (compared to those presented in design codes and hand calculation-oriented manuals) and ensures that the calculations are performed strictly according to the engineer’s intent.

The verification results are presented as utilization factors for each design section of the specified structural elements, in form of an interactive mosaic in the 3D view. If necessary, calculation tracing can be generated for selected structures, design tasks, and load combinations — this provides a chronological representation of the calculation, including applied formulas, algorithmic conditions, and substitutions of initial and intermediate calculated values.

1. Horodetskiy, O. S., Yevzerov, I. D. (2007). Computer models of structures.

2 Barabash, M. S., Soroka, M. M., Suryaninov, M. H. (2018). Nonlinear structural mechanics using LIRA-SAPR Software. 2018, 248 p.

Оцінка стійкості захисної конструкції ангара при вибухових впливах з використанням LIRA-FEM

Ілля Бармін, аспірант кафедри КТБ, <https://orcid.org/0009-0009-2610-3271>

Державний університет "Київський авіаційний інститут" (м. Київ)

У сучасних умовах військових конфліктів і локальних війн надзвичайно актуальним є питання забезпечення захисту бойової авіації на аеродромах її базування. Аеродроми виступають стратегічно важливими об'єктами, адже вони використовуються для здійснення бойових вильотів, логістичного забезпечення та технічного обслуговування літаків. Водночас вони є однією з першочергових цілей супротивника, оскільки їх виведення з ладу може суттєво знизити ефективність авіаційного угруповання.

Сучасні технології дозволяють завдавати ударів по авіабазах із великих відстаней, що значно ускладнює їх захист. При цьому вартість атаки часто виявляється значно меншою за втрати, яких може зазнати атакована сторона. У рамках дослідження були розглянуті різноманітні типи укриттів для авіаційної техніки, боеприпасів та персоналу — від залізобетонних аркових укриттів до підземних аеродромів. Проаналізовано міжнародний досвід, зокрема мобільні й ефективні конструкції типу ESAP (США) та EFASS (Велика Британія), які демонструють високу стійкість до авіаударів.

Об'єктом дослідження виступає типове аркове укриття, яке складається з напіварочної конструкції та залізобетонних плит перекриття, засипаних ґрунтом.

Розрізняють три основних випадки граничних станів конструкції: стан 1а – конструкція не має залишкових деформацій і залишається працездатною; стан 1б – може виникнути серйозне пошкодження, яке потребує ремонту або часткової заміни; стан 1в – часткове або повне руйнування, яке не призведе до руйнування всієї конструкції, але вимагатиме реконструкції. Виконано математичний аналіз із розрахунком згинальних моментів, зон пластичних петель. Розрахунки виконувались у програмному середовищі LIRA-FEM (LIRA-SAPR) з урахуванням граничних станів залізобетонних елементів та армування. Проведено чисельне моделювання впливу вибухової хвилі на конструкцію, зокрема для покрівельних плит площею до 80 м² при дії ударного навантаження.

Запропонована методика розрахунку та моделювання дозволяє з високою точністю оцінити стійкість ангарних конструкцій до дії вибухових навантажень. Результати дослідження можуть бути використані при проектуванні нових та удосконаленні існуючих захисних споруд для бойової авіації. Було проведено комплексний аналіз конструктивних особливостей, методів динамічного розрахунку та впливу вибухових хвиль.

Особливу увагу приділено дослідженню здатності плит перекриття протистояти локалізованому ударам на значній площі. Встановлено, що ключовим фактором довговічності є здатність конструкції до сприятливого перерозподілу сил і протидії пластичним деформаціям. Чисельні моделі дозволили визначити критичні параметри, що впливають на стійкість до прогресивного руйнування при дії вибуху.

Використання сучасних інженерних технологій значно підвищує рівень захисту стратегічних об'єктів, забезпечуючи ефективну оборону авіаційних баз. Отримані результати є актуальними для потреб оборонної галузі та можуть бути впроваджені у подальших науково-технічних розробках у галузі військового будівництва.

1. Барабаш М. С., Костира Н. О., Максименко В. П., Бармін І. В. «Моделювання динамічних навантажень вибухового типу в задачах дослідження міцності будівельних конструкцій з використанням ПК LIRA-SAPR» Том 38 №4 (2023): Наука та будівництво. С. 20-27.
2. Барабаш М.С. Дослідження стійкості конструкцій будівель та споруд до прогресуючого руйнування при аварійних впливах / М.С. Барабаш, О.С. Городецький // Науково-технічний журнал: Нові технології в будівництві. – 2010. – №2(20). – С.19–23.
3. G. F. Kinney and K. J. Graham. Springer-Verlag Explosive Shocks in the Air — Second edition., Berlin. 1985. 269 pp. Illustrated. DM134.

Assessment of the resistance of the hangar protective structure to explosive impacts using LIRA-FEM

Illia Barmin, PhD student of the Department of CST, <https://orcid.org/0009-0009-2610-3271>

State Non-Commercial Company «State University «Kyiv Aviation Institute» (Kyiv)

In modern conditions of military conflicts and local wars, the issue of ensuring the protection of combat aircraft at their airfields is extremely relevant. Airfields are strategically important objects, as they are used for combat sorties, logistical support and aircraft maintenance. At the same time, they are one of the enemy's primary goals, since their incapacitation can significantly reduce the effectiveness of the air group.

Modern technologies allow strikes on air bases from long distances, which significantly complicates their defense. At the same time, the cost of the attack often turns out to be much lower than the losses that the attacked party may suffer. The study considered various types of shelters for aviation equipment, ammunition and personnel - from reinforced concrete arch shelters to underground airfields. International experience was analyzed, in particular, mobile and effective structures such as ESAP (USA) and EFASS (Great Britain), which demonstrate high resistance to air strikes.

The object of the study is a typical arched shelter, which consists of a semi-arched structure and reinforced concrete floor slabs filled with soil.

There are three main cases of limit states of the structure: state 1a - the structure has no residual deformations and remains operational; state 1b - serious damage may occur, requiring repair or partial replacement; state 1c - partial or complete destruction, which will not lead to the destruction of the entire structure, but will require reconstruction. A mathematical analysis was performed with the calculation of bending moments, plastic loop zones. The calculations were performed in the LIRA-FEM (LIRA-SAPR) software environment, taking into account the limit states of reinforced concrete elements and reinforcement. A numerical simulation of the impact of a blast wave on the structure was carried out, in particular for roof slabs with an area of up to 80 m² under impact load.

The proposed calculation and modeling methodology allows for a high-precision assessment of the resistance of hangar structures to explosive loads. The results of the study can be used in the design of new and improvement of existing protective structures for combat aviation. A comprehensive analysis of structural features, dynamic calculation methods and the impact of blast waves was carried out.

Particular attention was paid to the study of the ability of floor slabs to withstand localized impacts over a significant area. It was established that the key factor in durability is the ability of the structure to favorably redistribute forces and counteract plastic deformations. Numerical models allowed determining critical parameters that affect resistance to progressive destruction during an explosion.

The use of modern engineering technologies significantly increases the level of protection of strategic facilities, ensuring effective defense of air bases. The results obtained are relevant for the needs of the defense industry and can be implemented in further scientific and technical developments in the field of military construction.

1. Barabash M. S., Kostyra N. O., Maksymenko V. P., Barmin I. V. "Modeling of dynamic explosive loads in the tasks of studying the strength of building structures using the LIRA-SAPR PC" Volume 38 No. 4 (2023): Science and Construction. P. 20-27.
2. Barabash M. S. Research on the stability of building structures and structures to progressive destruction during emergency impacts / M. S. Barabash, O. S. Gorodetsky // Scientific and Technical Journal: New Technologies in Construction. – 2010. – No. 2(20). – P. 19–23.
3. G. F. Kinney and K. J. Graham. Springer-Verlag Explosive Shocks in the Air — Second edition., Berlin. 1985. 269 pp. Illustrated. DM134.

Практичний досвід використання LIRA-FEM та LIRA-CAD

Олександр Лазарєв, провідний інженер технічної підтримки, <https://orcid.org/0000-0003-4053-2805>

ТОВ «ЛІРА САПР»

ПК LIRA-FEM є невід'ємною ланкою в ланцюжку BIM, дозволяючи на основі архітектурної (фізичної) моделі сформуванню розрахункову схему, оперуючи тільки аналітичними поняттями, виконати розрахунок схеми, а потім виконати конструювання на основі цих результатів розрахунку. Технологія інформаційного моделювання в ПК LIRA-FEM дає можливість ефективно реагувати на зміну вимог до проєктованого об'єкту, формувати нові варіанти проєктних рішень, удосконалювати проєктні рішення, намагаючись досягти їх максимальної ефективності.

Уявімо, у нас є модель будівлі в одній з програм (Revit, Archicad, Tekla Structures, Renga, Allplan). Ми можемо передати дані в LIRA-CAD декількома способами:

1. використовуючи кілька IFC файлів. У такому випадку ми можемо зберегти в кожен файл свій розділ проєкту. Наприклад, несучі конструкції в IFC файл "Конструктив". Архітектурну модель з усіма внутрішніми перегородками, зовнішніми стінами і просторами в IFC файл "Архітектура". Такі об'єкти можуть використовуватися в системі LIRA-CAD як навантаження. Елементи ОБ і ВК в IFC файл «Комунікації». На основі цих елементів у LIRA-CAD можна створити отвори і перевірити модель на колізії.
2. зберегти несучий каркас за допомогою нового формату SAF (Structural Analytical Format). Це відкритий формат, який вже підтримує досить велику кількість програм, наприклад Archicad, SCIA або Allplan. С допомогою Microsoft Excel можна переглянути створений файл і проконтролювати які елементи з якими координатами і характеристиками були збережені. Архітектурні об'єкти ОБ і ВК як і в першому випадку можна записати за допомогою IFC файлів.

У LIRA-CAD доступний широкий набір інструментів для перетворення об'єктів з одних типів в інші, вирівнювання імпортованої моделі, зіставлення матеріалів. Крім того, LIRA-CAD вже дозволяє сформувати повний набір даних для розрахунку.

Базуючись на результатах розрахунку за допомогою системи LIRA-CAD-ЗБК можна виконати уніфікацію основних ЗБ елементів, їх конструювання і отримати робочі креслення армування, специфікацію арматури, відомість витрат сталі і відомість деталей. Основними ЗБ елементами є плити перекриття, діафрагми жорсткості, колони, балки, сходи і палі. Конструювання здійснюється в автоматизованому режимі на основі результатів підбору арматури, представлених у вигляді ізополей або мозаїк площі арматури.

Сформовані елементів можуть бути роздруковані або експортовані в DWG формат. При експорті креслень враховуються всі основні нюанси, які зустрічаються при роботі з плоскими кресленнями в даному форматі:

- всі об'єкти, які присутні на кресленні, розміщуються на відповідних шарах по типу об'єкта (стіни, плити, колони і т.д.);
- таблиці, розміри, винесення, штрихування і типи ліній експортуються в нативні об'єкти DWG формату;
- створюються стилі для об'єктів текст, лінія, розмір, мультівиноска, таблиця. Дані стилі дозволяють відобразити креслення DWG таким самим як креслення, створене в LIRA-CAD.

BIM інтеграція в LIRA-FEM дозволяє інженерам звести до мінімуму кількість помилок за рахунок повторного введення даних, підвищити ефективність спільної роботи між суміжними відділами, скоординувати дії з проєктування і скоротити часові втрати.

1. Барабаш М. С. Програмні комплекси САПФІР і ЛІРА-САПР – основа вітчизняних BIM-технологій. М. С. Барабаш, О. І. Паленко, Д. В. Медведенко. – 2-е вид. – М.: Юрайт, 2013. – 366 с.

LIRA-FEM software and its LIRA-CAD module: Practical experience

Oleksandr Lazariiev, lead engineer in Technical Support Team, <https://orcid.org/0000-0003-4053-2805>

LLC LIRA SAPR

LIRA-FEM program is an integral part within the BIM chain. In this program it is possible to generate design model on the basis of an architectural (physical) model with the help of analytical concepts [1]. Then the user could carry out analysis of the model and based on these analysis results, carry out analysis of RC & steel structures. Building Information Modelling technology in LIRA-FEM program enables the user to effectively respond to changes in the requirements for a designed object, generate new concepts for design solutions, enhance design solutions in order to achieve their max efficiency.

Let's suppose, we have a building model in any of the programs (Revit, ArchiCad, Tekla Structures, Renga, Allplan). The data may be transferred to LIRA-CAD module in several ways:

1. to use several IFC files. In this case, certain project chapter may be saved to certain file. For example, load-bearing structures - to the IFC file 'Structural'. Architectural model with all internal partitions, external walls and spaces - to the IFC file 'Architecture'. Such objects may be used in the LIRA-CAD module as a load. Elements of heating and ventilation - to the IFC file 'Engineering Networks'. For such elements in LIRA-CAD, you can create openings and check the model for errors.

2. to save the load-bearing framework to the new SAF format (Structural Analytical Format). It is an open format and is already supported by many programs, such as Archicad, SCIA or Allplan. With MS Excel, the user could preview the generated file and check which elements with which coordinates and parameters were saved. Architectural objects and heating/ventilation, as in the first case, may be saved to the IFC files.

LIRA-CAD module provides a wide range of tools to convert objects from one type to another, to align the imported model, to replace materials. Moreover, with LIRA-CAD tools now it is possible to generate a complete set of data required for the analysis.

According to analysis results, in LIRA-CAD-RC module it is possible to unify the main RC elements, design them and obtain working drawings of reinforcement, schedule of reinforcement, list of steel consumption and a list of components. Floor slabs, shear walls, columns, beams, stairs and piles are the main RC elements. RC elements are designed automatically according to the results obtained in analysis of reinforcement; these results are presented as contour plots or mosaic plots of the reinforcement area.

The generated drawings of RC elements may be printed or exported to DWG format. When the drawings are exported, the program takes into account all main features of work with 2D drawings in this format:

- all objects available on the drawing are placed at the appropriate layers by the type of object (walls, slabs, columns, etc.);
- tables, dimensions, leaders, hatching and linetypes are exported to native DWG objects;
- styles are generated for the following objects: text, line, size, multileader, table. These styles enable the user to display a DWG drawing exactly as the drawing generated in LIRA-CAD module.

BIM options in LIRA-FEM enable engineers to minimize errors because of re-entering the data, have effective collaboration between related departments, coordinate design activities and avoid the time loss.

1. Barabash M. S. Programni kompleksu SAPFIR i LIRA-SAPR – osnova vitchyznyanux BIM-tehnologii. M. S. Barabash, O. I. Palienko, D. V. Medvedenko. – 2-nd ed. – M.: Yurait, 2013. – 366 s.

Методика оцінки прогресуючого руйнування каркасно-монолітної будівлі за допомогою pushdown і pulldown моделювання в пк «LIRA-FEM»

Марія Барабаш^{1,2}, докт. техн. наук, професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва, директор <https://orcid.org/0000-0003-2157-521X>

Андрій Тимощенко¹, аспірант кафедри комп'ютерних технологій будівництва, <https://orcid.org/0009-0005-8005-9524>

¹Державний університет «Київський авіаційний інститут» (м. Київ)
²ТОВ «ЛІРА САІР»

Мета дослідження – порівняння поведінки каркасно-монолітної висотної будівлі при локальній втраті колон за допомогою чисельного моделювання в квазістатичній і динамічній постановках задачі із використанням pushdown- і pulldown-методів. Досліджено вплив типу розрахунку (лінійного та фізично-геометрично нелінійного), коефіцієнта динамічності, а також оцінює ефективність різних схем армування плит перекриття.

Для розрахунку була побудована чисельна модель 16-поверхової житлової будівлі з монолітним залізобетонним каркасом у середовищі LIRA-CAD. Моделювання здійснювалося у LIRA-FEM методом скінченних елементів [1].

Розглядалися локальні сценарії руйнування, а саме втрата колон на 3-му та 8-му поверхах. Відмова на 3-му поверсі дозволяє оцінити можливість перерозподілу навантажень, тоді як при видаленні колони у середній частині будівлі ймовірність перекриттів сприймати додаткові навантаження є значно більшою.

При квазістатичному моделюванні видалення елемента імітується прикладанням зусиль, визначених у первинній розрахунковій схемі, зі зміною їхнього знаку у вторинній. Далі виконується моделювання поведінки конструкції без колони в лінійному та фізично й геометрично нелінійному варіантах із застосуванням pushdown-методу і варіюванням коефіцієнтів динамічності залежно від сценарію [2]. При коефіцієнті динамічності, що дорівнює 1, спостерігається зникнення переміщень через ігнорування інерційних ефектів, тоді як коефіцієнт 2 забезпечує реалістичнішу оцінку поведінки конструкції за рахунок врахування раптовості втрати елемента.

При динамічному аналізі визначається напружено-деформований стан конструкції за статичним розрахунком, після чого моделюється миттєва втрата колони протягом 0,02 секунди. Чисельна реалізація здійснюється методом прямої інтеграції з часовим кроком 0,002 секунди і загальною тривалістю розрахунку 2 секунди. Подальший динамічний аналіз системи без колони виконується із застосуванням pulldown-методу.

Оцінює напружено-деформований стан плит перекриття для чотирьох схем армування у квазістатичній і динамічній постановках. Встановлено, що додаткове армування підвищує жорсткість і зменшує прогини, знижуючи ризик прогресуючого руйнування, тоді як стандартна сітка є малоефективною, особливо при врахуванні динамічної складової прогресуючого руйнування.

Порівняння результатів розрахунку за різними методиками виявило суттєві відмінності між квазістатичним і динамічним розрахунками: ігнорування інерційних ефектів у квазістатичі призводить до недооцінки переміщень, тоді як динаміка точніше відображає розвиток деформацій. Врахування фізичної та геометричної нелінійностей збільшує переміщення плит через накопичення пластичних деформацій, що підкреслює необхідність комплексного нелінійного моделювання для достовірної оцінки залишкової несучої здатності.

1. Barabash, M.S., Kostyra, N.O., & Maksymenko, V.P. (2024). Modeling of Building Structures Resistance to Collapse Failure from Explosive Impact. *Advances in Science and Technology*, 156, 65–74.
2. Fatema-Tuz-Zahura, Rahman, J., & Anila, S. A. (2024). A comparison of linear static progressive collapse analysis of a typical R.C. framed building with various geometry and configuration of column. *Civil Engineering and Architecture*, 12(4), 3094–3114. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120444>

Methodology for Assessing the Progressive Collapse of a Reinforced Concrete Frame Building Using Pushdown and Pulldown Modeling in LIRA-FEM

Maria. Barabash, doctor of technical sciences, professor of the Department of Computer Technologies in Construction, Director, <https://orcid.org/0000-0003-2157-521X>

Andrii Tymoshchenko, Postgraduate student at the Department of Computer Technologies in Construction, <https://orcid.org/0009-0005-8005-9524>

State University "Kyiv Aviation Institute" (Kyiv)
LIRA-SAPR LLC

The aim of the study is to compare the behavior of a reinforced concrete frame high-rise building under local column removal using numerical modeling in quasi-static and dynamic problem formulations, applying pushdown and pulldown methods. The influence of the type of analysis (linear and physically-geometrically nonlinear), the dynamic amplification factor, as well as the effectiveness of different slab reinforcement schemes was investigated.

For the analysis, a numerical model of a 16-story residential building with a reinforced concrete frame was developed in the LIRA-CAD environment. Modeling was carried out in LIRA-FEM using the finite element method [1].

Local failure scenarios were considered, specifically the removal of columns at the 3rd and 8th floors. The failure at the 3rd floor was used to assess the ability of the structure to redistribute loads, while column removal at intermediate levels tested the slabs' capacity to absorb and redistribute additional loads.

In quasi-static modeling, element removal was simulated by applying forces from the initial design model with reversed sign in the secondary model. The structure's behavior without the column was analyzed in both linear and physically-geometrically nonlinear variants using the pushdown method, with different dynamic amplification factors depending on the scenario [2]. A factor of 1 underestimated displacements by neglecting inertial effects, whereas a factor of 2 yielded a more realistic assessment by accounting for the sudden loss of support.

In the dynamic analysis, the initial stress-strain state was determined through static calculation, followed by simulating the instantaneous removal of a column within 0.02 seconds. Numerical simulation was performed using the direct integration method with a time step of 0.002 seconds and a total simulation duration of 2 seconds. Subsequent dynamic analysis of the structure without the column was carried out using the pulldown method.

The stress-strain state of floor slabs was evaluated for four reinforcement schemes in both quasi-static and dynamic setups. It was found that additional reinforcement increases slab stiffness and reduces deflections, thereby lowering the risk of progressive collapse, while the standard reinforcement mesh proved insufficiently effective, especially under dynamic loading.

Comparison of the calculation results obtained by different methods revealed significant differences between quasi-static and dynamic analyses: ignoring inertial effects in quasi-static modeling led to underestimated displacements, whereas dynamic analysis better reflected the development of deformations. Accounting for physical and geometric nonlinearity substantially increased slab displacements due to the accumulation of plastic deformations, highlighting the need for comprehensive nonlinear modeling to accurately assess the residual load-bearing capacity.

1. Barabash, M.S., Kostyra, N.O., & Maksymenko, V.P. (2024). Modeling of Building Structures Resistance to Collapse Failure from Explosive Impact. *Advances in Science and Technology*, 156, 65–74.
2. Fatema-Tuz-Zahura, Rahman, J., & Anila, S. A. (2024). A comparison of linear static progressive collapse analysis of a typical R.C. framed building with various geometry and configuration of column. *Civil Engineering and Architecture*, 12(4), 3094–3114. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120444>



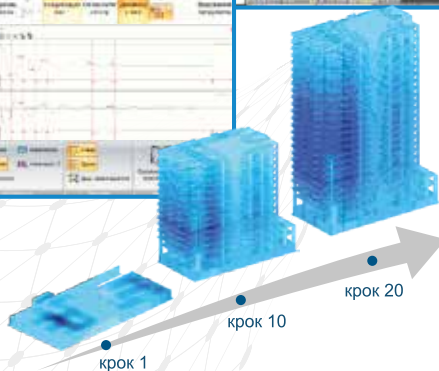
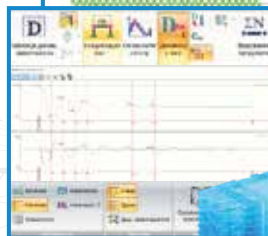
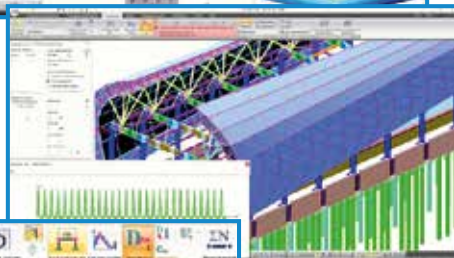
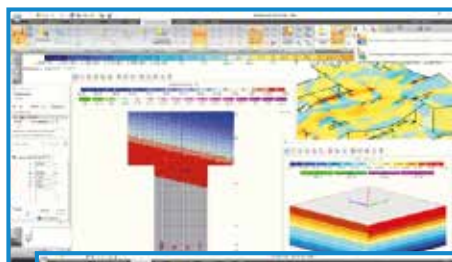
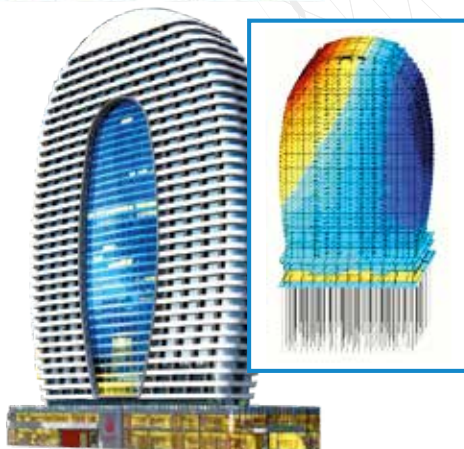
LIRA-FEM®

LIRA-CAD®



Програмний комплекс для розрахунку, проєктування, моделювання процесів життєвого циклу будівельних конструкцій

- **LIRA-FEM (finite element modeling)** - програмний комплекс для скінченно-елементного розрахунку і проєктування будівельних і машинобудівельних конструкцій різного призначення.
- **LIRA-CAD** є препроцесором та моделлером для програми LIRA-FEM.
- Моделювання процесів на різних стадіях життєвого циклу.
- Моделювання процесу зведення, вогнестійкості, вибухового впливу та прогресуючого обвалення.
- Моделювання процесу реконструкції.
- Розрахунок і автоматизоване проєктування висотних, промислових та громадських будівель з монолітного та збірного залізобетону, покриттів і перекриттів великих прольотів, мостів, веж і щогл, резервуарів, контейнента і конфайнменту АЕС, захисних споруд та інш.
- Розрахунок конструкцій на сейсмічні та інші динамічні впливи згідно норм України, Казахстану, Азербайджану, Грузії, Франції, Туреччини, та ін.
- Системи для конструювання залізобетонних, сталезалізобетонних, армокам'яних і сталевих конструкцій із видачею робочих креслень відповідно до нормативів країн Європи, України, Казахстану та інших країн.
- **Динаміка в часі** моделює поведінку конструкції в часі на базі заданих різних видів навантажень, що змінюються в часі (акселерограми, сейсмограми, вимушені коливання, удар, вибуховий вплив та ін.).
- **Pushover analysis** статичний нелінійний розрахунок, при якому вертикально навантажена розрахункова модель споруди піддається монотонному нарощуванню сейсмічного горизонтального навантаження з контролем горизонтального переміщення.
- **Монтаж** дозволяє проводити моделювання процесу зведення різних конструкцій з урахуванням багаторазової зміни розрахункової схеми, демонтажу елементів схеми, прикладання і зняття монтажного навантаження, різної жорсткості і міцності матеріалу.
- **Прогресуюче обвалення** моделює поведінку конструкцій будівель та споруд у випадку аварійних закритичних впливів, які визвали локальні руйнування окремих несних елементів.





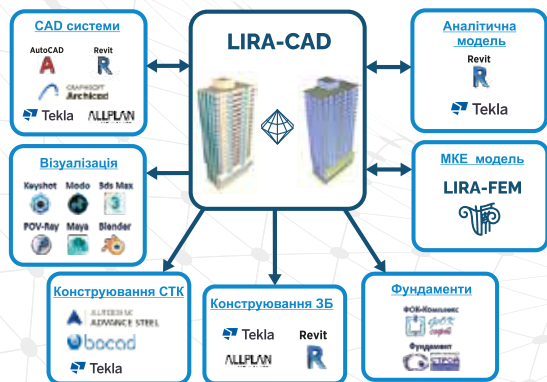
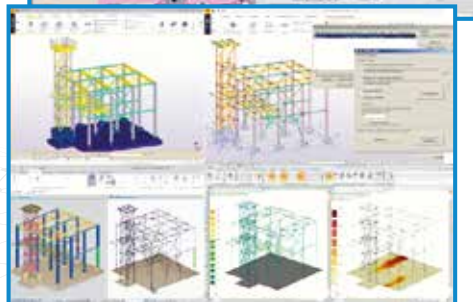
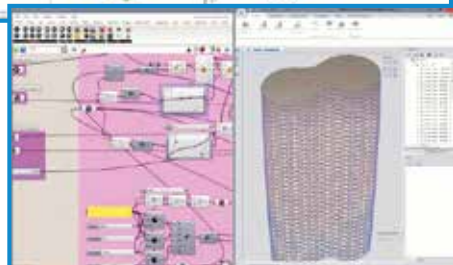
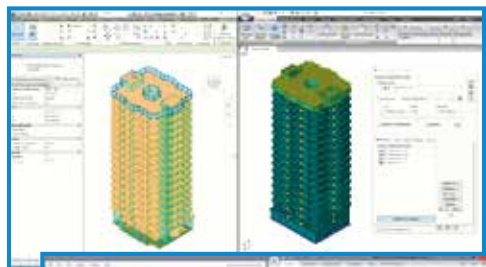
LIRA-FEM®

LIRA-CAD®



Програмний комплекс для розрахунку, проєктування, моделювання процесів життєвого циклу будівельних конструкцій

- Інструментарій LIRA-CAD дозволяє організувати ефективний двосторонній зв'язок на базі інформаційних моделей програмних комплексів різного призначення, дозволяє імпортувати архітектурні моделі з різних форматів (IFC, DWG, SAF та інш.) та експортувати результати розрахунку у різні графічні програмні комплекси.
- Набір сімейств та інструментів для побудови в Autodesk Revit аналітичної моделі, максимально наближеної до розрахункової схеми LIRA-FEM.
- Передача аналітичної моделі з Revit до LIRA-FEM для виконання міцнісного розрахунку.
- Передача підібраної арматури з LIRA-FEM у Revit для конструювання залізобетонних несучих плит, стін, колон та балок.
- Набір інструментів для графічної візуалізації та контролю армування, звичний для користувачів LIRA-FEM, але функціонує в середовищі Revit.
- Розрахункова модель Tekla Structures може бути безпосередньо передана у систему LIRA-FEM.
- Плагін дозволяє Rhino/Grasshopper та LIRA-CAD безпосередньо взаємодіяти для створення та управління моделлю BIM через інтерфейс візуального програмування Grasshopper.





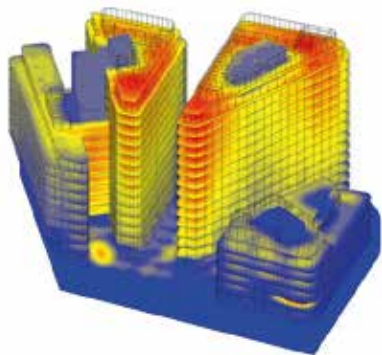
V.23.1.1.3

Інтегрована система аналізу конструкцій

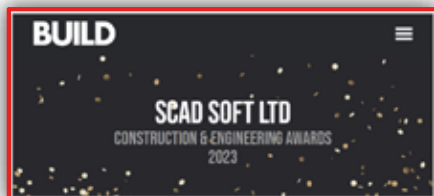
Інтегрована система аналізу конструкцій будівель і споруд є сучасним інструментом, який дозволяє виконати розрахунки і проектування різних за призначенням, розмірами і матеріалами об'єктів цивільного і промислового призначення.



SCAD++ забезпечує виконання статичного аналізу, який реалізовано у класичній формі метода скінченних елементів.

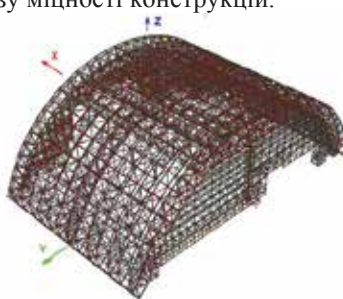


Серед методів, які реалізують розкладення за формами коливань, пропонується також і метод Ланцоша, який дозволяє автоматично знайти необхідну кількість форм для заданого відсотка модальних мас.

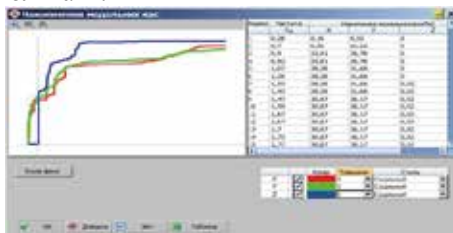


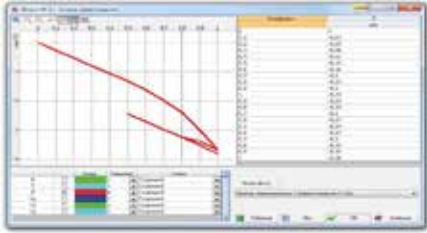
SCAD Soft LTD has won the BUILD MAGAZINE'S CONSTRUCTION & ENGINEERING AWARD

Основним елементом системи є обчислювальний комплекс SCAD++, який є багатофункціональним інструментом інженера для вирішення задач аналізу міцності конструкцій.



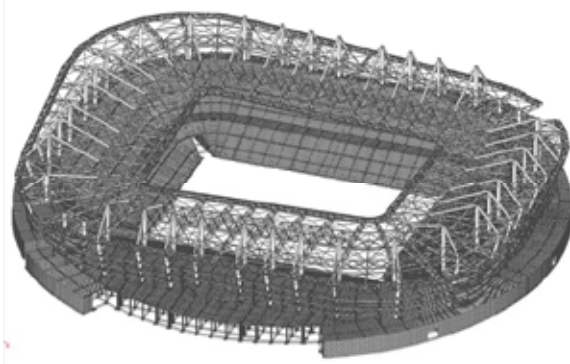
Динамічний аналіз представлено, як у формі прямого інтегрування рівнянь руху (загальний випадок), так і рішеннями, які основані на використанні розкладення по формам власних коливань.





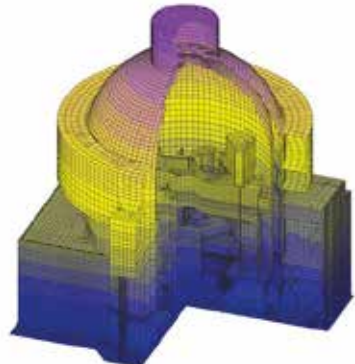
Нелінійні розрахунки виконуються з урахуванням пластичної форми деформування в обох варіантах — пружно-пластичному і згідно теорії пластичної течії.

Генетична нелінійність дає змогу виконувати розрахунки конструкцій зі змінною розрахунковою схемою, наприклад, монтаж. Реалізована також і конструктивна нелінійність, наприклад, у вигляді односторонніх в'язів.



Виконання статичних і динамічних розрахунків в лінійній і нелінійній постановках забезпечено високошвидкісними процесорами, які використовують прямі та ітераційні методи, паралельну обробку даних без практичних обмежень розміру задач. Бібліотека скінчених елементів включає широкий набір елементів, в тому числі високоточні елементи, для вирішення лінійних і нелінійних задач.

Єдине інтерактивне середовище користувача дозволяє сформувати, як "класичні" скінчено-елементні моделі, так і укрупнені структуровані моделі, які будуються із елементів конструкції будівель (колони, балки, перекриття, стіни тощо)



Інтегрована система аналізу конструкцій SCAD OFFICE. Функціональні можливості і напрямки розвитку

Едуард Криксунов, канд. техн. наук, директор НВ ТОВ "СКАД Софт"

Науково-виробниче ТОВ "СКАД Софт", (м. Київ)

Інтегрована система аналізу міцності конструкцій SCAD Office складається з сукупності незалежних програмних модулів, кожен з яких призначений для виконання певного виду операцій, пов'язаних з розрахунком та проектуванням несучих конструкцій будівель і споруд. Центральним елементом системи є універсальний Обчислювальний комплекс (ОК) SCAD++. Крім того, до складу системи входять програми-сателіти, для вирішення задач пов'язаних з розрахунками елементів конструкцій згідно діючих норм (розрахунково-аналітичні програми), програми формування і розрахунку геометричних характеристик перерізів, допоміжні програми для пошуку пружної вінклеровської основи фундаментних плит шляхом моделювання роботи багатопшарового ґрунтового масиву, обчислення значень навантажень та впливів, проектування вузлів сталевих конструкцій та залізобетонних ребристих перекриттів. Всі програми-сателіти, які входять до системи SCAD Office, зв'язані з ОК SCAD в обох напрямках, тобто мають змогу як отримувати, так і передавати інформацію в SCAD. Як SCAD++, так і розрахунково-аналітичні програми реалізують національні норми України, Литви, Казахстану та інші, а також Єврономми, для яких розроблена спеціальна версія пошуку розрахункових сполучень зусиль з урахуванням національних додатків.

Ідеологія, що покладена в основу розробки системи SCAD Office, полягає в наступному: по-перше, розрахунково-аналітичні програми-сателіти повинні точно реалізовувати норми проектування конструкцій, по-друге, алгоритми, які покладені в основу функціонування обчислювального комплексу SCAD, повинні точно реалізовувати фізичні процеси і, по-третє, система контролю повинна забезпечити максимально можливу перевірку коректності задання параметрів розрахункової схеми.

ОК SCAD++ забезпечує виконання наступних операцій: статичний аналіз — реалізовано в класичній формі метода скінчених елементів; динамічний аналіз — представлено, як у формі прямого інтегрування рівнянь руху (загальний випадок), так і рішеннями, які ґрунтуються на використанні розкладення по формам власних коливань. В останньому випадку пропонується також і метод Ланцоша, який дозволяє автоматично знайти необхідну кількість форм власних коливань, які відповідають заданому значенню відсотка вибраних модальних мас. Нелінійні розрахунки виконуються з урахуванням пластичної форми деформування в обох варіантах — пружно-пластичному і згідно теорії пластичної течії. Крім того, в програмі реалізована конструктивна нелінійність (односторонні в'язі) та генетична нелінійність (аналіз конструкцій зі змінною розрахунковою схемою, наприклад, монтаж). Виконання статичних і динамічних розрахунків в лінійній і нелінійній постановках забезпечено високошвидкісними солверами (процесорами), які використовують прямі та ітераційні методи, паралельну обробку даних, а також практично не мають обмежень на розміри задач. Бібліотека скінчених елементів включає широкий набір елементів, в тому числі високоточні елементи, для вирішення лінійних та нелінійних задач.

В якості вхідних даних для ОК SCAD++ передбачено використання аналітичних моделей, які є результатом роботи моделюючих систем, інформації в стандарті IFC, форматів DWG і DXF, а також розрахункових схем в форматах скінчено-елементних програм через систему FEMAP.

Документація до системи SCAD Office (www.scadsoft.com) включає опис теоретичних основ фізичних процесів, які покладені в основу реалізованих алгоритмів. Окремо дано опис API, що дає змогу користувачам розробляти власні додатки до системи.

Система SCAD Office постійно розвивається у напрямках реалізації ефективних методів розрахунку і проектування конструкцій, реалізації нових редакцій нормативних документів.

SCAD Office Integrated Structure Analysis System. Functional capabilities and areas of advancement.

Eduard Kryksunov, cand. of techn. sn., the director of the “SCAD Soft” LLC

“SCAD Soft” Scientific-production LLC (Kyiv)

Integrated structure analysis system SCAD Office consists of the set of independent software modules. Each module is designed to perform a certain kind of operations related to the computation and designing of the building structures. The core element of the system is the universal finite element structural analysis program SCAD++. Besides, the composition of the system includes design and analysis programs for the purpose of solving the tasks to the verification of the structural members according to the specified design codes, programs to create various member cross-section and calculate the geometric properties for them, auxiliary programs to calculate the subsoil parameters for the structures on the elastic sub-grade, programs to determinate the design values of the loads and effects on structure, programs to design the steel structural joints, connections and reinforced concrete ribbed slabs. All included design and analysis modules are connected to the main program SCAD++ in both directions, meaning that they are able to both receive and transfer information. SCAD++ as well as the design and analysis programs implement the national Ukrainian, Lithuanian, Kazakh and other design codes, along with the Eurocodes, for which the special version of generation the efforts case design combinations is developed, with national annexes taken into account.

The ideology which the design of the system SCAD Office is based on is the following: firstly, design and analysis programs should implement the design codes requirements to the entire structure and its structural members precisely, secondly, the algorithms which the functioning of the SCAD ++ is based on should implement mechanical processes correctly, and, finally, the controlling system should provide the maximum amount of possible verification on the correctness of the design models parameters.

SCAD++ provides the performance of the following operations: static analysis – done in the classic form of the finite elements method; dynamic analysis – presented both in the form of the direct integration of the movement equations (general case), and the solutions which are based on the usage of the design models. In the latter case the Lanczos method is also suggested, allowing to searching the necessary number of modal decompositions automatically, which correspond to the given value of the percentage of the chosen modal masses. Non-linear computations are performed with the consideration of the plastic form of deformation in both variants – elastic-plastic and according to the theory of the plastic flow. Besides, structural nonlinearity (including unilateral constraints) and genetic nonlinearity (the analysis of the structures with a variable design models, for instance, erection) are implemented in the program. The completion of the static and dynamic computations in the linear and non-linear modes is provided by the high-speed solvers, which use direct and iterative methods, parallel data processing, and also practically do not have limits for problems' sizes. The library of finite elements includes a wide range of elements, including high-precision elements for the linear and non-linear problems solving.

SCAD++ employs the following forms of the input data: analytic models obtained as simulation results, information in the IFC standard, DWG and DXF file formats, as well as the design models in the formats of the finite-elemental programs via the FEMAP system. The SCAD Office (www.scadsoft.com) documentation includes the description of the theoretical basis of the mechanical processes, which the implemented algorithms are based on. Separately, the API description is given, which enables the user to develop their own plugins to the system.

SCAD Office system is constantly developing implementing effective structure computation and design methods, meeting the new versions of the design codes.

Принципові питання розрахунку конструкцій з урахуванням пластичності

Анатолій Перельмутер, докт. техн. наук., с.н.с., <https://orcid.org/0000-0001-9537-2728>

TOB SCAD Soft, (м. Київ)

Проектування будівельних споруд спеціального призначення чи звичайних споруд, але працюючих у нетипових режимах, потребує аналізу їх поведінки далеко за межами пружного деформування. Це потребує використання методик, що реалізують фундаментальні положення, наприклад, таких наук як теорія пружності чи теорія пластичності, що дає можливість вийти за межі застосування звичайних будівельних норм, які містять багато спрощених або приблизних рекомендацій. Доповідь присвячена можливостям такого аналізу, що реалізовані у програмному комплексі SCAD Office, та демонстрації деяких незвичних ефектів пластичної роботи конструкцій.

Програма SCAD передбачає два підходи до опису пластичної стадії деформування матеріалу, надаючи вибір користувачеві [0]: деформаційну теорію пластичності; теорію пластичної течії з умовами Друкера-Прагера чи Генієва для бетону і фон Мізеса для арматури. В обох випадках розглядається можливість реалізації тривимірнього деформованого стану.

Як свідчать експерименти, деформаційна теорія пластичності справедлива для простого навантаження, коли всі зовнішні впливи пропорційно змінюються у часі. Тобто деформаційна теорія може використовуватися, коли йдеться про статичне сполучення навантажень і можна вважати, що прикладені до конструкції його окремі компоненти одночасно зростають.

Теорія течії є ефективною щодо процесів складного навантаження, коли навантаження змінюються у часі незалежно. Прикладом може бути сейсмічне навантаження, яке моделюється впливом акселерограми, коли реалізується дуже складна історія навантаження. Те саме можна сказати про інші динамічні навантаження (вибухова хвиля, перевірка на вибуття елемента тощо). Розрахунок сталевих конструкцій виконується з використанням фізично нелінійного режиму роботи звичайних скінчених елементів. Розрахунок залізобетонних конструкцій, що враховує непружну роботу матеріалу, реалізується за рахунок використання спеціальних скінчених елементів: стержньового чи оболонкового типу [0].

Система, що деформується пластично, не є консервативною, бо деяка частка механічної енергії перетворюється на теплову і втрачається. На відміну від випадку консервативного деформування, результуючий стан системи залежить від послідовності діючих навантажень. Це є наслідком можливих залишкових деформацій, які викликаються пластичністю.

Надаються прості приклади, що ілюструють цей та інші ефекти, які можна отримати лише при розв'язанні задач за теорією пластичної течії [0]. Ці ефекти є досить несподіваними для більшості проєктувальників, чия інженерна інтуїція сформована розв'язаннями лінійних задач аналізу, а фізично нелінійні задачі вирішувалися за спрощеними підходами (наприклад, аналізом нелінійної пружності замість аналізу пластичності).

Реальний числовий розрахунок часто буває неможливо довести до граничної несучої здатності. Цьому заважає чисельна нестабільність процесу при наближеності матриці жорсткості системи до стану виродження, який як раз і характеризує перетворення конструкції у механізм. Тому у якості вимірювача пропонується використовувати зменшення кута нахилу кривої станів рівноваги, яка характеризує можливість опору і може визначати наближення конструкції до стану повної відмови, що виникає при нульовому опорі. На завершення доповіді розглядаються деякі проблеми нормування щодо встановлення перевірки несучої здатності і забезпечення потрібного рівня безпеки.

1. Criesfield M.A. Non-linear finite element analysis for solids and structures. Vol. 1 & 2 – New York: John Wiley & Sons Ltd., 2000.
2. Fialko S.Yu. Application of finite element method to the analysis of strength and bearing capacity of thin-walled concrete structures, taking into account the physical nonlinearity. – Moscow: ASV, SCAD Soft (in Russian).
3. Перельмутер А.В. Деякі особливості нелінійних розрахунків у системі проєктування споруд // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2024. – Вип. 113. – С. 183-194.

Fundamental Issues in Structural Design with Consideration of Plasticity

Anatolii Perelmuter, Doctor of Science, Senior Research Fellow, <https://orcid.org/0000-0001-9537-2728>

SCAD Soft Ltd., (Kyiv)

The design of special-purpose or conventional structures operating under atypical conditions requires an analysis of their behavior well beyond the limits of elastic deformation. This necessitates the use of methods that implement the fundamental principles of fields such as the theory of elasticity and the theory of plasticity. These methods allow engineers to move beyond standard building codes, which contain many simplified or approximate recommendations. This report focuses on the possibilities of such analysis implemented in SCAD Office and illustrates several unusual effects of the plastic behavior of structures.

SCAD provides two approaches for describing the plastic deformation stage of a material, allowing the user to choose [0]: the deformation theory of plasticity; the flow theory of plasticity with Drucker–Prager or Geniev conditions for concrete and von Mises for reinforcement. In both cases, the possibility of a three-dimensional stress-strain state is considered.

As experiments show, the deformation theory of plasticity is valid for simple loading, where all external actions vary proportionally over time. In other words, this theory can be used when dealing with static load combinations and when it can be assumed that the individual load components applied to the structure increase simultaneously.

The flow theory is effective for complex loading processes where loads vary independently over time. A typical example is seismic loading, which is simulated using an accelerogram that represents a highly complex load history. The same applies to other dynamic loads (e.g., blast waves, element failure tests, etc.). The analysis of steel structures is performed using a physically nonlinear mode for standard finite elements. The analysis of reinforced concrete structures, which accounts for the inelastic behavior of the material, is carried out using special finite elements: either bar or shell ones [0].

A system undergoing plastic deformation is non-conservative, as a portion of the mechanical energy is converted into heat and dissipated. Unlike in the case of conservative deformation, the resulting state of the system depends on the sequence of applied loads. This is due to the presence of residual deformations caused by plasticity.

Simple examples are provided to illustrate this and other effects that can only be observed when solving problems using the flow theory of plasticity [0]. These effects are often quite unexpected for most designers, whose engineering intuition has been shaped by solving linear analysis problems, while physically nonlinear problems have typically been approached using simplified methods (e.g., nonlinear elasticity analysis instead of plasticity analysis).

In practical numerical analysis, it is often impossible to reach the ultimate load-bearing capacity due to numerical instability as the stiffness matrix of the system approaches a degenerate state—precisely the condition that characterizes the transformation of a structure into a mechanism. Therefore, an alternative metric is proposed: the decrease in the slope of the curve of equilibrium states, which characterizes the system's ability to resist loads and can indicate how close the structure is to a state of total failure, which occurs when resistance drops to zero. The presentation concludes with a discussion of certain code-related issues concerning the verification of load-bearing capacity and ensuring the required level of safety.

1. Criesfield M.A. Non-linear finite element analysis for solids and structures. Vol. 1 & 2 – New York: John Wiley & Sons Ltd., 2000.
2. Fialko S.Yu. Application of finite element method to the analysis of strength and bearing capacity of thin-walled concrete structures, taking into account the physical nonlinearity. – Moscow: ASV, SCAD Soft (in Russian).
3. Perelmuter A.V. Some Features of Nonlinear Analysis in Structural Design Systems // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific and Technical Collection. – Kyiv: KNUCA, 2024. – Issue 113. – pp. 183-194.

До розрахунку стержневих систем з урахуванням депланацій

Анатолій Перельмутер¹, докт. техн. наук, с.н.с., <https://orcid.org/0000-0001-9537-2728>
Віталіна Юрченко^{2,1}, докт. техн. наук, професор кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0003-4513-809X>

¹ Науково-виробниче ТОВ "SCAD Soft", (Київ)

² Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ)

При розрахунках рамних систем, які складаються з елементів, поведінка яких відповідає теорії тонкостінних стержнів [1], не вдається змоделювати передачу бімоментів у вузлах рами. При розрахунку звичайних систем можна орієнтуватися на рівняння рівноваги сил, які діють на вузол з боку елементів, які до нього примикають. Але біомомент є об'єктом статично еквівалентним нулю, що не дозволяє використати такий підхід.

В комплексі SCAD++ запропоновано підхід, який базується на ідеї використання просторового вузлового суперелементу, за допомогою якого враховується взаємодія між депланаціями торцевих стержнів [2]. В прийнятій розрахунковій моделі традиційні шість ступенів свободи напряму пов'язані з переміщеннями та поворотами "точкового" вузла, а через скінченно-елементну модель суперелементу передаються депланації і взаємодіють біомоменти торцевих перерізів тонкостінних стержнів, що примикають.

Матриця жорсткості вузлового суперелементу відносно депланацій має структуру, яка схематично представлена таким чином

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ L \\ B_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & L & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & L & d_{2m} \\ L & L & L & L \\ d_{m1} & d_{m2} & L & d_{mm} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ L \\ D_m \end{bmatrix}.$$

Елементи d_{jk} ($j, k = 1, 2, \dots, m$) цієї матриці розраховуються за загальною процедурою одиничних вимушених переміщень. Розглядається послідовність навантажень, в кожному з яких одному з торцевих перерізів задається одинична депланація $D_i=1$ і визначаються реактивні бімоменти. Оскільки через депланацію перерізу повздовжні переміщення u змінюються відповідно до закону секторіальних площин, то для задання одиничної депланації необхідно задати переміщення u чисельно рівними значенню секторіальної площини із зворотнім знаком.

Впливи такого виду важко реалізувати за допомогою абсолютно жорстких тіл, які забезпечують прямолінійність за винятком окремих частин поперечного перерізу.

Замість матриці жорсткості можна побудувати зворотню їй матрицю податливості, розрахунок якої виконується на дію одиничних бімоментів. Такий прийом дає змогу обійтись без абсолютно жорстких елементів.

При підготовці матриці жорсткості задання навантажень одиничною депланацією примікань виконується в певній послідовності, яка відповідає структурі вузла. Таким чином неявно призначалась відповідна нумерація примікань, а в матриці жорсткості цій нумерації повинні відповідати номери рядків і стовпців.

В деяких випадках замість задання матриці жорсткості вузлового суперелемента можна вказати на один із ідеалізованих варіантів роботи вузлового з'єднання:

- абсолютно жорсткий вузол (депланація торців всіх елементів, що сходяться в цьому вузлі, дорівнює нулю);
- абсолютно податливий вузол (бімоменти на торцях всіх елементів, які сходяться в цьому вузлі, дорівнюють нулю);
- вузол, який робить рівними депланації торців всіх елементів, які примикають до нього.

1. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни — М.: Физматгиз, 1959 — 568 с.

2. Перельмутер А.В., Юрченко В.В. Вибрані проблеми розрахунку та оптимального проектування сталевих конструкцій із холодногнутих профілів — К.: Каравела, 2022 — 206 с.

Analysis of Frame Systems with Warping Effects

Anatolii Perelmutter¹, Doctor of Science, Senior Research Fellow, <https://orcid.org/0000-0001-9537-2728>

Vitalina Yurchenko^{2,1}, Doctor of Science, Professor, <https://orcid.org/0000-0003-4513-809X>

¹SCAD Soft Ltd., (Kyiv)

²Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv)

When the behavior of frame elements corresponds to the theory of thin-walled bars [1], it is not possible to simulate the transfer of bimoments at the frame nodes. In the analysis of conventional systems, the equilibrium equations of forces acting on a node from the adjacent elements can be used. However, since the bimoment is statically equivalent to zero, this approach cannot be applied.

SCAD++ proposes an approach based on the use of a 3D nodal superelement, which takes into account the interaction between the warping of end bars [2]. In the adopted design model, the traditional six degrees of freedom are directly related to the displacements and rotations of a “point” node, while the finite element model of the superelement simulates the transfer of warping displacements and the interaction of bimoments of the end sections of adjacent thin-walled bars.

The stiffness matrix of the nodal superelement with respect to warping has a structure schematically represented as follows:

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ L \\ B_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & L & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & L & d_{2m} \\ L & L & L & L \\ d_{m1} & d_{m2} & L & d_{mm} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ L \\ D_m \end{bmatrix}.$$

The elements d_{jk} ($j, k = 1, 2, \dots, m$) of this matrix are calculated according to the general procedure of unit forced displacements. A sequence of load cases is considered, where in each case a unit warping displacement $D_i=1$ is applied to one of the end sections, and the corresponding reactive bimoments are determined. Since longitudinal displacements u vary according to the law of sectorial areas under the warping effect, a unit warping displacement can be applied by assigning displacements u numerically equal to the sectorial area values with the opposite sign.

Such effects are difficult to simulate using rigid bodies, which ensure rectilinearity except for certain parts of the cross-section.

Instead of the stiffness matrix, it is possible to construct its inverse — a compliance matrix — by calculating the response to unit bimoment actions, thus eliminating the need for rigid elements.

When constructing the stiffness matrix, the unit warping displacements are applied at the adjoining elements in a sequence corresponding to the structure of the joint. Thus, an implicit numbering of the adjoining elements is established, and the row and column numbers in the stiffness matrix must correspond to this numbering.

In some cases, instead of specifying the stiffness matrix of a nodal superelement, it is possible to specify one of the idealized variants of the node behavior:

- a rigid node (the warping displacements at the ends of all elements converging at the node are zero);
- a flexible node (the bimoments at the ends of all elements converging at the node are zero);
- a node that enforces equal warping displacements at the ends of all adjoining elements.

1. V.Z. Vlasov, Thin-Walled Elastic Rods – Moscow: Fizmatgiz , 1959. – 568 p.

2. A.V. Perelmutter, V.V. Yurchenko, Selected Problems of Analysis and Optimal Design of Steel Structures from Cold-Formed Sections — Kyiv: Karavela, 2022 — 206 p.

Розрахунок на вогнестійкість залізобетонних та металевих конструкцій у SCAD OFFICE

Леонід Скорук, канд. техн. наук., доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-7362-1348>

*Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ),
ТОВ SCAD Soft (м. Київ)*

При проєктуванні будівельних конструкцій однією із складових проєктних розрахунків є розрахунок за вогнестійкістю [1].

Межа вогнестійкості будівельних конструкцій – важлива характеристика, яку необхідно враховувати під час будівництва будь-яких будівель та споруд. Цим терміном позначають здатність колон, балок та інших несучих конструкцій витримувати вплив високих температур, зберігаючи несучу та огорожувальну здатності. Чим вищий цей показник, тим довше елементи під час пожежі не будуть деформуватись.

Під вогнестійкістю мається на увазі здатність будівлі та конструкції виконувати свої несучі та огорожувальні функції при пожежі протягом певного часу, після закінчення якого функціональні властивості конструкцій втрачаються і відбувається обвалення елементів (покриттів, стін, перекриттів) або руйнування будівлі в цілому.

Вибір методу вогнезахисту залежить від ряду факторів, включаючи необхідний рівень вогнестійкості металеві конструкції, її тип та просторове розташування (колони, стійки, ригелі, балки, зв'язки), характер діючого навантаження (статичне чи динамічне), умови експлуатації (температурно-вологісний режим), ступінь агресивності довкілля, додаткове навантаження від шару вогнезахисту, а також естетичні вимоги тощо [2–4]. Залізобетонні і металеві конструкції ведуть себе по різному під час пожежі внаслідок різних властивостей і поведінки матеріалів при дії високих температур. У залізобетонних конструкціях арматура початково захищена шаром бетону, в той час як металеві конструкції без додаткових заходів відразу піддаються впливу полум'я.

Відносна вологість повітря при твердненні бетону впливає на результати розрахунку цілісності конструкцій при пожежі, тому має враховуватися та прийматися якомога меншою.

Тепловологісна обробка бетону спричиняє додаткові впливи на конструкції у разі пожежі, тому є доцільним врахування цього процесу при розрахунку залізобетонних конструкцій на крихке руйнування.

Будівельні металеві конструкції, що не розповсюджують вогонь, мають неорганічну структуру і є негорючими. В умовах пожежі металеві конструкції в основному втрачають свою несучу здатність через 15 хвилин (0,25 години), тому в тих випадках, коли необхідна межа вогнестійкості перевищує це значення, металеві колони, ферми і балки піддають вогнезахисту.

За допомогою програм, які входять до складу SCAD Office можна визначити межу вогнестійкості для залізобетонних конструкцій та власну межу вогнестійкості для металевих конструкцій, а також багато інших супутніх факторів, які впливають на розрахунок за вогнестійкістю.

1. ДБН В.1.2-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва / Мінрегіонбуд України, Київ, 2017. – чинні від 01.06.2017.
2. Олексюк О., Третяк І., Скорук Т., Скорук Л.. Дослідження впливу геометричних розмірів перерізу та параметрів армування на межу вогнестійкості для залізобетонної колони / «Build Master Class 2022». Тези доповідей. – К.: 2022, с. 167-168.
3. Мельніченко А., Скорук Л., Дослідження впливу відносної вологості повітря при твердненні бетону на цілісність залізобетонної колони при пожежі / «Build Master Class 2023». Тези доповідей. – К.: 2023, с. 167-168.
4. Куліш Я., Скорук, Л. Дослідження впливу типу пожежі і сторони дії полум'я на залізобетонну колону / «Build Master Class 2023». Тези доповідей. – К.: 2023, с. 173-174.

Fire resistance calculation of reinforced concrete and steel structures in SCAD Office

Leonid Skoruk, Ph.D, Associate Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, <https://orcid.org/0000-0002-7362-1348>

*Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv),
SCAD Soft Ltd (Kyiv)*

When designing building structures, one of the components of the design calculations is the fire resistance calculation [1].

The fire resistance limit of building structures is a crucial characteristic that must be considered during the construction of any buildings and structures. This term denotes the ability of columns, beams, and other load-bearing structures to withstand the effects of high temperatures while maintaining their load-bearing and enclosing capacities. The higher this indicator, the longer the elements will resist deformation during a fire.

Fire resistance refers to the ability of a building and its structures to perform their load-bearing and enclosing functions during a fire for a certain period, after which the functional properties of the structures are lost, and the collapse of elements (coatings, walls, floors) or the destruction of the building as a whole occurs.

The scope of application of various fire protection methods is determined taking into account the required fire resistance limit of the steel structure, its type and orientation in space (columns, struts, girders, beams, bracings), the type of load acting on the structure (static, dynamic), the temperature and humidity conditions of operation and work, the aggressiveness of the environment, the increase in load on the structure due to fire protection, aesthetic requirements, etc. [2-4].

Reinforced concrete and steel structures behave differently during a fire due to the different properties and behavior of the materials under high temperatures. In reinforced concrete structures, the reinforcement is initially protected by a layer of concrete, while steel structures without additional measures are immediately exposed to the flames.

The relative humidity of the air during concrete hardening affects the results of the structural integrity calculation in case of fire and should therefore be taken into account and kept as low as possible.

Heat and moisture treatment of concrete causes additional effects on structures in the event of a fire, so it is advisable to consider this process when calculating reinforced concrete structures for brittle fracture.

Non-fire-spreading building steel structures have an inorganic structure and are non-combustible. In fire conditions, steel structures mainly lose their bearing capacity after 15 minutes (0.25 hours), so in cases where the required fire resistance limit exceeds this value, steel columns, trusses, and beams are subjected to fire protection.

With the help of programs included in SCAD Office, it is possible to determine the fire resistance limit for reinforced concrete structures and the intrinsic fire resistance limit for steel structures, as well as many other related factors that affect the fire resistance calculation.

1. DBN V.1.2-7:2016. Fire safety of construction sites / Ministry of Regional Development of Ukraine, Kyiv, 2017. – valid from 01.06.2017.
2. Oleksiuk O., Tretyak I., Skoruk T., Skoruk L.. Study of the influence of geometric cross-sectional dimensions and reinforcement parameters on the fire resistance limit for a reinforced concrete column / “Build Master Class 2022”. Abstracts of reports. – K.: 2022, p. 167-168.
3. Melnichenko A., Skoruk, L. Study of the influence of relative air humidity during concrete hardening on the integrity of a reinforced concrete column in case of fire / “Build Master Class 2023”. Abstracts of reports. – K.: 2023, p. 167-168.
4. Kulish Ya., Skoruk, L. Research on the influence of fire type and flame direction on a reinforced concrete column / “Build Master Class 2023”. Abstracts of reports. – K.: 2023, pp. 173-174.

Розрахунок і експертиза елементів конструкцій згідно нормативних документів



Система програм-сателітів обчислювального комплексу SCAD++ використовується для детальних перевірок і розрахунку елементів конструкцій відповідно до діючих нормативних документів. Основний принцип, який покладено в основу розробки і реалізації програм — це точне виконання положень норм. За результатами перевірки формуються діаграми факторів, в яких наводяться коефіцієнти використання обмежень по кожному пункту нормативних документів, а також будується область несучої здатності

КРИСТАЛЛ

Сталеві конструкції

АРБАТ

Залізобетонні конструкції

КАМІН

Кам'яні і армокам'яні конструкції

МАГНУМ

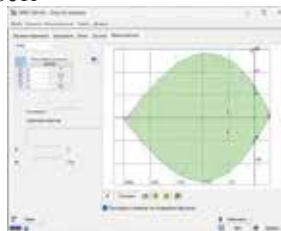
Конструкції із холодногнутих профілів

ДЕКОР

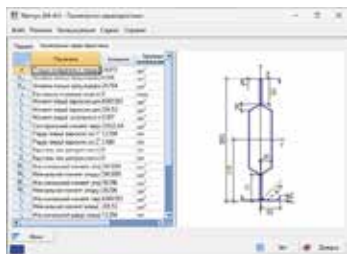
Дерев'яні конструкції

ЗАПРОС

Елементи основ і фундаментів



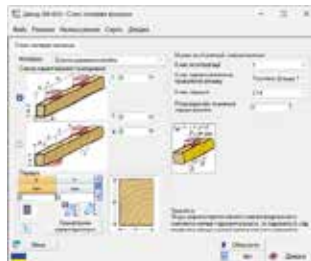
Програми забезпечують як автономну роботу, так і у зв'язці з обчислювальним комплексом SCAD++.



Програми-сателіти включають інформацію, необхідну при розрахунках і перевірці конструкцій: характеристики матеріалів, сортамент металопрокату та ін.

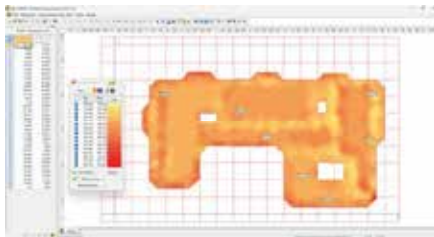
Всі програми побудовані за єдиним принципом, мають однотипний інтерфейс і розвинуту систему інформаційної підтримки (Help).

За результатами розрахунку формується відповідний документ з повним переліком виконаних перевірок.



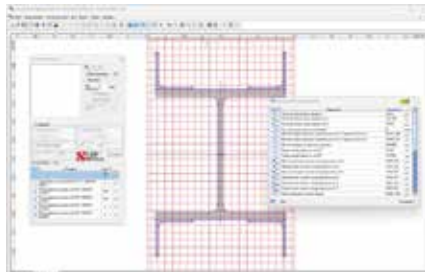
Допоміжні програми використовуються для розрахунку навантажень і впливів, а також визначення коефіцієнтів пружної основи

Програма КРОСС призначена для розрахунку фундаментних плит на пружній вінклерівській основі шляхом моделювання роботи багат шарового ґрунтового масива. Розрахунок виконується з урахуванням поруч розташованих об'єктів.

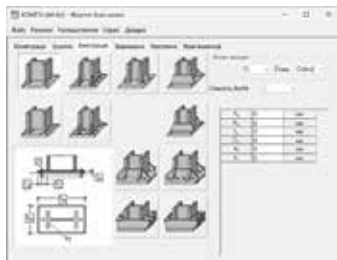


Конструктор перерізів

Забезпечує формування і розрахунок геометричних характеристик перерізів різного типу: зварних, тонкостінних, суцільного перерізу.

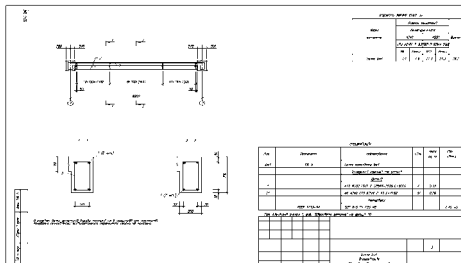


Проектування



Програма КОМЕТА призначена для експертизи прийнятих проектних рішень та проектування найбільш поширених типів вузлів стержневих металевих конструкцій.

Програма МОНОЛІТ — проектування монолітних ребристих перекриттів.





БУДУЄМО ДОВІРУ

БІЛЬШЕ 100 РОКІВ
ЯКІСТЬ №1



Аналіз результатів натурних випробувань залізобетонних монолітних плит перекриттів та чисельного моделювання

Дмитро Якушев, канд. техн. наук., с.н.с. НДЧ, <https://orcid.org/0009-0004-3736-1931>

Одеська державна академія будівництва та архітектури (м.Одеса)

При розрахунках конструкції проектувальник приймає ряд припущень, відповідно до яких формулюється теоретична розрахункова модель, що включає ряд припущень (ідеалізацій). Умовно, ці припущення можуть бути віднесені до таких категорій: геометрична ідеалізація схеми, ідеалізація моделі навантажень та впливів, фізична ідеалізація поведінки матеріалу. Однією з актуальних напрямів сучасних досліджень висувається проблема обліку нелінійної поведінки систем при чисельному моделюванні будівельних конструкцій. При цьому прийнято завдання нелінійного аналізу при розрахунковому обґрунтуванні будівельних конструкцій, умовно ділити на геометрично і фізично нелінійні. Одним із серйозних обмежень при проектуванні є незастосовність принципу суперпозицій, відсутність нормативної бази, неоднозначність одержуваних рішень (вплив історії навантаження на отримуваний пружно-деформований стан тощо).

При проведенні натурних випробувань, як правило, відносно точно відома історія завантаження (порядок і величини навантажень, що прикладаються, їх прив'язка тощо), характеристики матеріалів елементів і відгук системи: прогини, переміщення, або інші фіксовані параметри. Це дає можливість зіставлення результатів, одержуваних при чисельному моделюванні. Для оцінки впливу фізичної нелінійності на величину переміщень, контрольованих під час проведення випробувань, було виконано розрахунки у ПК "SCAD" (версії 23.1.1.1). Для опису роботи бетону використовувалася теорія пластичного перебігу Друкера-Прагера. Значення модуля пружності, меж міцності задавалися за результатами неруйнівного контролю методами пружного відскоку та поверхневого прозвучування. Для опису арматури застосовувалася білінійна діаграма. Параметри задавалися відповідно до прийнятого проектного класу арматури.

1. Правила проведення випробувань залізобетонних конструкцій та їх оцінка, викладені у ДСТУ Б В.2.6-7-95 (ГОСТ 8829-94) та ДБН В.2.3-6-2009, вимагають коригування щодо монолітних конструкцій, зокрема перекриттів безригельних каркасів.
2. Для отримання залишкових деформацій слід продовжувати спостереження після розвантаження перекриття до стабілізації його підйому.
3. Випробування перекриттів на прогин слід проводити не раніше, ніж 2-3 тижні після демонтажу опалубки.
4. На величини прогинів суттєво впливає клас бетону, якість його укладання (наявність і розкриття тріщин усадки, ретельність вібрування, дотримання величини захисного шару і т.п.).
5. Показник роботи конструкції при статичному випробуванні K , що є ставленням вимірюваної прогину до розрахункового, нормується в [4] як $K=0,7 \div 1$ для всіх випадків випробувань перекриттів виявляється більшим ніж одиниця.

1. Перельмутер А.В., Тур В.В. Готовы ли мы перейти к нелинейному анализу при проектировании? // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering (Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций). – 2017, № 13 (3). С. 86–102.
2. Фялко С.Ю. Применение метода конечных элементов к анализу прочности и несущей способности тонкостенных железобетонных конструкций с учетом физической нелинейности. – М.: СКАД СОФТ, АСВ, 2018. – 192 стр.
3. Конструкції будинків і споруд. Вироби будівельні бетонні та залізобетонні збірні. Методи випробувань навантаженням. Правила оцінки міцності, жорсткості та тріщиностійкості. ДСТУ Б В.2.6-7-95 (ГОСТ 8829-94). – [чинний від 1996-01-04]. – К.: Держкомітетування України, 1996 – 45 с. (Державний Стандарт України).
4. Мости і труби. Обстеження і випробування. ДБН В.2.3-6:2009. – [чинний від 2010-03-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009 – 63 с. (Державні Будівельні Норми).

Analysis of results from field tests of reinforced concrete monolithic slabs and numerical modeling

Dmytro Yakushev, *Cand. Sc. (Eng.), Senior Research Fellow, Research Department,*
<https://orcid.org/0009-0004-3736-1931>

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odesa)

During structural design calculations, the designer makes a series of assumptions, according to which a theoretical расчетная model is formulated, including a number of assumptions (idealizations). Conventionally, these assumptions can be categorized as follows: geometric idealization of the scheme, idealization of the load and impact model, and physical idealization of the material behavior. One of the current areas of modern research highlights the problem of accounting for the nonlinear behavior of systems in the numerical modeling of building structures. In this regard, the task of nonlinear analysis in the расчетное justification of building structures is conventionally divided into geometrically and physically nonlinear. One of the serious limitations in design is the inapplicability of the superposition principle, the lack of a regulatory framework, and the ambiguity of the obtained solutions (the influence of the load history on the resulting elastic-deformed state, etc.).

During field tests, as a rule, the load history (the order and magnitude of the applied loads, their reference points, etc.), the characteristics of the element materials, and the system response (deflections, displacements, or other fixed parameters) are known with relative accuracy. This allows for the comparison of results obtained from numerical modeling. To assess the influence of physical nonlinearity on the magnitude of displacements monitored during testing, calculations were performed using the "SCAD" software package (version 23.1.1.1). The Drucker-Prager plasticity theory was used to describe the behavior of concrete. The values of the modulus of elasticity and strength limits were determined based on the results of non-destructive testing using elastic rebound and surface sounding methods. A bilinear diagram was used to describe the reinforcement. The parameters were set in accordance with the adopted design class of reinforcement.

1. The rules for testing reinforced concrete structures and their evaluation, set out in DSTU B V.2.6-7-95 (GOST 8829-94) and DBN V.2.3-6-2009, require adjustment regarding monolithic structures, in particular, flat slab frames.
2. To obtain residual deformations, observations should be continued after unloading the slab until its upward movement stabilizes.
3. Slab deflection tests should be carried out no earlier than 2-3 weeks after the formwork is removed.
4. The magnitude of deflections is significantly influenced by the concrete grade and the quality of its placement (the presence and opening of shrinkage cracks, the thoroughness of vibration, adherence to the thickness of the protective layer, etc.).
5. The indicator of the structure's performance under static testing, K , which is the ratio of the measured deflection to the calculated deflection, is standardized in [4] as $K = 0.7 \div 1$ for all cases of slab testing, it turns out to be greater than unity.

1. Perelmuter A.V., Tur V.V. Are we ready to move to nonlinear analysis in design? // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2017, № 13 (3). P. 86–102.
2. Fialko S.Yu. Application of the finite element method to the analysis of the strength and bearing capacity of thin-walled reinforced concrete structures taking into account physical nonlinearity. 1 – M.: SCAD SOFT, ASV, 2018. – 192 p.
3. Structures of buildings and сооружений. Concrete and reinforced concrete precast building products. Load testing methods. Rules for assessing strength, stiffness and crack resistance. DSTU B V.2.6-7-95 (GOST 8829-94). – [effective from 1996-01-04]. – K.: Derzhkommissiobuduvannya Ukraini, 1996 – 45 p. (State Standard of Ukraine).
4. Bridges and pipes. Inspection and testing. DBN V.2.3-6:2009. – [effective from 2010-03-01]. – K.: Minregionbud Ukraini, 2009 – 63 p. (State Building Codes).

ЛІРА 10.14

версія

Програмний комплекс для проектування і розрахунку будівельних конструкцій

Підтримка користувача

- Уроки і навчання на платформі Youtube;
- доступність в соціальних мережах Facebook, Telegram, Twitter(X);
- зворотній зв'язок і врахування побажань користувачів.

Імпорт/Експорт та елементи BIM

Розрахунки стають частиною єдиної інформаційної моделі завдяки інтеграції з платформами:

- Autodesk Revit;
- Tekla Structures;
- Advance Steel;
- *.dxf (AutoCAD);
- *.inp (Abaqus);
- *.s2k (SAP2000);
- *.msh (gms);
- *.neu; *.SAF; *.IFC; (універсальні формати)

Архітектурні елементи

Прискорюють процес створення розрахункової моделі та дають можливість:

- повністю змодельовати перекриття, стіну, балку, колону без розбивки на скінченні елементи (одним елементом); перехід до скінченно-елементної моделі виконується в процесі розрахунку;
- гнучкість при внесенні змін у розрахункову модель;
- зручна інтеграція з іншими програмами.

OpenLira

- Створення власних скриптів для виведення результатів розрахунку у вигляді ізополів, епіюр і графіків;
- використання скриптів для формування фрагментів розрахункової моделі і створення навантажень;
- табличне і графічне редагування геометрії і властивостей розрахункової моделі;
- відкрита модель (LiraAPI) для розробки власних модулів.

Єдиний середовище

З модулями програмного комплексу:

- Монтаж;
- Грунт;
- Динаміка+;
- Теплопровідність;
- Фільтрація;
- Конструктор перерізів;
- PUSHOVER

Розрахункові моделі

В основу розробки програмного комплексу закладені складні математичні моделі:

- лінійна і нелінійна динаміка в часі;
- стаціонарна і нестаціонарна теплопровідність;
- стаціонарна задача фільтрації;
- фізична і геометрична нелінійність;
- нелінійний квазістатичний аналіз (PUSHOVER Analysis).



Використовуйте новітні технології розрахунку
www.lira10.com

ПК ЛІРА 10. Розрахункові можливості

Ісаак Євзеров, докт. техн. наук, с.н.с, директор, <https://orcid.org/0000-0003-3414-9930>

Група компаній ЛІРА (м. Київ)

Програмний комплекс ЛІРА 10 призначений для розрахунку міцності та стійкості всіх видів будівельних конструкцій – цивільних та промислових будівель та споруд, об'єктів ядерної енергетики, мостів, гідротехнічних споруд тощо, на всі види статичних та динамічних навантажень.

Програмний комплекс заснований на методі скінченних елементів [1]. Графічна система дозволяє ефективно та якісно генерувати модель та візуалізувати отримані розрахункові результати. Системи конструювання реалізують перевірку та підбір залізобетонних, сталевих та дерев'яних перерізів.

ПК ЛІРА 10 дозволяє розраховувати: плоскі та просторові ферми та рами; пластини; масивні тіла; комбіновані системи.

Викладено основні можливості розрахункового процесора, зокрема:

- визначення параметрів напружено-деформованого стану при статичному, температурному та динамічному навантаженні;
- визначення частот та форм власних коливань;
- геометрично нелінійний розрахунок мембран, стержнів та пластин;
- стійкість конструкцій;
- задачі із односторонніми в'язями (конструктивна нелінійність);
- поетапна зміна розрахункової схеми у процесі будівництва (монтаж);
- теплопровідність;
- фільтрація;
- елементи ґрунту.

Нові можливості ПК ЛІРА 10:

Сьоме вузлове невідоме. Базисні функції – задовольняють однорідному рівнянню рівноваги.

Змінний переріз.

Проміжні вузли у пластинах та об'ємних елементах.

Елементи інтерфейсу для ґрунтів.

Елементи границі, що не відбиває для динаміки, нескінченної області для статички.

Динаміка для фізичної нелінійності.

Розрахунок після втрати стійкості.

Багатошарові пластини.

Врахування руйнування бетону на розтяг та розриву арматури.

Коректне підсумовування для кратних форм.

Неузгоджені сітки.

Геометричні характеристики перерізу, на кручення та зсув.

В'язке демпфування.

Елементи рідини.

Розрахунок на дію вибухової хвилі.

1. Ciarlet P. (1978) The finite element method for elliptic problems. North-Holland, Amsterdam.

PC LIRA10. Calculation capabilities

Isaak Ievzerov, *doct. tech. sci.*, <https://orcid.org/0000-0003-3414-9930>

LIRA group of companies ЛІРА (Kyiv)

The LIRA 10 software package is designed to calculate the strength and stability of all types of building structures - civil and industrial buildings and structures, nuclear power facilities, bridges, hydraulic structures, etc., for all types of static and dynamic loads.

The software package is based on finite element method [1]. The graphics system allows you to efficiently and qualitatively generate a model and visualize the results obtained by the computational processor. Design systems implement the verification and selection of reinforced concrete, steel, steel-reinforced concrete and wooden cross-sections.

The main capabilities of the computational processor are outlined, in particular:

- Determination of parameters of the stress-strain state under static, temperature and Dynamic loading;
- Determination of frequencies and forms of natural oscillations;
- Geometrically nonlinear calculation of membranes, rods and plates;
- Stability of structures;
- One-side problems (structural nonlinearity);
- Gradual change of the design scheme during the construction process (installation);
- Thermal conductivity;
- Filtration;
- Soil elements.

The new capabilities:

Seventh nodal unknown. Basis functions – satisfy the homogeneous equation of equilibrium.

- Variable cross-section.
- Intermediate nodes in plates and volume elements.
- Interface elements for soils.
- Non-reflecting boundary elements for dynamics, infinite domain for statics.
- Dynamics for physical nonlinearity.
- Calculation after loss of stability.
- Multilayer plates.
- Taking into account the tensile failure of concrete and the rupture of reinforcement.
- Correct summation for multiple forms.
- Inconsistent meshes.
- Geometric characteristics of the section, torsion and shear.
- Viscous damping.
- Fluid elements.
- Calculation of the effect of a blast wave.

1.Ciarlet P. (1978) The finite element method for elliptic problems. North-Holland, Amsterdam.

Інтегровані рішення для проєктувальника: ПК ЛІРА 10 у практиці сучасного САЕ

Владислав Киричок, інженер, <https://orcid.org/0000-0002-4359-7148>

Група компаній ЛІРА (м. Київ)

У цифрову епоху ефективне проєктування конструкцій потребує потужних адаптивних та програмних інструментів. Програмний комплекс ЛІРА 10 — це сучасне САЕ-рішення, створене для інженерів-проєктувальників, яке поєднує розрахунки методом скінченних елементів та конструюючі розрахунки для сталевих, залізобетонних та дерев'яних конструкцій у відповідності з нормами України, Євросоюзу, США та ін..

Інструментарій охоплює аналіз геометричної та фізичної нелінійності, врахування тріщиноутворення, повзучості, нелінійної взаємодії «основа-конструкція», а також повний спектр динамічного аналізу, включно з імпульсними навантаженнями як спектральним способом, так і прямим інтегруванням за неявною різницевою схемою. Також специфічні розрахунки можуть проводитися із врахуванням задач нелінійної теплопровідності та фільтрації.

Ключові переваги:

- Модульність та відкритість. ПК ЛІРА легко інтегрується у цифровий проєктний процес, має підтримку імпорту/експорту у поширені CAD/BIM-формати, зокрема AutoCAD, Revit, Tekla, SAP2000, Abaqus та ін..

- Єдине графічне середовище. Інженер в єдиному режимі створює геометричну модель, проводить триангуляцію, задає навантаження, аналізує отримані результати. Немає потреби в проміжних форматах та програмах-сателітах.

- Швидкодія та надійність. Застосування багатоядерних обчислень, оптимізовані алгоритми розрахунку.

- Інтуїтивний інтерфейс. Потужне графічне середовище з 3D-візуалізацією, контекстною довідкою та налаштовуваними шаблонами виводу.

- Узгодження сіток з вузлами, що не співпадають. Користувач має змогу узгоджувати неспівпадаючі вузли із сусідніми елементами, зберігаючи достатню точність розрахунків. Це може бути корисно при складнощах із оптимальною триангуляцією окремих областей моделі. Оскільки узгодження можуть задаватися по кожному окремому напрямку, то це дає змогу інженеру більш гнучко моделювати реалістичну поведінку конструкції.

- Швидкість та точність динамічних розрахунків. ПК ЛІРА використовує неявну різницеву схему, яка, є безумовно стійкою, тому користувачу не доводиться витрачати ресурс на вибір такого кроку інтегрування, щоб не отримати нефізичні осциляції чи високочастотний шум, як в ННТ- α методі. При цьому, швидкість динамічного розрахунку в ПК ЛІРА в декілька разів вища, ніж аналогічний розрахунок в практично всіх аналогів скінченно-елементного моделювання.

- Зворотня сумісність. Проєкти, створені в нових версіях, можуть відкриватися в більш старих версіях із мінімально можливою втратою інформації.

- Розрахунки відповідно до актуальних норм (ДБН, Єврокоди та ін.), що забезпечує відповідність вимогам державної експертизи.

ЛІРА 10 — це інструмент для інженера нового покоління, що дозволяє не лише ефективно виконувати розрахунки, а й інтегруватися у повний життєвий цикл об'єкта: від ескізу до експлуатації.

1. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. – К.: Факт, 2005. – 344 с.

2. Евзеров І.Д., д.т.н., Гераймович Ю.Д., к.т.н., Марченко Д.В., Шполянський О.Г., к.т.н. Розрахунок на сейсмічні впливи у програмному комплексі ЛІРА 10. Група компаній ЛІРА, Київ, Україна, 2022.

Integrated Solutions for Design Engineers: SP LIRA 10 in Modern CAE Practice

Vladyslav Kyrychok, Engineer, <https://orcid.org/0000-0002-4359-7148>

LIRA group of companies (Kyiv)

Digital age requires powerful adaptive and software tools allowing structural design to be effective. The Software Package LIRA 10 is a modern CAE-solution developed for design engineers, which combines finite element calculations and structural calculations for steel, reinforced concrete and wooden structures in accordance with the standards of Ukraine, the European Union, the USA, etc.

Toolkit includes the analysis of geometric and physical non-linearity; consideration of cracking, creep, and non-linear “foundation-structure” interaction; and the full range of dynamic analysis, including impulse loadings both by spectral method and direct integration using an implicit difference scheme. Also, specific calculations can also be performed taking into account non-linear heat conductivity and filtration problems.

Key advantages:

- **Modularity and Openness.** The SP LIRA can be easily integrated into the digital design process and supports import/export to widely used CAD/BIM-formats, including AutoCAD, Revit, Tekla, SAP2000, Abaqus, etc.
- **Unified Graphical Environment.** Engineers in a single mode create geometric model, perform triangulation, specify loads and analyze the obtained results. So there is no need in intermediate formats and satellite programs.
- **Speed of Response and Reliability.** Use of multi-core calculations, optimized calculation algorithms.
- **Intuitive Interface.** Powerful graphical environment with 3D-visualization, contextual help system and user-defined output templates.
- **Mesh Coordination with Non-matching Nodes.** Users can coordinate the non-matching nodes with adjacent elements maintaining a high accuracy of calculations. It can be useful in case of difficulties related with optimal triangulation of certain areas of the model. Coordination can be specified for each individual direction, which gives the engineer more flexibility in modeling the realistic behavior of structures, including.
- **High-Speed and Accuracy of Dynamic Analyses.** The SP LIRA uses an implicit difference scheme, which is definitely stable. Therefore, the user can promptly select the integration step and avoid unphysical oscillations or high-frequency noise (as in the HHT- α method). At the same time, you can perform a dynamic calculation in the SP LIRA several times faster than a similar calculation in almost all analogs of finite element modeling.
- **Backward Compatibility.** Projects created in newer versions can be opened in older versions with the minimum possible loss of information. It allows for better interaction between project departments, which update their software asynchronously.
- **Compliance with Standards.** Calculations are performed in accordance with current standards (DBN, Eurocodes, etc.), which ensures compliance with the requirements of state expertise.

LIRA 10 is a next-generation engineering tool that allows for efficient calculation and integration into the full life cycle of an object: from initial draft to operation.

1. Gorodetsky A.S., Evzerov I.D. Computer models of constructions. – K.: Fact, 2007. – 344 p.
2. Yevzerov I.D, DScTech, Geraimovych Yu.D., Ph.D. (Tech.), Marchenko D.V., Shpolianskyi O.H., Ph.D. (Tech.). Calculation for seismic action in Software Package LIRA 10. LIRA group of companies, Kyiv, Ukraine, 2022.

ЗМІСТ

РЕГЛАМЕНТ КОНФЕРЕНЦІЇ	5
РОБОЧА ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ	6
ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ	6
СЕКЦІЯ 1	7
«БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»	7
СЕКЦІЯ 2	16
«СУЧАСНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ»	16
СЕКЦІЯ 3	19
ПАНЕЛЬНА ДИСКУСІЯ: «КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ»	19
ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ	21
СЕКЦІЯ 1	21
Історичний огляд фортифікаційних і захисних споруд	22
<i>Денис Михайловський, докт. техн. наук, професор кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, https://orcid.org/0000-0003-3151-8630</i>	
Структура ОПП «Оптимальне проектування, будівництво та безпечна експлуатація об'єктів критичної інфраструктури»	24
<i>Віталій Плоский, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри архіт. конструкцій, https://orcid.org/0000-0002-2632-8085;</i>	24
<i>Володимир Скочко, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри споруд спеціального призначення, https://orcid.org/0000-0002-1709-2621;</i>	
Міцність стиснутих залізобетонних елементів при непрямому армуванні зварними сітками	26
<i>Юлій Клімов, докт. техн. наук, професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, http://orcid.org/0000-0002-4275-7058</i>	
Особливості підсилення згинальних залізобетонних елементів з використанням попередньо-напруженої композитної арматури	28
<i>Андрій Бамбура, докт. техн. наук, професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, https://orcid.org/0000-0003-1402-3345</i>	
<i>Дмитро Журавський, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, https://orcid.org/0000-0001-7065-3312</i>	
Комбіновані склопластикові елементи, армовані композитними стрічками	30
<i>Олександр Журавський, докт.техн.наук, професор, завідувач кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, https://orcid.org/0000-0001-7065-3312;</i>	

Олександр Поважнюк, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій,
<http://orcid.org/0000-0003-0522-2174>

Розрахунок похилих перерізів залізобетонних балок з використанням деформаційного методу 32

Олександр Журавський¹, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-7065-3312>;

Андрій Бамбура², докт. техн. наук, професор, завідувач відділом надійності конструкцій будівель і споруд, <https://orcid.org/0000-0003-1402-3345>;

Георгій Войцехівський¹, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій,
<https://orcid.org/0009-0007-3436-3490>.

Суцільні залізобетонні плитні та комбіновані плитно-пальові фундаменти: особливості та перспективи застосування..... 34

Володимир Кріпак, канд. техн. наук, професор кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-6575-5015>

Нормування застосування металевої арматури періодичного профілю в конструкціях мостів та труб. Зміна № 1 ДБН В.2.3-14:2006 36

Ігор Баб'як, канд.техн.наук, с. н. с., завідувач відділу надійності конструкцій будівель і споруд, <https://orcid.org/0000-0002-3732-2439>

Монолітні несучі горизонтальні залізобетонні конструкції як основний елемент системи забезпечення клімату будинку..... 38

Володимир Брунько, керівник відділу¹, директор², <https://orcid.org/0009-0009-9619-3524>

Розвиток державної концепції «країна-фортеця» 40

Артем Білик^{1,2}, канд. техн. наук, доцент кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-9219-920X>;

Сергій Білик², докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-8783-5892>

Деформаційні характеристики масивної, клесної та перехресно-клесної деревини: експериментальні дослідження та чисельне моделювання 42

Сергій Білик, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри металевих та дерев'яних конструкцій; <https://orcid.org/0000-0001-8783-5892>

Дмитро Бітюков, аспірант кафедри металевих та дерев'яних конструкцій;
<https://orcid.org/0009-0002-1438-7595>

Моделювання дії ударно-вибухових впливів на комбіновані перекриття ... 44

Микита Біляев, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій
<https://orcid.org/0009-0000-1027-9285>

Сергій Білик, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри металевих і дерев'яних конструкцій <https://orcid.org/0000-0001-8783-5892>

Особливості застосування комп'ютерних методів при визначенні жорсткості сталевих вузлів 46

Вячеслав Адаменко, канд. техн. наук, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-7469-9585>

Олег Романишен, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0001-0925-8329>

Досвід використання ПК SCAD при проєктуванні споруд подвійного призначення 48

Максим Вабищевич, докт. техн. наук, професор кафедри будівельної механіки, <https://orcid.org/0000-0002-0755-5186>;

Ігор Фесун, аспірант кафедри будівельної механіки; <https://orcid.org/0000-0002-6678-9900>;

Дмитро Лукашевич, аспірант кафедри будівельної механіки; <https://orcid.org/0009-0001-3555-2353>

Методика проведення експериментальних досліджень підсилення монолітних залізобетонних конструкцій з використанням попередньо напружених арматурних канатів 50

Дмитро Сморгалов, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-7890-2686>;

Володимир Винокур, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0002-3218-5620>

Дослідження стійкості оболонки мінімальної поверхні на трапецевидному контурі з урахуванням геометричної нелінійності при термосиловому навантаженню..... 52

Григорій Іванченко, докт. техн. наук, професор кафедри будівельної механіки, <https://orcid.org/0000-0003-1172-2845>

Олександр Кошевий, доктор філософії, доцент кафедри теоретичної механіки, <https://orcid.org/0000-0002-1903-2905>

Проблеми довговічності кам'яного цоколю будівель і споруд..... 54

Сергій Волков, доктор філософії, ст. викл. кафедри промислового цивільного та міського будівництва, <https://orcid.org/0000-0001-9444-5083>

Олександр Єрьоменко, канд. техн. наук, доц. кафедри промислового цивільного та міського будівництва, <https://orcid.org/0000-0002-4030-9438>

Використання збірних залізобетонних конструкцій в багатоповерхових каркасних вибухостійких будівлях 56

Галина Гетун¹, канд. техн. наук, професор кафедри архітектурних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-3317-3456>

Ірина Безклубенко¹, канд. техн. наук, доцент кафедри ІТППМ, <https://orcid.org/0000-0002-9149-4178>

Андрій Соломін², канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри біобезпеки і здоров'я людини, <https://orcid.org/0000-0002-5226-8813>

Особливості моделювання болтових з'єднань тонкостінних сталевих елементів в задачах модального аналізу 58

Олег Дедов, доктор технічних наук, професор кафедри машин і обладнання технологічних процесів, <https://orcid.org/0000-0001-5006-772X>;

Дмитро Савчук, аспірант кафедри будівельної механіки, <https://orcid.org/0009-0006-0366-0532>;

Сергій Новіков, аспірант кафедри будівельної механіки, <https://orcid.org/0009-0004-7502-3255>;

Сучасні тенденції в галузі будівництва із залізобетону 62

Юрій Тромса, директор <https://orcid.org/0009-0008-8371-0062>

Впровадження рішень з болтовим з'єднанням для залізобетонних конструкцій 64

Леонід Скорук, канд. техн. наук, доц. кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-7362-1348>;

Олександр Паливода, канд. техн. наук, інженер, <https://orcid.org/0000-0001-9787-9653>

Збірно-монолітні конструкції для будівництва спеціальних споруд із захисту населення 67

Микола Доброхлоп, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, Заслужений будівельник України, <https://orcid.org/0000-0001-6393-786X>;

Василь Бачинський, аспірант кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, Заслужений будівельник України, <https://orcid.org/0009-0004-7426-4049>

Рациональні конструкції сталевих ферм із паралельними поясами з урахуванням дії зосередженого імпульсного навантаження 69

Артем Білик, канд. техн. наук, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-9219-920X>;

Максим Терновий, асистент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0003-7586-7872>

Вплив конструкційно-технологічних рішень захисного огороження ядерного реактора ар1000 на організацію будівельних процесів 71

Кароль Скіба, магістер, аспірант; <https://orcid.org/0009-0001-6303-3825>

Роман Кінаш, професор, д.техн.наук, Факультет цивільної інженерії та управління ресурсами, <https://orcid.org/0000-0001-6715-9583>

Оцінка впливу імпульсного навантаження спричиненого вибухом та ударом на заглиблені захисні споруди та ґрунтове середовище 73

Віктор Носенко, канд. техн. наук, завідувач кафедри геотехніки, <https://orcid.org/0000-0002-8261-1846>

Дмитро Нечипоренко, аспірант кафедри геотехніки, <https://orcid.org/0009-0006-6697-2381>

Аналіз впливу способів моделювання основи плитних фундаментів на розподіл напружень і деформацій у конструкціях будівель 75

Олександр Гаврилюк, асистент кафедри геотехніки, <https://orcid.org/0000-0001-7252-0679>;

Вероніка Жук, канд. техн. наук, доцент кафедри геотехніки, <https://orcid.org/0000-0002-1114-3192>;

Остан Кашиїда, PhD, доцент кафедри геотехніки, <https://orcid.org/0000-0002-9234-4489>.

Динамічна поведінка висотної будівлі, розташованої поблизу руху залізничного транспорту 77

Ольга Лук'яненко, докт. техн. наук, професор кафедри будівельної механіки, <https://orcid.org/0000-0003-1794-6030>

Андрій Козак, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельної механіки, <https://orcid.org/0000-0002-3192-1430>

Денис Костін, аспірант кафедри будівельної механіки <https://orcid.org/0009-0000-2191-933X>

Ескізне формування дискретних оболонок споруд спеціального призначення, що перебувають під впливом зовнішніх комбінованих впливів 79

Віталій Плоский, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри архітектурних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-2632-8085>;

Роман Пасько, PhD, докторант, кафедра архітектурних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-3313-0368> ;

Олександр Іщук, здобувач, <https://orcid.org/0009-0009-8265-3438>;

Прогресуюче руйнування купольних конструкцій 81

Олена Костіна, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельної механіки, <https://orcid.org/0000-0002-6692-6231>

Богдан Самоїленко, аспірант кафедри будівельної механіки <https://orcid.org/0009-0003-0342-9654>

Порівняння методик розрахунку параметрів вибухово-ударної хвилі для розрахунку споруд інженерного захисту 83

Денис Михайловський, докт. техн. наук, професор кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0003-3151-8630>;

Олег Комар, аспірант кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, <http://orcid.org/0009-0004-4507-9178>

Сталеві балки із змінним перерізом, вибір оптимальної топології 85

Любомир Джанов, асистент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-5144-3424>

Вогнестійкість стінових конструкцій із керамзитобетонних блоків 87

Олег Фесенко¹, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-8154-2239>;

Віра Колякова¹, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <http://orcid.org/0000-0001-6879-8520>

Петро Попруга², канд. техн. наук, начальник лабораторії з контролю виробництва, <https://orcid.org/0000-0001-8319-8099>

Енергоефективні матеріали та конструкції в автоматизованих системах тепlopостачання 89

Олексій Нікітенко, аспірант кафедри міського будівництва і архітектури, <https://orcid.org/0000-0002-0052-5427> 89

Визначення граничної сейсмостійкості сталевих каркасних будівель критичної інфраструктури лінійно спектральним методом 91

Іван Трусов, аспірант кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, начальник відділу оцінки сейсмостійкості філії "Відокремлений підрозділ", <https://orcid.org/0000-0002-9351-6633>

Дослідження впливу циклічного навантаження на залізобетонні конструкції з використанням методу монте-карло..... 93

Тетяна Чирва¹, канд. техн. наук, доцент кафедри архітектурних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-6657-5443>;

Віра Колякова¹, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-6879-8520>

Володимир Чирва², канд. техн. наук, заст. директора, <https://orcid.org/0000-0001-9163-0144>

Оптимізація конструктивно-технологічних рішень відновлення залізобетонного шляхопроводу..... 95

Ігор Шумаков, доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри технології та організації в будівництві <https://orcid.org/0000-0002-1502-051X95>

Володимир Бугаєвський, аспірант кафедри технології та організації в будівництві, <https://orcid.org/0000-0003-2861-0268>

Плоске полегшене залізобетонне збірно-монолітне перекриття з порожнинами із пластикових куль 97

Олена Буцька, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-4377-3746>;

Микола Махінко, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-5541-8672>;

Олена Маринченко, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньою програмою «Промислове і цивільне будівництво

Числові дослідження роботи залізобетонної арки на дію статичних короткочасних навантажень 99

Богдан Караван, докт. філософії (Ph.D.). старший викладач кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0000-0002-0499-7544>;

Віктор Караван, канд. техн. наук, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0000-0002-8261-692X>

Сергій Філіпчук, докт. техн. наук, професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0000-0002-4464-4620>

Методика розрахунку поверхових спектрів відгуку будівель і споруд об'єктів критичної інфраструктури 101

*Любов Первушова, аспірант кафедри металевих та дерев'яних конструкцій, старший інженер відділу оцінки сейсмостійкості філії "Відокремлений підрозділ;
<https://orcid.org/0009-0004-7706-8131>*

Раціональна конструкційна система сталезалізобетонних автоторожніх мостів 103

Юрій Круль, канд. техн. наук, ст. викл. кафедри будівельних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-0069-4191>;

Павло Фірсов, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-9119-3968>

Хаммуд Мохаммад Тахран, аспірант кафедри будівельних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-5509-8741>

Дослідження факторів впливу на технологію зведення підземних конструкцій методом гравітаційного видавлювання 105

Олександр Махиня, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних технологій, <https://orcid.org/0000-0001-7167-2857>; 105

Євгеній Галенко, аспірант кафедри будівельних технологій, <https://orcid.org/0000-0001-9306-658X>;

Ефективність використання захисних споруд при динамічному навантаженні 107

Людмила Афанасьєва, канд. техн. наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <http://orcid.org/0000-0001-6237-2609>

Дискретне формоутворення підземних споруд спеціального призначення 109

Володимир Скочко, докт. техн. наук, професор, кафедри архітектурних конструкцій, зав. кафедри споруд спеціального призначення, <https://orcid.org/0000-0002-1709-2621>;

Кирило Мартиновський, здобувач <https://orcid.org/0009-0000-9065-614X>;

Олексій Котляревський, к.е.н., доцент кафедри споруд спеціального призначення, <https://orcid.org/0009-0004-1645-8064>

Принципи гладкого зшивання підземних тунелів 111

Андрій Посікера, аспірант кафедри архітектурних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0003-3989-2704>;

Дмитро Сотніков, докторант кафедри архітектурних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0004-3379-0747>

Геометричне моделювання форми підземних споруд оболонкового типу . 113

Вадим Спірідонов, аспірант каф. арх. констр., <https://orcid.org/0009-0003-4318-1833>;

Володимир Скочко, д.т.н., проф., каф. арх. констр., зав. каф. споруд спец. призначення, <https://orcid.org/0000-0002-1709-2621>;

Андрій Широков, аспірант каф. арх. констр., <https://orcid.org/0009-0008-0602-7083>;

Типові проблеми переобладнання підвальних приміщень у найпростіші укриття з вимогами інклюзивності..... 115

Тетяна Лякіна, здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,
<https://orcid.org/0009-0008-5211-3062>,

Сергій Кожедуб, канд. техн. наук, доцент кафедри споруд спеціального призначення,
<https://orcid.org/0000-0001-6315-8161>,

Тетяна Веклярська, зав. лабораторії кафедри архітектурних конструкцій
<https://orcid.org/0000-0002-3130-1709>

Вплив характеристик ґрунту на захист від радіації захисних споруд 117

Тарас Донець, доцент кафедри споруд спеціального призначення, <https://orcid.org/0000-0002-2203-5824>

Гундар Ілья, здобувач другого (магістерського) ступеня освіти, 192 «Промислове і цивільне будівництво» <https://orcid.org/0009-0002-5022-3483>

Технологія зведення монолітних залізобетонних конструкцій в умовах жаркого клімату 119

Ганна Шпакова, доктор. економ. наук, професор кафедри будівельних технологій,
<http://orcid.org/0000-0003-2124-0815>

Андрій Шпаков, доктор. економ. наук, професор кафедри менеджменту в будівництві,
<http://orcid.org/0000-0002-7498-4271>

Несуча здатність балок з комбінованим армуванням металевою та базальтопластиковою арматурою 121

Олександр Валовой, канд. техн. наук, професор кафедри промислового цивільного і міського будівництва, <https://orcid.org/0009-0004-2939-3028>;

Максим Валовой, канд. техн. наук, доцент кафедри промислового цивільного і міського будівництва, <https://orcid.org/0009-0004-4623-4248>;

Ігор Малий, аспірант кафедри промислового цивільного і міського будівництва,
<https://orcid.org/0009-0005-7253-8007>

Аналіз надійності розрахункових моделей підсиленних згинальних залізобетонних елементів 123

Олексій Постернак, асистент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій,
<https://orcid.org/0000-0002-5646-6788>

Михайло Постернак, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій,
<https://orcid.org/0000-0003-3894-1386>

Можливості використання технології пневматичної опалубки у сучасному будівництві 125

Даниїл Прокопенко, аспірант кафедри будівельних технологій, <https://orcid.org/0009-0001-6085-2032>

Ганна Шпакова, докт.економ.наук, професор кафедри будівельних технологій,
<https://orcid.org/0000-0003-2124-0815>

Випробування залізобетонних конструкцій пошкоджених під час пожежі 127

Олександр Глітін, канд. техн. наук, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій,
<https://orcid.org/0000-0003-1697-6473>;

*Олег Сонько, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій,
<https://orcid.org/0009-0002-3604-8316>;*

*Олексій Кравченко, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій,
<https://orcid.org/0009-0007-8171-2921>*

Підсилення збірних залізобетонних круглопорожнистих плит перекриття при переобладнанні підвальних приміщень існуючих цивільних будівель в приміщення подвійного призначення 129

Анна Азізова, аспірантка будівництва та цивільної інженерії, <https://orcid.org/0000-0001-6282-5460129>

Роман Стрюк, аспірант будівництва та цивільної інженерії, <https://orcid.org/0009-0005-2674-8177>

*Дмитро Овсій, Ph.D, старший викладач будівництва та цивільної інженерії,
<https://orcid.org/0000-0001-7065-3312>*

Забезпечення електроживлення об'єктів спеціального призначення 131

*Наталія Бурдейна, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри фізики,
<https://orcid.org/0000-0002-2812-1387>;*

Ярослав Підлісний, аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, <https://orcid.org/0009-0008-4906-3164>;

Дмитро Осадчий, аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, <https://orcid.org/0009-0002-9977-8738>

Температурні моделі розвитку пожеж промислових будівель для оцінки вогнестійкості конструкцій 133

*Тарас Шналь, докт. техн. наук, професор кафедри будівельних конструкцій та мостів,
<https://orcid.org/0000-0002-4226-9513>;*

Гор Мацук, аспірант кафедри будівельних конструкцій та мостів, <https://orcid.org/0009-0000-7334-3934>

Засоби нормалізації фізичних чинників середовища сховищ цивільного захисту..... 135

Яна Бірук, доктор філософії, доцент кафедри фізики, <https://orcid.org/0000-0002-3669-9744>;

Андрій Климчук, аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, <https://orcid.org/0009-0005-1248-7316>;

Ярослав Галонько, аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, <https://orcid.org/0009-0000-4932-4338>

Числові дослідження фланцевих вузлів ферм з попереднім напруженням 137

*Євген Цюпин, старший викладач кафедри металевих і дерев'яних конструкцій,
<https://orcid.org/0000-0001-9428-6166>*

Методика випробування двохарнірних залізобетонних рам 139

Сергій Філіпчук, д.т.н., професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0000-0002-4464-4620>; 139

Олександр Собіцанський, аспірант кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0009-0000-2708-7677>;

Юрій Ковальчук, старший викладач кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд <https://orcid.org/0000-0002-7199-1978>

Принципи управління тепловим балансом з використанням графоаналітичних моделей будівель спеціального призначення..... 141

Сергій Кожедуб, канд. техн. наук, доцент кафедри архітектурних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-6315-8161>;

Павло Тисленко, канд. техн. наук, докторант кафедри архітектурних конструкцій, <https://orcid.org/0009-0007-6926-5639>;

Іван Садовничий, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, <https://orcid.org/0009-0005-3174-9625>

Аналітичне порівняння плоскої та об'ємної моделей при розрахунку деформацій плит у ліра-сапр 143

Зіновій Бліхарський, докт. техн. наук, професор кафедри БКМ, <https://orcid.org/0000-0002-4823-6405>;

Михайло Іванейко, аспірант кафедри БКМ, <https://orcid.org/0000-0001-7578-8750>

Порівняльний аналіз розрахунку стінових діафрагм легких дерев'яних каркасних будинків за EN 1995-1-1 та ANSI/AWC SDPWS-2021 145

Тарас Шналь, докт. техн. наук, професор кафедри будівельних конструкцій та мостів, <https://orcid.org/0000-0002-4226-9513>;

Олександр Лепуга, аспірант кафедри будівельних конструкцій та мостів, <https://orcid.org/0009-0005-0570-0975>;

Ігор Мацук, аспірант кафедри будівельних конструкцій та мостів, <https://orcid.org/0009-0000-7334-3934>

Числове моделювання напружено-деформованого стану скляних багатошарових плит у програмі ANSYS..... 147

Тарас Осадчук, к.т.н., в.о. доцента кафедри будівельних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-8686-7056>;

Юрій Фамуляк, к.т.н., доцент, завідувач кафедри технології та організації будівництва, <https://orcid.org/0000-0003-3044-5513>;

Андрій Мазурак, к.т.н., доцент, в.о. професора кафедри технології та організації будівництва, <https://orcid.org/0000-0001-7367-774X>

Дослідження теплових властивостей вентильованих фасадів 149

Олена Олексієнко, канд. техн. наук, <http://orcid.org/0000-0002-5329-2217>

Деформаційні характеристики залізобетонних конструкцій з високоміцного бетону 151

Олена Мельничук, асистент кафедри будівництва, <https://orcid.org/0000-0002-4370-0221>

Просторова модель за геодезичними даними куполу глядацької зали національного академічного драматичного театру імені Лесі Українки 153

Михайло Яковенко, завідувач лабораторії, <https://orcid.org/0000-0001-7800-8166>;

Євген Зорін, провідний інженер, <https://orcid.org/0000-0002-1449-3278>;

Ігор Бень, провідний інженер, <https://orcid.org/0000-0003-3386-5433>

Реакція сталевого резервуара на вплив імпульсного навантаження..... 155

Олександр Глімін, канд. техн. наук, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0003-1697-6473>;

Сергій Радецький, аспірант кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-5798-1987>.

Відновлення експлуатаційної придатності великопанельних будинків, пошкоджених внаслідок воєнних дій 157

Віктор Караван, канд. техн. наук, доцент кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0000-0002-8261-692X>;

Максим Лазаренко, аспірант кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0009-0003-1350-462X>.

Експериментальне дослідження залізобетонних балок за допомогою цифрової кореляції зображень..... 159

Зіновій Бліхарський, докт. техн. наук, професор кафедри будівельних конструкцій та мостів <https://orcid.org/0000-0002-4823-6405>;

Назарій Михалевський, аспірант кафедри будівельних конструкцій та мостів, <https://orcid.org/0009-0007-8107-7892>;

Павло Везера, кандидат. техн. наук, доцент кафедри будівельних конструкцій та мостів, <https://orcid.org/0000-0002-3437-1825>.

Пропозиції до нормування вибухових навантажень у відповідності з чинними нормами проектування захисних споруд..... 161

Талят Азізов, докт. техн. наук, завідувач кафедри техніко-технологічних дисциплін; <https://orcid.org/0000-0001-9621-9805>;

Дмитро Кочкарьов, докт. техн. наук, завідувач кафедри міського будівництва та господарства <https://orcid.org/0000-0002-4525-7315>

Чисельне моделювання впливу вибухів на захисні споруди цивільного захисту..... 163

Тарас Донець, доцент кафедри споруд спеціального призначення, <https://orcid.org/0000-0002-2203-5824>

Проблеми адаптації нормативів трудовитрат в умовах сучасності 165

Василь Доненко, докт. техн. наук, професор кафедри Будівництва, урбаністики та просторового планування, <https://orcid.org/0000-0002-5728-5081>;

Дмитро Іваненко, аспірант кафедри Будівельного виробництва та управління проектами, <https://orcid.org/0000-0002-1635-1214>;

Сергій Щербина², студент групи БАД-122, <https://orcid.org/0009-0008-0315-0596>.

Проектування захисної споруди об'єкту енергетичної інфраструктури 167

Іліас Дамнаті, аспірант кафедри опору матеріалів, <https://orcid.org/0009-0001-2756-7934>

Людмила Григор'єва, канд.ф.-м.наук, доцент кафедри опору матеріалів,

<https://orcid.org/0000-0001-7013-0327> 167

СЕКЦІЯ 2 169

Можливості SikaCarboDur Software при розрахунках посилень будівельних конструкцій 171

¹Олександр Панченко, канд.техн.наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <http://orsid.org/0000-0003-1634-0715>

²Юрій Собко, канд.техн.наук, доцент кафедри Автомобільних доріг та мостів, <http://orcid.org/0000-0002-7710-468X>

Комплексний підхід до вибору складу бетону для надземних конструкцій очисних споруд..... 173

Олексій Кабусь, канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалознавства та інженерії композитних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-2940-0513>;

Анатолій Сінякін, канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалознавства та інженерії композитних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0003-0546-3074>

Дослідження впливу дефектності структури рециркульованого заповнювача на стан контактної зони в структурі бетону 175

Вікторія Зозулинець, докт. філос., старший науковий співробітник Науково-дослідного інституту в'язучих речовин і матеріалів, <https://orcid.org/0000-0002-8066-2033>;

Олександр Ковальчук, канд. техн. наук, ст. наук. співроб, проректор з наукової роботи та інноваційного розвитку, <https://orcid.org/0000-0001-6337-0488>;

Роман Разумов, аспірант кафедри ТБКВ, <https://orcid.org/0009-0004-8675-0298>

Система інтергованої ізоляції SikaProof, як рішення для подовженого строку експлуатації спеціальних споруд..... 177

Сергій Спець, керівник напрямку «Відновлення» <https://orcid.org/0000-0001-7065-3312>;

Артем Захаров, керівник напрямку «Гідроізоляція» <https://orcid.org/0009-0004-2144-8776>

Олександр Панченко, канд.техн.наук, доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <http://orsid.org/0000-0003-1634-0715>

Ефективність мінеральних добавок у сумішах придатних для 3D друку.. 179

Віталій Марчук, к.т.н., доцент кафедри технології будівельних виробів та матеріалознавства, <https://orcid.org/0000-0003-0999-0402>;

Леонід Дворкін, д.т.н., професор кафедри технології будівельних виробів та матеріалознавства, <https://orcid.org/0000-0001-8759-6318>

Руслан Макаренко, к.т.н., професор кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, <https://orcid.org/0000-0003-4839-9623>

Використання діоксиду титану для підвищення сорбційної здатності бетонів 181

Ігор Пануч, аспірант, <https://orcid.org/0009-0008-4153-3889>;

Олександр Ковальчук, канд. техн. наук, ст. наук. співроб, проректор з наукової роботи та інноваційного розвитку <https://orcid.org/0000-0001-6337-0488>

Забезпечення підвищеної міцності споруди при відновленні зруйнованих будівель 183

Наталія Амеліна, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0000-0002-3076-8120>

Аліна Юценко, здобувачка, <https://orcid.org/0009-0002-0936-5789>

Кінетика набору міцності шлакопортландцементів з додаванням модифікованих відходів 185

Оксана Бердник, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів <https://orcid.org/0000-0001-5321-3518>

Олексій Цанко, канд. техн. наук, старший дослідник кафедри будівельних матеріалів <https://orcid.org/0000-0003-2298-068X>

Сергій Виговський, аспірант кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0009-0003-5898-1200>

Ударно-захисні характеристики реакційно-порошкових бетонів..... 187 на основі лужно-активованих шлакопортладцементів 187

Володимир Гоц, докт. техн. наук., професор кафедри технології будівельних конструкцій та виробів, <http://orcid.org/0000-0001-7702-1609>,

Олександр Гелевера, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій та виробів, <http://orcid.org/0000-0002-6285-9780>,

Андрій Разсамакін, аспірант кафедри технології будівельних конструкцій та виробів, <http://orcid.org/0000-0001-5130-6059>

Ефективність використання відходів рециклінгу в складі бетонів для адитивних технологій будівництва 189

Олесь Ластівка, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних к і виробів, <https://orcid.org/0000-0002-3670-0020>

Артем Смоглій, аспірант кафедри технології будівельних конструкцій і виробів <https://orcid.org/0009-0007-5870-5002>

Жаростійкі лужно-активовані портландцементи системи «портландцемент – метакаолін – натрієве рідке скло» 191

Олександр Константиновський, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <http://orcid.org/0000-0002-7936-5699>

Артем Ковальчук, асистент доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0000-0002-3532-4510>

Владислав Онатій, аспірант доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0009-0001-5272-5017191>

Будівельні розчини і бетони на відходах з використанням вібраційного вакууму 193

Тетяна Дехта, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-5023-3070>

Сергій Бондаренко, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-9947-721X>

Світлана Василенко, асистент кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, <https://orcid.org/0000-0001-8687-4726>

Використання полідисперсних мінеральних компонентів для поліпшення експлуатаційних властивостей дрібноштучних вібропресованих виробів 195

Алла Майстренко, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0000-0002-1152-995X>

Оксана Бердник, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0000-0001-5231-3518>

Артем Захаров, аспірант технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0009-0002-8657-5149>

Фактори, які впливають на колір вібропресованих бетонних тротуарних плит 197

Євгенія Петрикова, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0000-0001-6781-0954>

Алла Майстренко, канд. ехн. наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, <https://orcid.org/0000-0002-1152-995X>

Андрій Шудренко, здобувач, <https://orcid.org/0009-0006-2274-9532>

Вимоги до виробів з кам'яної вати для різних теплоізоляційних рішень . 199

Ігор Железняк, аспірант кафедри технології будівельних конструкцій і виробів <https://orcid.org/0009-0008-0458-4943> 199

СЕКЦІЯ 3 201

Моделювання зміни напружено-деформованого стану конструкцій протягом життєвого циклу в програмному забезпеченні LIRA-FEM..... 204

Марія Барабаш, докт. техн. наук, професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва, <https://orcid.org/0000-0003-2157-521X>

Розрахунок будівлі на вплив повітряної ударної хвилі..... 206

Марина Ромашкіна, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-7158-4037>

Оцінка межі вогнестійкості сталевих конструкцій з використанням LIRA-FEM 208

Олексій Бащинський, доктор філософії (PhD), фахівець САІР, <https://orcid.org/0000-0003-2466-4306>

Перевірка залізобетонних конструкцій за допомогою системи «Експертиза ЗБК» у LIRA-CAD та LIRA-FEM..... 210

Андрій Томашевський, інженер-програміст, асистент кафедри комп'ютерних технологій будівництва, <https://orcid.org/0000-0001-5960-2100>

Оцінка стійкості захисної конструкції ангара при вибухових впливах з використанням LIRA-FEM 212

Ілля Бармін, аспірант кафедри КТБ, <https://orcid.org/0009-0009-2610-3271>

Практичний досвід використання LIRA-FEM та LIRA-CAD..... 214

Олександр Лазарев, провідний інженер технічної підтримки, <https://orcid.org/0000-0003-4053-2805>

Методика оцінки прогресуючого руйнування каркасно-монолітної будівлі за допомогою pushdown і pulldown моделювання в ПК «LIRA-FEM» 216

Марія Барабаш^{1,2}, докт. техн. наук, професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва, директор <https://orcid.org/0000-0003-2157-521X>

Андрій Тимощенко¹, аспірант кафедри комп'ютерних технологій будівництва, <https://orcid.org/0009-0005-8005-9524>

Інтегрована система аналізу конструкцій SCAD OFFICE. Функціональні можливості і напрямки розвитку..... 222

Едуард Криксунов, канд. техн. наук, директор НВ ТОВ "СКАД Софт"

Принципові питання розрахунку конструкцій з урахуванням пластичності 224

Анатолій Перельмутер, докт. техн. наук., с.н.с., <https://orcid.org/0000-0001-9537-2728>

До розрахунку стержньових систем з урахуванням депланацій 226

Анатолій Перельмутер¹, докт. техн. наук, с.н.с., <https://orcid.org/0000-0001-9537-2728>

Віталіна Юрченко^{2,1}, докт. техн. наук, професор кафедри металевих і дерев'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0003-4513-809X>

Розрахунок на вогнестійкість залізобетонних та металевих конструкцій у SCAD OFFICE..... 228

Леонід Скорук, канд. техн. наук., доцент кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій, <https://orcid.org/0000-0002-7362-1348>

Аналіз результатів натурних випробувань залізобетонних монолітних плит перекриттів та чисельного моделювання..... 233

Дмитро Якушев, канд. техн. наук., с.н.с. НДЧ, <https://orcid.org/0009-0004-3736-1931>

ПК ЛІРА 10. Розрахункові можливості..... 236

Ісаак Євзеров, докт. техн. наук, с.н.с, директор, <https://orcid.org/0000-0003-3414-9930>

Інтегровані рішення для проєктувальника: ПК ЛІРА 10 у практиці сучасного САЕ 238

Владислав Киричок, інженер, <https://orcid.org/0000-0002-4359-7148>

Наукове видання

ПРИСВЯЧЕНА 95 - Й РІЧНИЦІ ЗАСНУВАННЯ
КНУБА І КАФЕДРИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
ТА КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ

**«БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ:
СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ ТА КОНСТРУКЦІЙ»**

**Матеріали V Міжнародної науково- практичної конференції
14-16 квітня 2025 р. Київ**

**Київський національний університет будівництва і архітектури
Україна, Київ, проспект Повітряних Сил, 31**

<https://sbsa.knuba.edu.ua>

електронна пошта: knubazbk@gmail.com

Головний редактор	Олександр Журавський
Відповідальні за випуск	Олександр Журавський Віра Колякова
Комп'ютерне верстання Редагування і коректура	Віра Колякова Олексій Постернак
Обкладинка:	Дмитро Журавський

**Відповідальність за зміст та достовірність наведених даних несуть
автори**

КИЇВ 2025

