

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

Гарькава Ольга Вікторівна



УДК 624.012/.07/.046.2

**СИНТЕЗ КАРКАСНИХ КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМ БУДІВЕЛЬ
ТА ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Спеціальність 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди»

Реферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Полтава 2025

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Павліков Андрій Миколайович,
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри будівельних конструкцій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Ватуля Гліб Леонідович,
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова Міністерства освіти і науки України, проректор з науково-педагогічної роботи;

доктор технічних наук, професор
Нікіфорова Тетяна Дмитрівна,
Український державний університет науки і технологій Міністерства освіти і науки України, декан будівельного факультету Навчально-наукового інституту «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»;

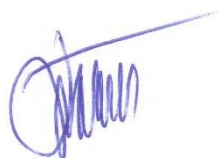
доктор технічних наук, професор
Яковенко Ігор Анатолійович,
Національний університет біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри будівництва.

Захист дисертації відбудеться 04 листопада 2025 року о 12⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д44.052.02 при Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» за адресою: 36011, м. Полтава, проспект Віталія Грицаєнка, 24, ауд. 218.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» за адресою: 36011, м. Полтава, проспект Віталія Грицаєнка, 24 та на сайті <https://nupp.edu.ua/page/spetsializovani-vcheni-radi-po-zakhistu-disertatsij.html>

Реферат розісланий 01 жовтня 2025 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Т.А. Галінська

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Відновлення житлового фонду України, а також створення доступного житла для широких верств населення є наразі важливою проблемою, котра має загальнонаціональне значення. У її вирішенні суттєву роль відіграє швидкість зведення будівель, їх якість, можливості вдосконалення задля зниження вартості, а також потенціал експлуатації на перспективу.

Для розв'язання відмічених пріоритетних задач в житловому та цивільному будівництві одним із дієвих засобів є застосування каркасних конструктивних систем будівель. Ці системи дозволяють автономізувати архітектурно-планувальні рішення будівель, застосовувати енергоефективні матеріали для огорожуючих конструкцій та підвищувати комфортність житла, а також надавати кожній будівлі неповторних архітектурних форм, привабливо урізноманітнюючи міський ландшафт.

Впровадження каркасних конструктивних систем будівель у житлове та цивільне будівництво здійснюється переважно на основі застосування залізобетону. Залізобетонні каркаси будівель відповідають високим вимогам технологічності, міцності, вогнестійкості, корозієстійкості, довговічності, доступності та мають невисоку вартість. Доповнюючи названі якості, слід відмітити також невід'ємні переваги збірних конструкцій: можливість швидкого індустріального зведення будівель, незалежність монтажу від пори року й погодних умов та високу заводську готовність елементів, які сприяють підвищенню попиту на збірні залізобетонні конструкції.

На основі перерахованих переваг збірних залізобетонних конструкцій, можна стверджувати, що вирішення проблеми прискореного відновлення житлового фонду доцільно здійснювати шляхом удосконалення сучасних збірних каркасних конструктивних систем будівель. З їх аналізу встановлено, що найбільш перспективним у цьому напрямі способом об'єднання основних частин каркасу: колон та перекриттів є їх безпосереднє з'єднання із урахуванням простоти геометричних форм та забезпеченням переваг архітектурно-планувального та технологічного характеру. Вказане конструктивне рішення реалізується, зокрема, у вдосконаленій у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» збірній безкапітельно-безбалковій конструктивній системі будівель.

Застосуванню залізобетонних конструкцій збірного безкапітельно-безбалкового каркасу в галузі будівництва належить одне з провідних місць. Але сьогодні, як і раніше, їх проектування та експлуатація мають багато нерозв'язаних задач, основними з яких є: забезпечення стійкості каркасу, врахування просторової роботи збірних плит перекриття та складного деформування колон з метою підвищення ефективності каркасу та зменшення його матеріаломісткості. Розв'язання окреслених задач шляхом вдосконалення існуючих методологічних основ розрахунків збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель та її елементів в аспекті синтезу каркасних конструктивних систем будівель є **актуальною проблемою**, яка має теоретичне та практичне значення для відновлення житлового фонду України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, питаннями, темами. Тема дисертації відповідає сучасним напрямам науково-технічної політики держави щодо енергоефективності та ресурсозбереження у будівництві згідно з розпорядженням КМУ від 17.12.2008 р. №1567-р «Про програми підвищення енергоефективності та зменшення споживання енергоресурсів» та Закону України від 11.07.2001 р. № 2623-III із змінами від 12.01.2023 р. № 2859-IX «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» та щодо впровадження нормативних документів, гармонізованих із європейськими, згідно з постановою КМУ від 23.05.2011 р. №547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу».

Робота виконана в рамках держбюджетних прикладних науково-дослідних робіт у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»: «Збірно-монолітна конструктивна система будівлі під соціальне житло» (державний реєстраційний номер 0113U000383), «Індустріальна каркасна безбалкова конструктивна система будівлі доступного житла» (державний реєстраційний номер 0115U002416).

Виконані дослідження стали одним із етапів комплексних досліджень, що виконуються на кафедрі будівельних конструкцій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» за проблемою «Експериментально-теоретичні дослідження і розробка практичних методів розрахунків залізобетонних елементів, які працюють на складні види деформацій при короткочасній та тривалій дії навантажень».

Науковим консультантом роботи є д.т.н., професор Павліков А.М., який очолює наукову школу «Дослідження залізобетонних і кам'яних конструкцій, що зазнають складних деформацій» в Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Метою роботи є вирішення актуальної науково-технічної проблеми синтезу каркасних конструктивних систем будівель зі створенням на його основі єдиного методологічного комплексу розрахунків несучої здатності елементів збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель.

Для досягнення поставленої мети сформульовані та розв'язані такі **задачі дослідження**:

1. Структурувати процес синтезу каркасних конструктивних систем будівель в аспекті їх вдосконалення, виявити та узагальнити шляхи вдосконалення таких систем та методів розрахунку їх складових елементів.

2. Усунути неточності та протиріччя в розрахунках і проектуванні збірної каркасної конструктивної безкапітельно-безбалкової системи будівель шляхом формулювання основних розрахункових положень моделювання напружено-деформованого стану її складових елементів.

3. Удосконалити для збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель на основі кінематичного методу граничної рівноваги дискову модель деформування перекриття, котра дозволить виявити резерви несучої здатності плит безкапітельно-безбалкового перекриття.

4. На базі удосконаленої дискової моделі перекриття з використанням рівності віртуальних робіт зовнішніх та внутрішніх зусиль на відповідних переміщеннях розробити практичні методи розрахунку несучої здатності плит збірної безкапітельно-безбалкового перекриття.

5. Довести, що колони збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи зазнають косого стискання. Для косо стиснутих колон запропонувати критерій міцності з метою оптимізації їх армування у поперечному перерізі.

6. Отримати теоретично та впровадити при розробленні методики розрахунку несучої здатності діаграму граничних значень фібрових деформацій бетону в складі косо стиснутих колон з урахуванням запропонованого критерію їх міцності за умови роботи арматури в пружній стадії.

7. Експериментально перевірити можливість застосування на практиці проектування розроблених методик розрахунку несучої здатності складових елементів збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель.

Об'єкт дослідження – синтез каркасних конструктивних систем будівель.

Предмет дослідження – несуча здатність елементів збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель.

Методи дослідження – математичне моделювання напружено-деформованого стану залізобетонних елементів, методи експериментального дослідження залізобетонних елементів із застосуванням механічних та електротензометричних методів вимірювань, метод скінченних елементів, методи математичної статистики, аналіз, синтез.

Наукова новизна одержаних результатів:

– вперше структуровано процес синтезу каркасних конструктивних систем будівель із залізобетону, що дозволило виявити шляхи вдосконалення таких систем та методів розрахунку їх складових елементів;

– удосконалено основні положення розрахунку збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель, котрі забезпечують її економічно ефективно проектування;

– набув подальшого розвитку кінематичний спосіб методу граничної рівноваги при розробленні розрахунків несучої здатності плит збірної безкапітельно-безбалкового перекриття з уточненням умов їх закріплення та урахуванням можливості зменшення площі арматури в приопорних ділянках;

– удосконалено дискову модель деформування збірної безкапітельно-безбалкового перекриття з урахуванням сумісної роботи плит, що дозволило виявити резерви їх несучої здатності;

– вперше запропоновано критерій міцності косо стиснутих залізобетонних колон збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель при їх неоднорідному та однорідному деформуванні за умови роботи арматури в пружній стадії;

– вперше на основі сформульованого критерію побудовано діаграму розрахункових значень граничних фібрових деформацій бетону в складі косо

стиснутих колон при роботі арматури в пружній стадії, котра дозволяє проєктувати залізобетонні конструкції з оптимальною кількістю арматури;

– вперше на основі нових результатів експериментальних випробувань виявлені особливості напружено-деформованого стану та характерні форми руйнування елементів збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель, експериментально підтверджені теоретично розроблені моделі їх руйнування та розрахунки несучої здатності.

Достовірність та обґрунтованість результатів роботи підтверджені використанням фізично обґрунтованих передумов та методів розрахунку будівельних конструкцій, експериментальними дослідженнями, як власними, так і інших авторів, даними чисельного моделювання роботи елементів та конструкцій, перевіркою збіжності отриманих теоретичних результатів з даними експериментальних досліджень, а також методами математичної статистики.

Практичне значення одержаних результатів підтверджується їх використанням при підготовці нової редакції національного стандарту України ДСТУ Б В.2.6-156:2010 «Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проєктування». Крім цього:

– розроблена в дисертаційній роботі на основі кінематичного способу граничної рівноваги методика розрахунку несучої здатності залізобетонних плит застосована при проведенні експертизи на відповідність нормативним документам залізобетонних плит ТОВ «Східний геологічний союз», при розрахунку необхідної кількості робочої арматури безкапітельно-безбалкового перекриття підземного паркінгу в м. Кременчук Полтавської області, при визначенні залишкової несучої здатності плит перекриття будівлі сировинної лабораторії «Новооржицького цукрового заводу»;

– методика випробування збірних залізобетонних плит, розроблена в дисертаційній роботі, застосована при випробуванні залізобетонних плит, виготовлених на підприємстві УБМР «Укргазспецбудмонтаж» АТ «Укргазвидобування»;

– використання розробленої у дисертаційній роботі методики розрахунку несучої здатності косо стиснутих колон на основі нелінійної деформаційної моделі дозволило більш точно визначити необхідну кількість робочої арматури залізобетонних колон багатоповерхового каркасу житлового будинку в м. Кременчук Полтавської області, визначити залишкову несучу здатність колон збірного в'язевого залізобетонного каркасу будівлі сировинної лабораторії та стійок залізобетонних рам будівель пересипки «Новооржицького цукрового заводу»;

– згідно зі сформульованими у дисертаційній роботі критеріями міцності залізобетонних елементів за результатами експериментальних випробувань зразків арматури ПП «Дорожній технологічний центр» враховано збільшення напружень в арматурі у складі залізобетонних конструкцій при визначенні їх несучої здатності;

– запропоноване удосконалення збірної каркасної конструктивної системи будівель, котре захищено патентом України на корисну модель №93195 «Індустріальний безкапітельно-безбалковий каркас будівлі доступного житла»;

– результати виконаних досліджень впроваджено у науково-дослідні роботи кафедри будівельних конструкцій, які виконувалися за рахунок коштів загального фонду державного бюджету (0113U000383, 0115U002416);

– результати дисертаційної роботи було впроваджено у навчальний процес під час проведення лекційних та практичних занять у 2014 – 2025 навчальних роках у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», зокрема, у навчальні дисципліни освітньо-професійних програм підготовки першого та другого рівнів вищої освіти, а також у дисципліни освітньо-наукової програми третього рівня вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», а саме: «Залізобетонні конструкції», «Новітні матеріали, конструкції, конструктивні системи будівель (споруд), технології в будівництві», «Технічна експлуатація будівель і споруд. Випробування в будівництві», «Проектування залізобетонних конструкцій, що працюють в умовах складних деформацій», «Комп'ютерні технології проектування залізобетонних і кам'яних конструкцій».

Особистий внесок здобувачки полягає у структуруванні процесу синтезу каркасних конструктивних систем будівель, виявленні напрямів вдосконалення таких систем та основних засад розрахунку і проектування збірного безкапітельно-безбалкового каркасу будівель, розробленні методики оцінювання несучої здатності плит збірного безкапітельно-безбалкового перекриття, удосконаленні нелінійної деформаційної моделі косо стиснутих залізобетонних колон безкапітельно-безбалкового каркасу на основі застосування запровадженого критерію їх міцності за умови роботи арматури в пружній стадії [1, 14, 15, 29, 30].

Викладені в дисертаційній роботі ідеї, основні положення, теоретичні розробки та практичні результати отримані авторкою самостійно. В опублікованих у співавторстві дослідженнях особистий внесок здобувачки полягає у:

– удосконаленні основних положень розрахунку збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель, котрі забезпечують її економічно ефективно проектування [2, 24, 28, 31, 39, 40, 41, 48, 60];

– адаптуванні кінематичного способу методу граничної рівноваги при розробленні розрахунків несучої здатності плит збірного безкапітельно-безбалкового перекриття з уточненням умов їх закріплення та урахуванням можливості обриву арматури [2, 6, 12, 36, 45, 47];

– удосконаленні дискової моделі деформування збірного безкапітельно-безбалкового перекриття з урахуванням сумісної роботи плит з метою виявлення резервів їх несучої здатності [16, 44, 48, 50, 52];

– науковому обґрунтуванні існування та можливості реалізації критерію міцності косо стиснутих залізобетонних колон збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель при їх неоднорідному та однорідному деформуванні за умови роботи арматури в пружній стадії [5, 17, 18, 20, 23, 43];

– побудові діаграми розрахункових значень граничних фібрових деформацій бетону в складі косо стиснутих колон при роботі арматури в пружній стадії, котра дозволяє проектувати залізобетонні конструкції з оптимальною кількістю арматури [10, 13, 17, 20, 21, 23, 33, 35, 51, 54, 55];

– експериментальному виявленні особливостей напружено-деформованого стану та характерних форм руйнування елементів збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель, підтвердженні теоретично розроблених моделей їх руйнування та розрахунків несучої здатності [3, 4, 7, 8, 9, 11, 19, 22, 25, 26, 27, 32, 34, 37, 38, 42, 46, 53, 56, 57, 58, 59].

У дисертації не використовувались матеріали кандидатської дисертації.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Матеріали дисертаційної роботи оприлюднені на:

76 – 66 наукових конференціях професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (2024 – 2014 рр., м. Полтава);

15th fib PhD Symposium 2024 (28 – 30 серпня 2024 р., м. Будапешт); fib Symposium 2023 «Building for the Future: Durable, Sustainable, Resilient» (5 – 7 червня 2023 р., м. Стамбул); 2021 fib Symposium Concrete Structures «New Trends for Eco-Efficiency and Performance», (14 – 16 липня 2021 р., м. Лісабон); fib Symposium 2020 «Concrete structures for resilient society» (22 – 24 листопада 2020 р., м. Шанхай); 13th fib International PhD Symposium in Civil Engineering (26 – 28 серпня 2020, м. Париж); International fib Symposium on Conceptual Design of Structures (26 – 28 вересня 2019 р., м. Мадрид); fib Symposium 2019 «Concrete. Innovations in Materials, Design and Structures» (27 – 29 травня 2019 р., м. Краків);

III Всеукраїнській науково-практичній конференції «Роль науки у відбудові України» (29 листопада 2023 р., м. Київ); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Будівлі та споруди спеціального призначення: матеріали та конструкції» (26 – 27 квітня 2023 р., м. Київ); IV – III Міжнародних науково-технічних конференціях «Ефективні технології в будівництві» (2019 – 2018 рр., м. Київ); I Міжнародному науково-практичному конгресі «Міське середовище – XXI сторіччя. Архітектура. Будівництво. Дизайн» (10 – 14 лютого 2014 р., м. Київ);

XVI – XI Міжнародних науково-практичних конференціях «Академічна й університетська наука: результати та перспективи» (2023 – 2018 рр., м. Полтава); Міжнародній науково-практичній конференції «Environment recovery and reconstruction: war context 2022» (17 – 18 листопада 2022 р., м. Полтава); IV – I Міжнародних азербайджансько-українських науково-практичних конференціях «Building innovations» (2021 – 2018 рр., м. Полтава); I Міжнародній науково-практичній конференції «Technology, engineering and science – 2018» (24 – 25 жовтня 2018 р., м. Лондон);

IX Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції здобувачів вищої освіти та молодих учених (14 травня 2024 р., м. Луцьк); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Сучасні проблеми містобудування. Перспективи та пріоритети розвитку» (17 листопада 2023 р., м. Луцьк); VIII Міжнародній інтернет-конференції «Інновації у будівництві» (12 травня 2023 р., м. Луцьк);

9 та 7 Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (2021 р., 2018 р., м. Харків);

IV – III Міжнародних конференціях «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (2021 – 2020 рр., м. Одеса); VIII – VII Міжнародних конференціях «Актуальні проблеми інженерної механіки» (2021 – 2020 рр., м. Одеса);

Міжнародній науково-технічній on-line конференції «Проблеми будівельного та транспортного комплексів» (23 – 24 травня 2023 р., м. Кропивницький); I Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції «Досвід впровадження у навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій» (29 – 30 жовтня 2019 р., м. Кропивницький); VI Всеукраїнському студентському науково-практичному семінарі «Досвід впровадження у навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій» (25 – 26 жовтня 2018 р., м. Кропивницький);

XIX Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології у будівництві, цивільній інженерії та архітектурі» (19 – 22 вересня 2021 р., м. Чернігів);

Другій міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології в науці та освіті» (5 – 7 березня 2019 р., м. Сєвєродонецьк);

VI Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (16 – 17 листопада 2017 р., м. Тернопіль).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась на семінарі при спеціалізованій вченій раді Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (6 березня 2025 р., м. Полтава), на розширеному науковому семінарі Навчально-наукового інституту будівництва та цивільної інженерії Харківського Національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова (14 лютого 2025 р., м. Харків), на розширеному науковому семінарі кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій будівельного факультету Навчально-наукового інституту «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Українського державного університету науки і технологій (17 грудня 2024 року, м. Дніпро), на розширеному засіданні наукової ради факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України (12 грудня 2024 р., м. Київ), на Research Evening у Відземському університеті прикладних наук (4 квітня 2024 р., м. Валмієра, Латвія).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 60 наукових праць, у тому числі: 2 монографії, 22 статті у фахових виданнях України, 11 статей у виданнях, проіндексованих НМБД Scopus, 3 публікації у інших збірниках статей, 21 тези за матеріалами наукових конференцій, 1 патент України на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків. Дисертацію викладено на 480 сторінках, вона містить 340 сторінок основного тексту, котрі включають 185 рисунків та 24 таблиці, 48 сторінок використаних джерел із 460 найменувань та 44 сторінки додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, що вирішується, сформульовано мету, завдання дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів роботи, наведено дані про публікації та апробацію матеріалів дисертації, представлено її загальну структуру та обсяг.

У **першому розділі** розглянуті каркасні конструктивні системи будівель, котрі можуть поєднувати у своєму складі різні елементи: колони, капітелі, балки, плити, в'язі, діафрагми тощо. Показано, що вдосконалення методів розрахунку конструктивних систем будівель та їх окремих частин сприяло появі багатьох видів збірних та збірно-монолітних залізобетонних каркасів. Створення нових каркасних конструктивних систем будівель супроводжувалось з одного боку видаленням з перекриттів таких елементів як балки, консолі, капітелі, а з іншого – інтеграцією їх в масив перекриттів. У розділі відмічено, що синтез каркасних конструктивних систем будівель супроводжувався також мінімізацією їх вартості та вдосконаленням форм перерізів складових елементів.

У цьому розділі акцентовано увагу на тому, що експериментальні та теоретичні дослідження залізобетонних конструктивних систем будівель та їх елементів проводились багатьма науковцями та практиками, зокрема: Т.Н. Азізовим, В.Г. Артюхом, А.М. Бамбурою, А.Я. Барашиковим, К.В. Бережною, Г.Л. Ватулею, Б.Г. Гнідцем, Б.Г. Демчиною, В.С. Дорофєєвим, В.І. Євстаф'євим, О.Д. Журавським, О.І. Лапенком, І.В. Мельником, С.М. Микитенком, О.В. Нижником, Т.Д. Нікіфоровою, А.М. Павліковим, М.В. Савицьким, Д.В. Сморкаловим, І.А. Стебловським, Л.І. Стороженком, О.Л. Шагіним, В.С. Шмуклером, В.І. Шеховцовим, І.А. Яковенком та іншими.

На основі аналізу існуючих каркасних конструктивних систем встановлено, що найбільш ефективними для зведення житлових та цивільних будівель на сьогодні є такі каркасні конструктивні системи, в яких перекриття поєднуються з колонами безпосередньо. При цьому показано, що таке рішення реалізується як наслідок трансформації ребристого перекриття або конструктивним перетворенням безбалкового перекриття. Напрям дослідження саме безкапітельно-безбалкових каркасів будівель обґрунтовано ефективною роботою таких перекриттів в обох напрямках, що розширює можливості для їх подальшого вдосконалення.

Реалізація безкапітельно-безбалкових каркасів будівель у збірному варіанті створює умови відновлення індустріалізації будівництва та сприяє підвищенню якості виготовлюваних на заводах збірних конструкцій каркасу. Найбільшого розвитку і поширення набула вдосконалена збірна каркасна безкапітельно-безбалкова конструктивна система будівель, яку вперше застосували в Україні у м. Полтава при зведенні двох 16-поверхових будівель. При цьому використані розроблені на кафедрі будівельних конструкцій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» вдосконалені рішення каркасу.

Як відмічено в першому розділі, в подальшому зберігається необхідність розширення впровадження досліджуваної конструктивної системи будівель, що потребує розроблення на основі деформаційної моделі комплексу розрахунків,

який би дозволяв раціонально проєктувати її складові частини кінематичним способом. Розрахункам та вдосконаленню конструкцій залізобетонних перекриттів будівель приділялась значна увага багатьох науковців, серед них: Т.Н. Азізов, М.С. Боришанський, Б.Г. Галеркін, О.О. Гвоздев, А.Д. Глуховський, А.Е. Дорфман та Л.Н. Левонтин, А.Ф. Лолейт, В.І. Мурашев, І.С. Подільський, М.Я. Штаерман та А.М. Івянський, А.С. Щепотьєв, W.G. Corley, Н.Т. Eddy та С.А.Р. Turner, J.S. Grossman, S.J. Hwang та J.P. Moehle, V. Lewe, A.R. Lord, Y.H. Luo та A.J. Durrani, Н. Marcus, J.R. Nichols, M.A. Sozen та С.Р. Siess, M.D. Vanderbilt, Н.М. Westergaard та W.A. Slater та інші. Окремі задачі в розрахунках несучої здатності перекриттів кінематичним способом методу граничної рівноваги розв'язувались у роботах О.Б. Голишева, А.С. Дехтяра, А.М. Дубинського, S. Aidarov, N. Tošić та A. de la Fuente, M.S. Al-Ansari та M.Sh. Afzal, S. Gupta та S. Naval, A. Ingerslev, A. Jain та K. Veerendra, K.W. Johansen, L.L. Jones та R.H. Wood, K.O. Kemp, G.C. Kennedy, S.S. Panda, G. Subham та J. Bhagabat, M. Di Prisco, V. Quintas, S.N. Shukla, A. Salam Al-Sabah та H. Falter та інших.

У розділі відмічені певні ускладнення у проєктуванні колон збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель, обумовлені їх роботою в умовах складного деформування (косого стискання) внаслідок безпосереднього з'єднання з перекриттям. Зауважено, що у витоків розробки методики прямого врахування косого стискання колон у нашій країні стояв М.С. Торяник. Його учні та послідовники проводили наукові дослідження, котрі зробили суттєвий внесок у розвиток теорії складно деформованого залізобетону. Зокрема, залізобетонні елементи при косому стисканні та косому згинанні широко досліджувалися В.І. Бабичем, Є.М. Бабичем, П.Ф. Вахненком, О.В. Гориком, К.Х. Долею, Є.В. Дяченком, В.І. Клименком, Є.В. Клименком, Д.В. Кочкар'євим, А.М. Павліковим, Р.І. Пахомовим, Ю.М. Руденком, О.В. Семком, Л.І. Сердюком, Ю.О. Усенко, Л.В. Фалєєвим, Д.В. Федоровим, М.О. Харченко, П.А. Юрком, М.Л. Яровим та багатьма іншими. Ґрунтовні дослідження косо стиснутих елементів викладені також у публікаціях A. Aas-Jakobsen, T. Bouzid та K. Demagh, B. Bresler, A. Fafitis, R.W. Furlong, Z. Xu, Q. Han та Ch. Huang, H. Hong, M.E. Kamara та B.G. Rabbat, S. Lai, G. Will та S. Otani, J.L. Meek, W.H. Mosley, J.H. Bungey та R. Hulse, F.N. Pannell, L.N. Ramamurthy, J.A. Rodriguez та D.J. Aristizabal-Ochoa, L. Stefan та P. Léger, C.K. Wang та C.G. Salmon й інших.

За результатами проведеного у розділі 1 аналізу підтверджена актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі досліджень, встановлена доцільність створення єдиного методологічного комплексу розрахунків несучої здатності елементів збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель.

У **другому розділі** для досягнення поставлених задач розроблена структурно-логічна схема досліджень (рис. 1). Відображено, що в основу створення розрахунків збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель покладено синтез конструктивних систем будівель, як метод дослідження розглядуваних систем в їх єдності та взаємному зв'язку елементів, зведення до цілого даних, здобутих аналізом.

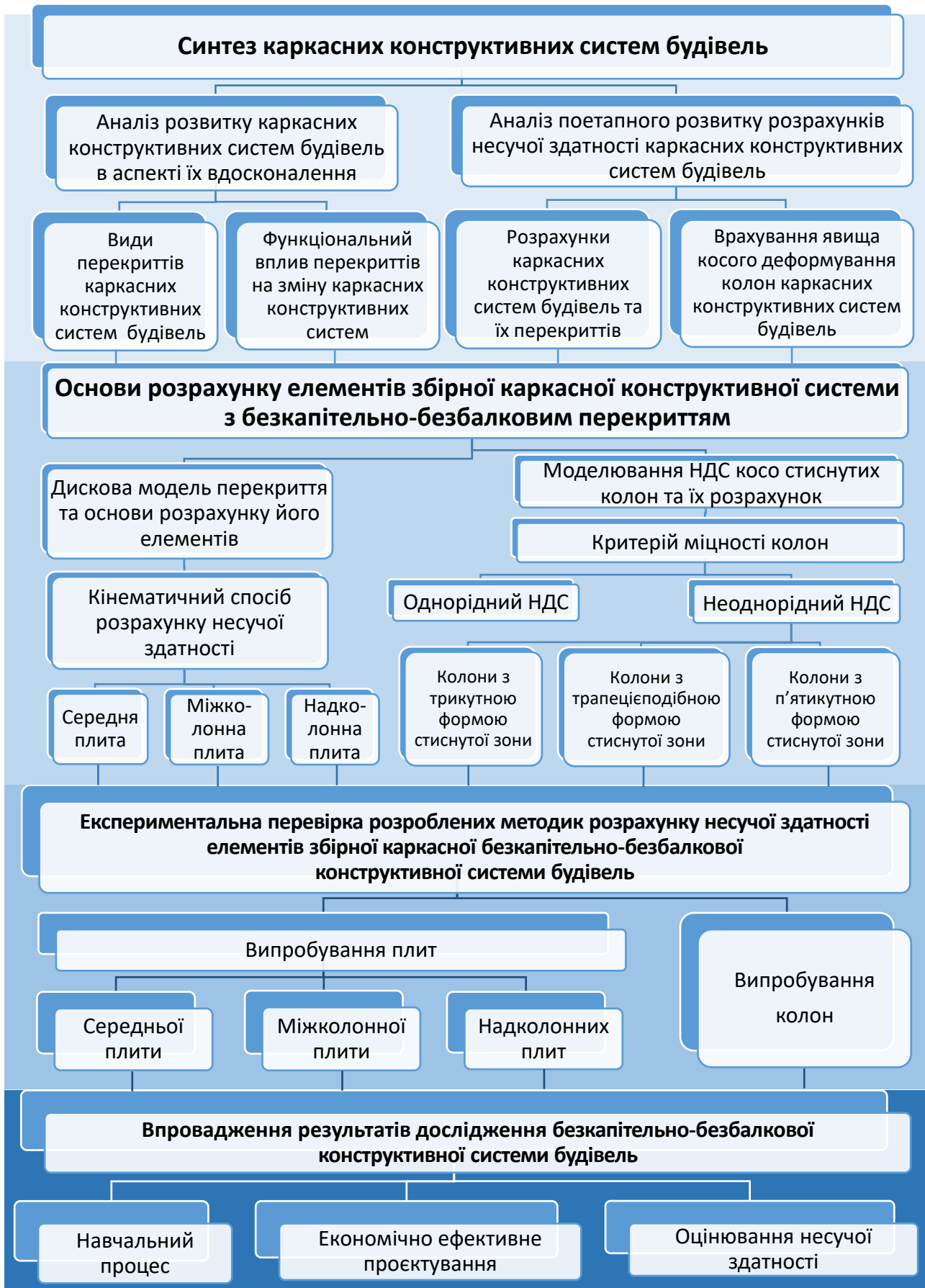


Рисунок 1 – Структурно-логічна схема дослідження каркасних конструктивних систем будівель

Узагальнення даних аналізу етапів виникнення і розвитку каркасних конструктивних систем будівель дозволило процеси їх створення проілюструвати структурною схемою синтезу каркасних конструктивних систем будівель (рис. 2).

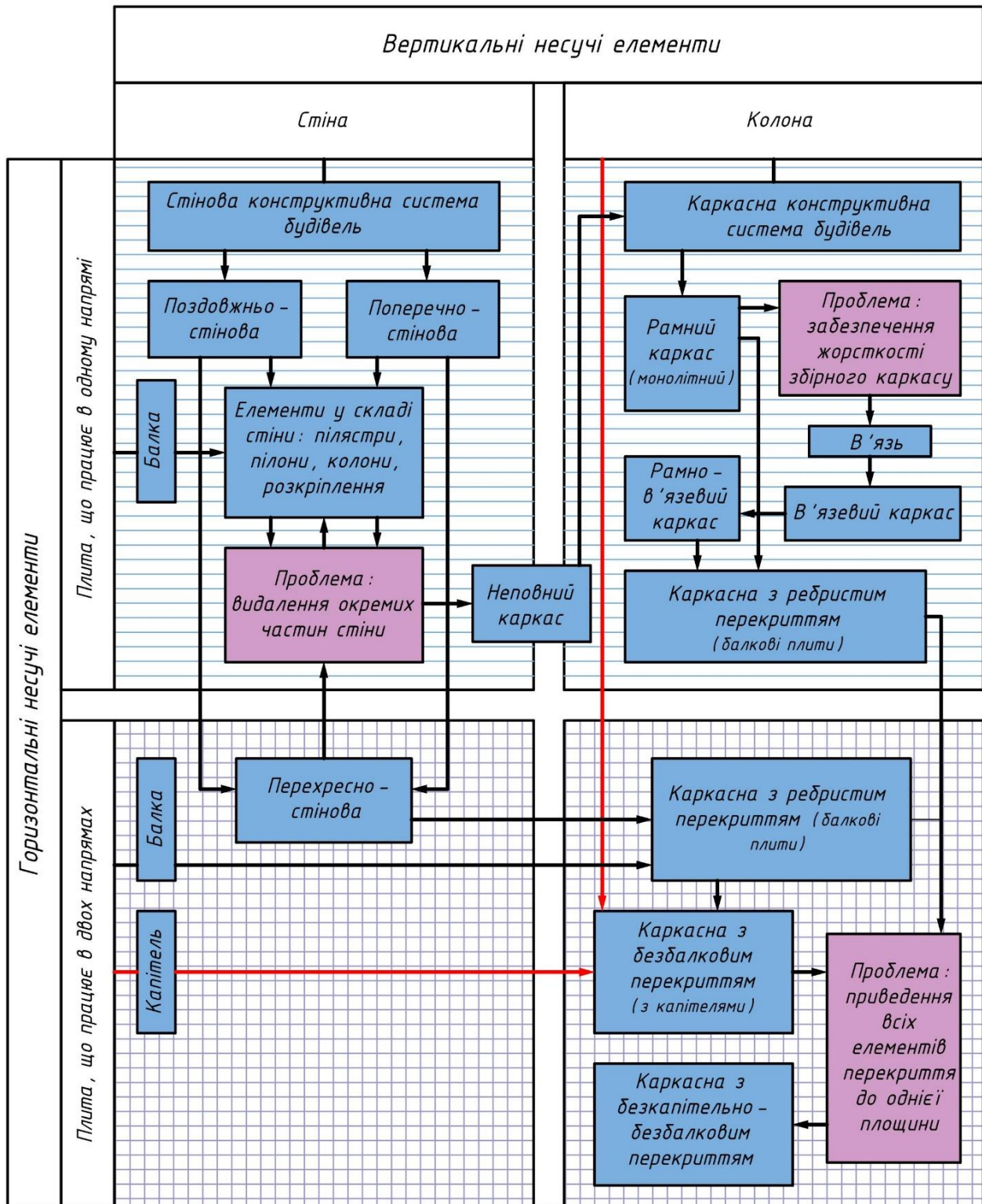


Рисунок 2 – Структурна схема синтезу каркасних конструктивних систем будівель

При цьому встановлено, що конструктивне поєднання плити, яка працює у двох напрямках, безпосередньо з колоною є найбільш ефективним рішенням. Це рішення акумулює простоту геометричних форм і максимальну кількість переваг архітектурно-планувального та технологічного характеру, тому є основоположним для формування сучасних каркасних конструктивних систем будівель.

Як показав огляд процесу розвитку безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель, ця система з метою прискорення її застосування при відновленні зруйнованого житлового фонду України потребує формулювання основних засад розрахунків цієї системи та її елементів, котрі дозволять розробити практичні методи розрахунку несучої здатності.

На підставі аналізу різних конструктивних систем будівель сформовану основну конструктивну модель збірної каркасної безкапітельно-безбалкової системи будівель (рис. 3). Вона включає виготовлені у заводських умовах залізобетонні збірні елементи, що монтуються безпосередньо на будівельному майданчику. Універсальність цієї системи дозволяє застосовувати її не тільки для зведення багатоповерхових будівель, але й для індивідуальних котеджів у всіх кліматичних районах України.

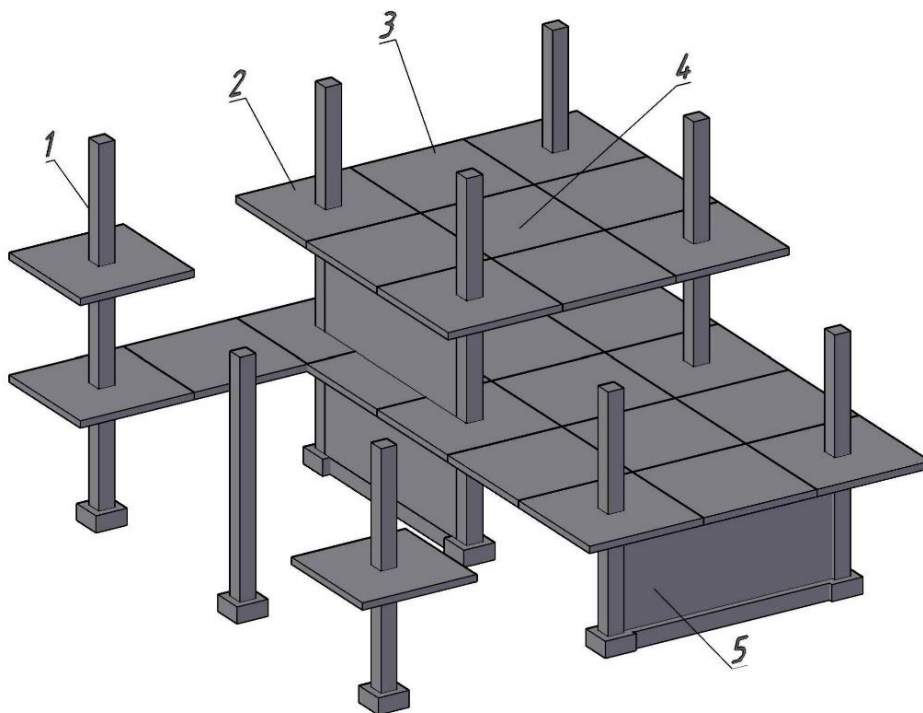


Рисунок 3 – Загальна модель безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель: 1 – колона; 2 – надколонна плита; 3 – міжколонна плита; 4 – середня плита; 5 – діафрагма жорсткості

Збірна безкапітельно-безбалкова конструктивна система будівель може застосовуватись у будівлях з координаційною сіткою колон 6×6 м, висотою поверхів 2,8 – 3,3 м. Диски міжповерхових перекриттів у будівлях, зведених на основі цієї системи, з'єднані безпосередньо з колонами за допомогою монтажних обойм. Перекриття поєднують три типи збірних залізобетонних плит:

надколонні, міжколонні та середні. Усі ці плити уніфіковані за формою та розміром. Товщина плит – 160 мм. Вертикальні несучі елементи каркасу – збірні залізобетонні двоярусні чи триярусні колони з розмірами поперечного перерізу 400×400 мм. Для виготовлення плит і колон розроблені технічні умови.

Просторова жорсткість каркасу забезпечується лінійними елементами – в'язями, які розташовуються в створі колон. Поверховість каркасів обмежується 12-ма поверхами через значне навантаження на колони нижніх поверхів. На основі синтезу, як методу дослідження конструктивної системи в її єдності та взаємному зв'язку частин, розроблені пропозиції з об'єднання окремих функцій елементів. У результаті реалізовано ідею використовувати замість лінійних елементів жорсткості суцільні залізобетонні діафрагми з подвійною функцією – для сприймання горизонтального і частини вертикального навантаження з передаванням його безпосередньо на фундамент (рис. 3). Такий підхід, як свідчать розрахунки, дозволяє збільшити поверховість будівлі до 16 поверхів. За рахунок цього чотири будівлі з 12-ма поверхами можна замінити з відчутною економією площі ділянки забудови на три будівлі з 16-ма поверхами, тим самим зменшивши вартість 1 м² житла та підвищивши доступність його придбання.

На сьогодні в статичних розрахунках як збірні, так і монолітні безбалкові каркаси розчленовуються на плоскі рами, як це рекомендується чинними нормативними документами з проектування залізобетонних конструкцій. Застосування цього методу в розрахунках збірних безкапітельно-безбалкових каркасів призводить до значних похибок, оскільки він не враховує просторову роботу перекриттів та наявність стиків збірних конструкцій.

При розрахунку каркасних конструктивних систем багатоповерхових будівель також широко застосовується метод скінченних елементів. Для оцінки ефективності застосування цього методу було проведено скінченно-елементне моделювання напружено-деформованого стану фрагменту безкапітельно-безбалкового збірного перекриття. Моделювання здійснено за допомогою програмного комплексу RFEM6.04.0008 на основі ітераційного методу Пікара. В дослідженні враховувались значення постійного навантаження від маси перекриття інтенсивністю 4 кН/м² та змінного навантаження до 5 кН/м².

У процесі моделювання було розглянуто варіант монолітного перекриття, а також збірного – у вигляді набору плоских залізобетонних плит розміром 3×3 м, з'єднаних між собою лінійними шарнірами з поворотною жорсткістю пружини $c_{\phi, x} = 0,001$ кН/м/рад (рис. 4).

Аналіз результатів моделювання показав, що розподіл згинальних моментів у перекритті та максимальні їх значення суттєво відрізняються (в діапазоні 20 – 30%) в розглянутих варіантах. Це може негативно впливати на схеми армування перекриття. Щоб цього уникнути при розробленні методу розрахунку міцності збірного безкапітельно-безбалкового каркасу слід враховувати особливості конструкції збірного безкапітельно-безбалкового перекриття, тобто наявність пружно-пластичних стиків між елементами. Це можна здійснити на основі застосування до їх розрахунку кінематичного способу методу граничної рівноваги.

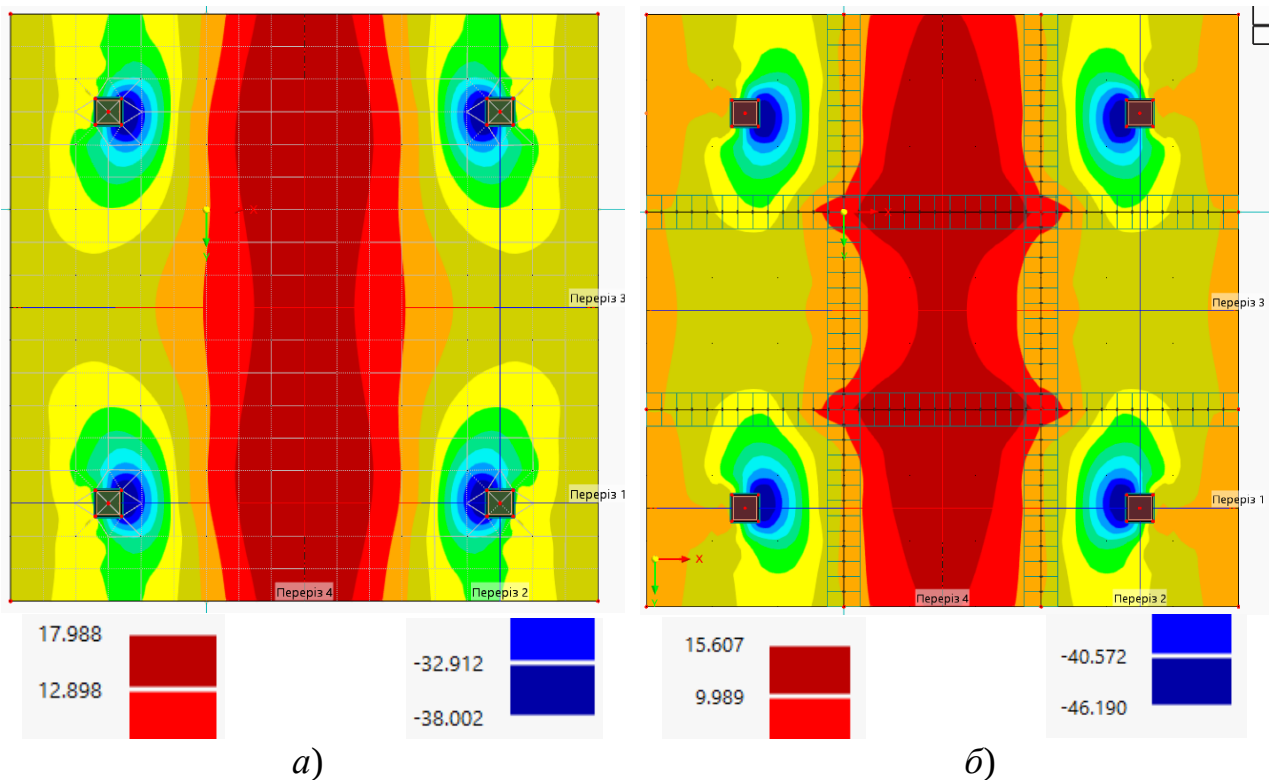


Рисунок 4 – Розподіл згинальних моментів у фрагменті безкапітельно-безбалкового перекриття каркасної конструктивної системи будівель:
а) – монолітного; б) – збірного

Можливість застосування кінематичного способу методу граничної рівноваги в розрахунках несучої здатності залізобетонного перекриття та його окремих елементів спирається на численні теоретичні та експериментальні дослідження. Відмічено, що при дії навантаження на плиту в найбільш напружених її місцях арматура досягає межі текучості. Лінії концентрації перерізів з напруженнями текучості в арматурі являють собою лінійні пластичні шарніри. Ними плита розділяється на окремі жорсткі диски, котрі повертаються навколо лінійних пластичних шарнірів. Стан плити (рис. 5), при якому сукупність дисків являють собою механізм із подальшим зростанням його переміщень без збільшення навантаження, приймається за граничний стан з відповідним граничним навантаженням.

В експериментах встановлено, що моделі деформування збірного безкапітельно-безбалкового перекриття (рис. 5) порівняно з моделями деформування монолітного перекриття мають суттєву відмінність. Вона полягає в тому, що утворення лінійних пластичних шарнірів у збірно-перекритті спровоковано спеціально влаштованими петлевими стиками (вони сприймають згинальний момент із заданим значенням). У результаті пластичні шарніри прогнозовано утворюватимуться саме вздовж цих стиків, розділяючи перекриття на диски, котрі являють собою, збірні плити. Подальший процес формоутворення моделі руйнування перекриття визначатиметься прийнятими принципами послідовності зламу залізобетонних плит з урахуванням їх сумісної роботи.

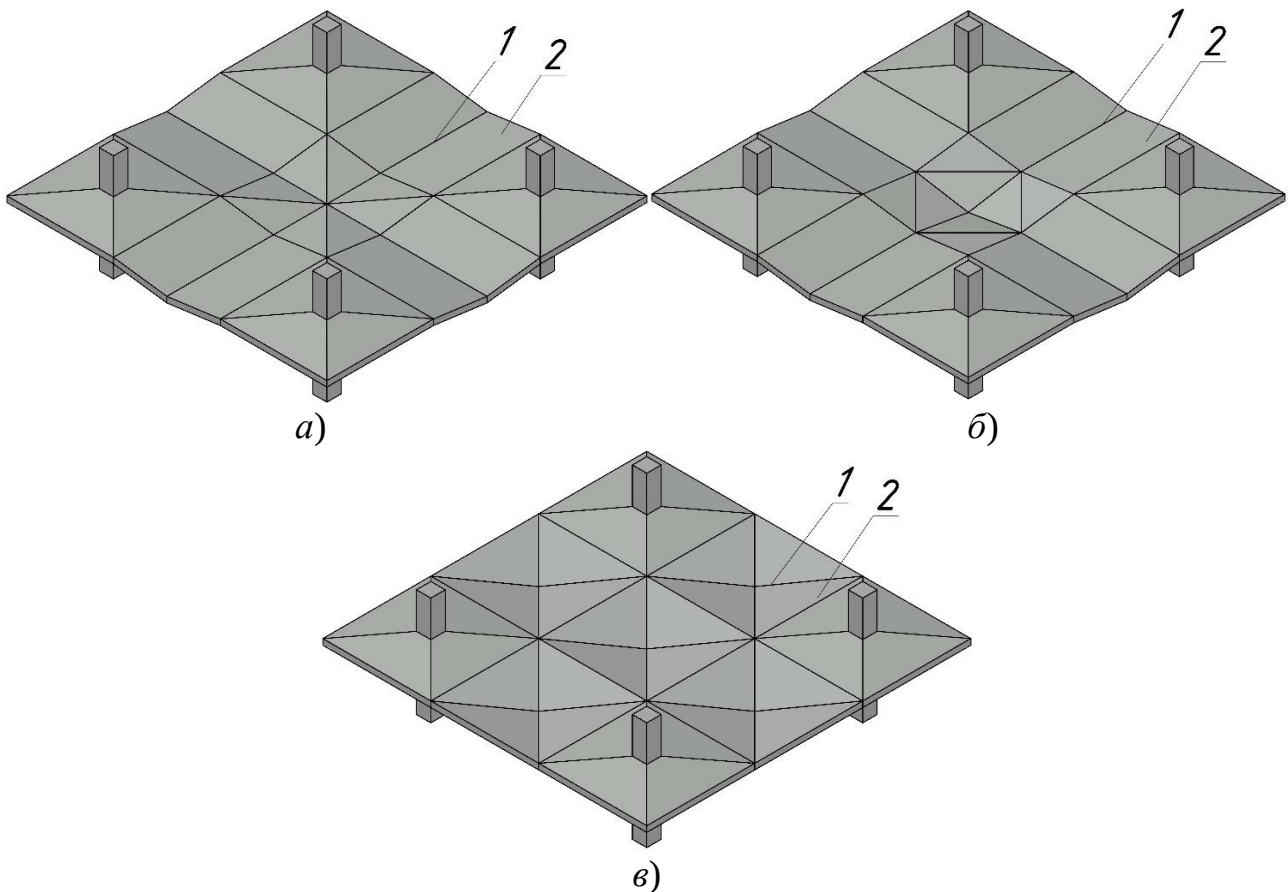


Рисунок 5 – Кінематично можливі моделі деформування збірною безкапітельно-безбалкового перекриття в граничному стані руйнування в межах блоку координатної сітки колон 6×6 м: а) – модель 1; б) – модель 2; в) – модель 3; 1 – лінійний пластичний шарнір; 2 – плоский диск

На основі проведеного аналізу моделей деформування збірною безкапітельно-безбалкового перекриття встановлено, що навантаження по ньому розподіляється між елементами залежно від схеми руйнування: внаслідок поділу перекриття на окремі плити в граничному стані навантаження від середньої плити буде передаватись на міжколонні плити, а далі з міжколонних плит – на надколонні плити, і тільки після цього – на колони. Установлена схема розподілу навантаження по перекриттю дозволяє в розрахунках розглядати кожну плиту перекриття окремо одну від одної з урахуванням їх взаємодії між собою.

Зокрема, на середню плиту діє рівномірно розподілене навантаження інтенсивністю q (рис. 6, а). Середня плита по контуру спирається на міжколонні плити. Вздовж контуру плити діє згинальний момент M_{sup} наперед заданого значення, що сприймається петлевим стиком.

Із середньої плити навантаження передається на міжколонні плити, які у свою чергу спираються двома сторонами на надколонні плити. Міжколонні плити сприймають такі навантаження (рис. 6, б): рівномірно розподілене інтенсивністю q , а також трикутно розподілене p навантаження вздовж стиків із середніми плитами від реакції опор цих плит. Розрахунковою схемою міжколонної плити буде плита, шарнірно оперта по двох протилежних сторонах, вздовж контуру якої діє згинальний момент M_{sup} .

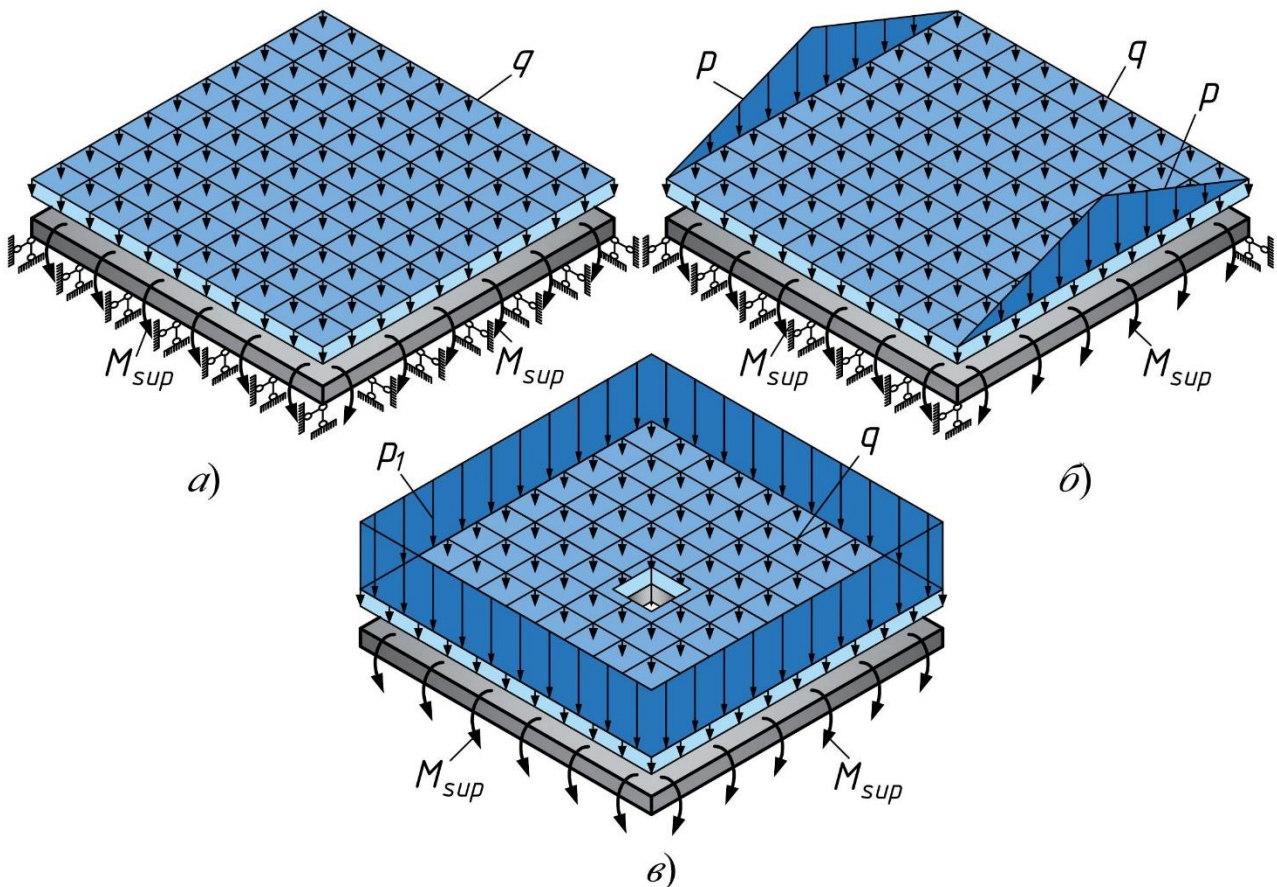


Рисунок 6 – Розрахункові схеми спирання та завантаження збірних плит безкапітельно-безбалкового перекриття: а) – середньої; б) – міжколонної; в) – надколонної; q – загальне (постійне і змінне) навантаження на перекриття; p – навантаження від реакції опор середніх плит; p_1 – навантаження від реакції опор міжколонних плит; M_{sup} – згинальний момент, який сприймається петлевим стиком

Надколонна плита сприймає рівномірно розподілене навантаження інтенсивністю q , а також рівномірно розподілене навантаження p_1 вздовж контуру від реакції обпирання міжколонних плит. Плита розглядається як жорстко закріплена по контуру колони в місці внутрішнього отвору, де влаштована обійма. Вздовж зовнішнього контуру плити діє згинальний момент M_{sup} (рис. 6, в).

У просторовому каркасі передача навантаження з безкапітельно-безбалкового перекриття на колони залежить як від розташування колони в каркасі, так і від локалізації змінного навантаження на перекритті. Тому колони зазнають складного деформування (косого стискання). В косо стиснутих залізобетонних колонах прямокутного чи квадратного профілю стиснута зона бетону може набувати різних форм (рис. 7): трикутної, трапецієподібної, прямокутної (частковий випадок), п'ятикутної або співпадати з формою перерізу у випадку, якщо весь переріз колони стиснутий. В роботі показано, що колонам збірної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель властивим є косо деформування з всіма перерахованими формами стиснутої зони у їх прямокутному перерізі.

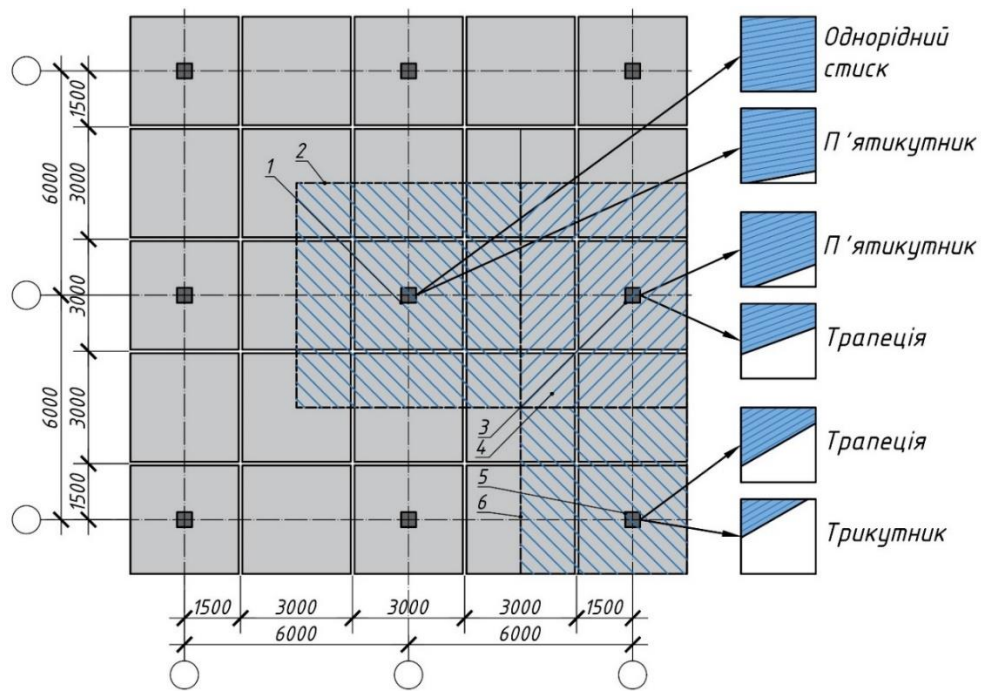


Рисунок 7 – Характерні ділянки завантаження та форми стиснутої зони колон збірної безкапітельно-безбалкової безкапітельної конструктивної системи: 1 – середня колона; 2 – вантажна ділянка середньої колони; 3 – крайня колона; 4 – вантажна ділянка крайньої колони; 5 – кутова колона; 6 – вантажна ділянка кутової колони

У **третьому розділі** на основі моделі граничного стану деформування перекриття викладено сутність запропонованого методу визначення несучої здатності залізобетонних плит безкапітельно-безбалкової каркасної конструктивної системи будівель кінематичним способом методу граничної рівноваги. У цьому методі застосоване рівняння рівноваги, яке виражає рівність віртуальних робіт зовнішніх W_{Ed} і внутрішніх W_{Rd} зусиль на відповідних можливих переміщеннях плити в напрямку дії зусиль. У загальному вигляді рівняння має вид:

$$W_{Ed} = W_{Rd}. \quad (1)$$

Розгорнутий вигляд рівняння (1) для випадку розрахунку несучої здатності плит прийнято таким:

$$\int_A q y_q dA + \int_l p(l) y_p dl = \sum_{i=1}^n M_{Rd,i} \varphi_i l_i + \sum_{j=1}^m M_{sup,j} \varphi_j l_j, \quad (2)$$

де q – розрахункове граничне значення рівномірно розподіленого навантаження по площі A частини плити, кН/м^2 ; y_q – віртуальне переміщення плити в напрямку дії навантаження q , м; $p(l)$ – розрахункове граничне значення розподіленого навантаження вздовж ділянки плити довжиною l , кН/м ; y_p – віртуальне переміщення плити в напрямку дії навантаження $p(l)$, м; $M_{Rd,i}$ – розрахункове граничне значення згинального моменту, який сприймається i -тим пластичним шарніром на одиницю його довжини, $\text{кН}\cdot\text{м/м}$; φ_i – взаємний кут повороту дисків в i -тому пластичному шарнірі; l_i – довжина i -того пластичного шарніра, м; n – кількість лінійних пластичних шарнірів; $M_{sup,j}$ – розрахункове граничне значення згинального моменту, який сприймається j -тим опорним

лінійним пластичним шарніром (петлевим стиком) на одиницю його довжини, $\text{кН}\cdot\text{м}/\text{м}$; φ_j – кут повороту диска плити в j -тому опорному лінійному пластичному шарнірі; l_j – довжина j -того опорного лінійного пластичного шарніра, м; m – кількість опорних лінійних пластичних шарнірів.

Середня плита являє собою оперту по контуру квадратну залізобетонну плиту армовану знизу арматурною сіткою з однаковою площею робочих стержнів в ортогональних напрямках. Для плити без обриву частини арматури підтвердженою експериментально є розрахункова схема 1 розламу плити на чотири диски з утворенням лінійних пластичних шарнірів по її діагоналям (рис. 8).

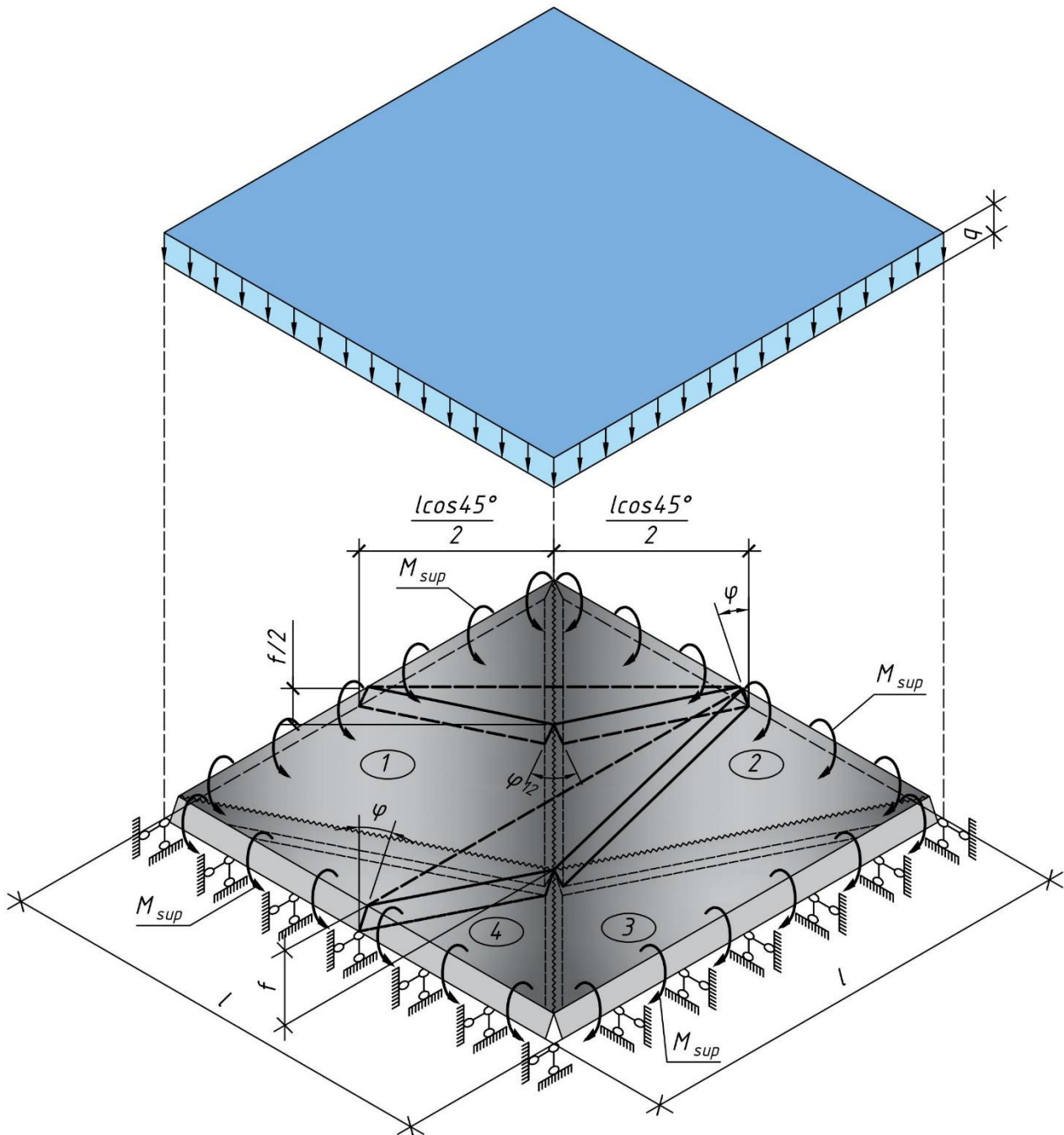


Рисунок 8 – Розрахункова кінематична схема 1 зламу середньої плити без обриву арматури

Граничне значення навантаження, яке може сприйняти середня плита за прийнятою кінематичною схемою 1 руйнування із заданим армуванням з рівняння (2) буде таким:

$$q = \frac{24(M_{Rd} + M_{sup})}{l^2}, \quad (3)$$

де

$$M_{Rd} = \frac{f_{yd} A_s}{l} \left(d - \chi \frac{f_{yd} A_s}{f_{cd} l} \right). \quad (4)$$

У (4) M_{Rd} – згинальний момент на одиницю ширини плити, який сприймається плитою в одному напрямку, кН·м/м; M_{sup} – згинальний момент на одиницю ширини плити, який сприймається лінійним пластичним шарніром (петлевим стиком), кН·м/м; d – робоча висота перерізу плити; $\chi = 0,52 \dots 0,59$ – параметр, котрий залежить від класу бетону.

Площу перерізу робочої арматури в одному з напрямків плити при заданому навантаженні запропоновано обчислювати за формулою

$$A_s = \frac{f_{cd} d}{f_{yd}} \left(\frac{1 - \sqrt{1 - 4\chi\bar{\alpha}_m}}{2\chi} \right) l, \quad (5)$$

в якій

$$\bar{\alpha}_m = \frac{ql^2 - 24M_{sup}}{24f_{cd}d^2}. \quad (6)$$

У випадку обриву частини арматури на відстані al від опор плити граничне значення навантаження, яке може сприйняти середня плита за кінематичною схемою 1 руйнування (рис. 8) для заданого армування, визначається за формулою

$$q = \frac{24(M_{Rd}(1 + 2a(k - 1)) + M_{sup})}{l^2}, \quad (7)$$

в якій M_{Rd} – обчислюється за формулою (4); a – частка ділянки плити з обривом арматури відносно довжини плити; k – частка площі робочої арматури, котра доводиться до опор, відносно всієї площі робочої арматури, що перетинається лінійним шарніром.

Площу перерізу робочої арматури при її обриві на відстані al від опор на одиницю довжини в одному з напрямків плити при заданому навантаженні запропоновано обчислювати за формулою (5), в якій

$$\bar{\alpha}_m = \frac{ql^2 - 24M_{sup}}{24(1 + 2a(k - 1))f_{cd}d^2}. \quad (8)$$

З використанням формули (7) обчислено, що розрахункове значення граничного навантаження q , яке може сприйняти у складі збірного безкапітельно-безбалкового перекриття середня плита (виготовлена з бетону класу C20/25, армована в розтягнутій зоні 12Ø8+7Ø8A400C, $k = 0,63$, $a = 0,188$), складає 54,59 кН/м². Без урахування сумісної роботи збірних плит у складі безбалкового перекриття за (7) отримано $q = 31,93$ кН/м². Отже, врахування сумісної роботи збірних плит у складі безбалкового перекриття дозволяє використовувати резерв несучої здатності середньої плити до 42%.

Аналогічні формули для обчислення граничного значення навантаження q отримані для міжколонної та надколонної плит.

За розробленою в розділі 3 методикою здійснено розрахунок необхідної кількості робочої арматури збірних плит безкапітельно-безбалкового перекриття. Перекриття завантажене постійним навантаженням від власної маси $g = 4$ кПа та змінним навантаженням $v = 5$ кПа. При розрахунку використані такі матеріали: бетон класу C20/25 та арматура класу A500C. Розрахунок виконувався за залежностями, розробленими для плит без обриву арматури. Для порівняння розрахунок робочої арматури також був здійснений із використанням методу скінченних елементів за допомогою програмного комплексу RFEM6.04.0008. Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

На основі даних таблиці 1 можна відмітити, що розрахунок за методом скінченних елементів суттєво завищує необхідну площу робочої арматури для безкапітельно-безбалкового перекриття порівняно з розробленим методом.

Таблиця 1 – Результати розрахунку необхідної площі робочої арматури збірних плит безкапітельно-безбалкового перекриття

Тип плити	Площа $A_{s,1}$ робочої арматури, обчислена за формулами розділу 3, мм ²	Середня площа $A_{s,2}$ робочої арматури, обчислена RFEM6.04.0008, мм ²	$\Delta = \frac{A_{s,2} - A_{s,1}}{A_{s,2}}, \%$
Середня	—	101,30	—
Міжколонна	157,15	201,87	22,2
Надколонна	457,45	857,67	46,7

У **четвертому розділі** викладено дослідження роботи колон збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель, які зазнають косого стискання. Показано, що колони у складі безкапітельно-безбалкового каркасу можуть зазнавати всіх випадків деформування. Тому при моделюванні їх напружено-деформованого стану враховані такі можливі випадки деформування та передбачені можливості отримання часткових розрахункових моделей для розв'язання задач несучої здатності колон.

У моделюванні роботи залізобетонних елементів у граничному стані введено поняття критерію їх міцності. Під цим поняттям мається на увазі здатність конструкції чинити опір руйнуванню, яка не залежить від способу прикладання навантаження і є характеристикою конструкції, на відміну від несучої здатності, котра являє собою навантаження на конструкцію, перевищення якого приводить до необмежених пластичних деформацій.

При нелінійному моделюванні роботи залізобетонних елементів на основі повної діаграми деформування бетону застосовано екстремальний критерій міцності. Для згинальних та стиснутих елементів, у яких в граничному стані руйнування починається із досягнення межі текучості в розтягнутій арматурі, тобто, коли значення $\sigma_s = f_{yd}$ є постійним, застосування екстремального критерію дозволило отримати аналітично розраховані граничні значення деформацій бетону найбільш стиснутої фібри залізобетонного елемента.

Для стиснутих залізобетонних елементів з малими ексцентриситетами прикладання поздовжньої сили від зовнішніх навантажень, тобто таких, у яких в момент руйнування напруження в арматурі розтягнутої зони не досягають межі текучості, розрахункові граничні значення деформацій бетону найбільш стиснутої фібри перерізу будуть перевищувати значення, визначені за умови $\sigma_s = f_{yd}$. Це обґрунтовано тим, що в граничному стані елемента напруження в розтягнутій арматурі зростають при її роботі у пружній стадії, відповідно рівнодійна зусиль в арматурі також збільшується, тому для її врівноважування рівнодійна в стиснутій зоні перерізу також буде зростати за рахунок наповнення епюри напружень та більш інтенсивного деформування найбільш стиснутих фібр бетону. В певний момент це наповнення досягне свого максимуму, що буде відповідати найбільшому значенню рівнодійної зусиль в бетоні стиснутої зони. В цей момент відбудеться руйнування елемента як такого, в якому вичерпані міцнісні та деформативні якості бетону стиснутої зони.

Наведені визначення для описаного екстремального критерію міцності не дозволяє отримати аналітичної залежності для розв'язання задач несучої здатності колон, оскільки функція внутрішнього поздовжнього зусилля являє собою функцію багатьох змінних. Тому за критерій руйнування залізобетонного елемента прийнято максимальну міцність бетону його стиснутої зони. Реалізація критерію продемонстрована для випадку позацентрального завантаження залізобетонної колони прямокутного профілю (рис. 9). Моделювання напружено-деформованого стану залізобетонних позацентрально стиснутих колон ґрунтується на засадах, гармонізованих з чинними нормами: описання процесу деформування стиснутого бетону прийнято дробово-раціональну функцію $\sigma_c - \epsilon_c$, зв'язок між напруженнями і деформаціями в арматурі описується дволінійною діаграмою з горизонтальною верхньою гілкою.

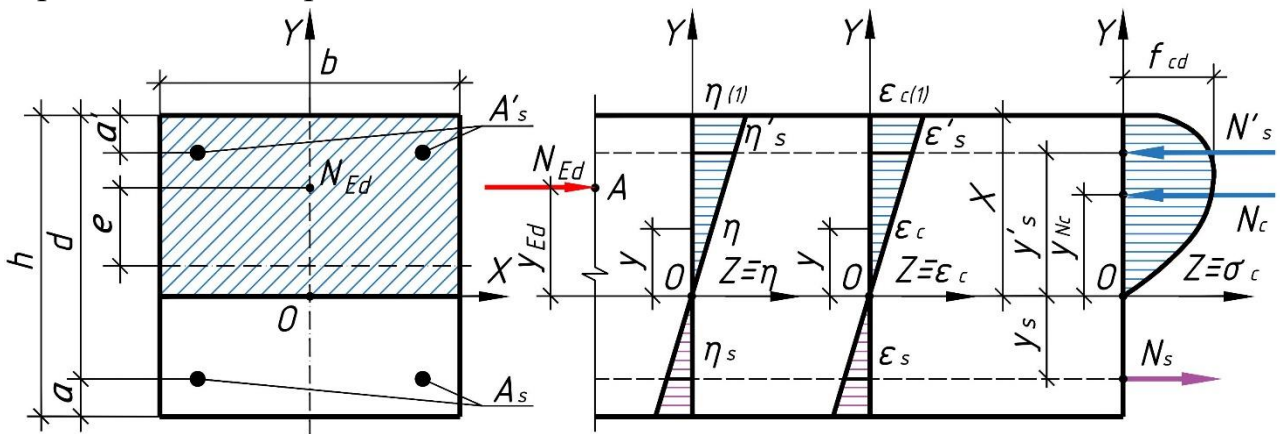


Рисунок 9 – Розрахункова схема перерізу позацентрально стиснутої залізобетонної колони при неоднорідному деформуванні

Розрахункові рівняння рівноваги у площині координатної осі Y , перпендикулярної до нейтральної лінії (рис. 9), записано у такому вигляді:

$$\sum Z = 0: N_{Ed} - N_c - N'_s + N_s = 0; \quad (9)$$

$$\sum M_A = 0: N_c(y_{Ed} - y_{Nc}) + N'_s(y_{Ed} - y'_s) + N_s(y_{Ed} - y_s) = 0, \quad (10)$$

де N_{Ed} – поздовжня зовнішня сила; N_c – рівнодійна напружень в бетоні стиснутої зони; N'_s, N_s – рівнодійні зусиль в стиснутій та розтягнутій арматурі відповідно; y_{Nc} – координата точки прикладання зусилля N_c ; y'_s – координата точки прикладання зусилля N'_s , $y'_s = X - a'$; y_s – координата прикладання зусилля N_s , $y_s = X - d$; y_{Ed} – координата точки прикладання сили N_{Ed} , $y_{Ed} = X - 0,5h + e$; X – висота стиснутої зони бетону; e – ексцентриситет прикладання зовнішньої сили N_{Ed} відносно геометричного центра перерізу колони.

Рівнодійна зусиль в бетоні стиснутої зони визначається за залежністю:

$$N_c = f_{cd} b x \omega, \quad (11)$$

де ω – коефіцієнт повноти епюри напружень у бетоні стиснутої зони.

Рівнодійні зусиль в арматурі стиснутої та розтягнутої зон обчислюються залежно від напружень

$$N'_s = \sigma'_s A'_s, \quad N_s = \sigma_s A_s. \quad (12)$$

Напруження в арматурі визначається за дволінійним законом її деформування залежно від її деформацій у перерізі колони (рис. 9):

$$\sigma'_s = E'_s \varepsilon'_s \leq f'_{yd}, \quad \sigma_s = E_s \varepsilon_s \leq f_{yd}, \quad (13)$$

деформації арматури

$$\varepsilon'_s = \frac{\varepsilon_{c(1)} y'_s}{X}, \quad \varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{c(1)} y_s}{X}. \quad (14)$$

Критерій повного використання опору бетону стиснутої зони залізобетонного елемента, відповідно до оптимізаційних положень про екстремуми, за своєю фізичною сутністю є критерієм руйнування бетону стиснутої зони при максимальному значенні зусилля N_c , тобто при максимальному наповненні епюри напружень стиску. Визначення критерію реалізується шляхом дослідження функції $N_c = f(\varepsilon_{c(1)})$ на екстремум, що еквівалентно дослідженню функції коефіцієнта ω повноти епюри напружень в бетоні стиснутої зони у вигляді умов:

$$\omega(\varepsilon_{co}) = \max \omega(\varepsilon_{c(1)}), \quad \omega(\eta_o) = \max \omega(\eta_{(1)}), \quad (15)$$

де розрахункове граничне значення деформації бетону на стиск (або її рівень) ε_{co} ($\eta_o = \varepsilon_{co} / \varepsilon_{c1,cd}$) перевищує значення деформацій ε_{cu} ($\eta_u = \varepsilon_{cu} / \varepsilon_{c1,cd}$), що відповідають екстремальному критерію міцності даного перерізу при сталому значенні напружень текучості в арматурі.

Застосування критерію (15) є прийнятним за умови, що відповідні деформації ε_s розтягнутої арматури в перерізі залізобетонного елемента знаходяться на визначеному проміжку її деформацій $0 < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{so}$ пружної роботи арматури. Опираючись на запропонований критерій, для визначення значень ε_{co} (η_o) функція коефіцієнта повноти епюри напружень була досліджена на екстремум за рівнянням

$$\frac{\partial \omega}{\partial \eta_{(1)}} = 0. \quad (16)$$

Розв'язком рівняння (16) є залежність, яка дозволяє визначати граничні деформації бетону залежно від коефіцієнта k фізико-механічних властивостей бетону:

$$\eta_o = \frac{e^\lambda - 1}{k - 2}, \quad k \neq 2, \quad (17)$$

де λ – корінь характеристичного рівняння

$$e^\lambda (2k(k-2)(\lambda-1) + 2\lambda - 3) - e^{3\lambda} + 2e^{2\lambda} + 2k(k-2) + 2 = 0. \quad (18)$$

Для значення $k = 2$

$$\frac{\partial \omega}{\partial \eta_{(1)}} = 1 - \frac{2\eta_{(1)}}{3}. \quad (19)$$

Застосування до виразу (19) рівняння (16), показало, що $\eta_o = 1,5$. Графічно результати дослідження функції $\omega = f(\eta_{c(1)}, \dots)$ на екстремум являють собою діаграму граничних значень рівнів фібрових деформацій бетону прямокутної стиснутої зони залізобетонних елементів у момент досягнення епюрою напружень в бетоні стиснутої зони максимального наповнення (рис. 10). Отриману діаграму можна використовувати у розрахунках.

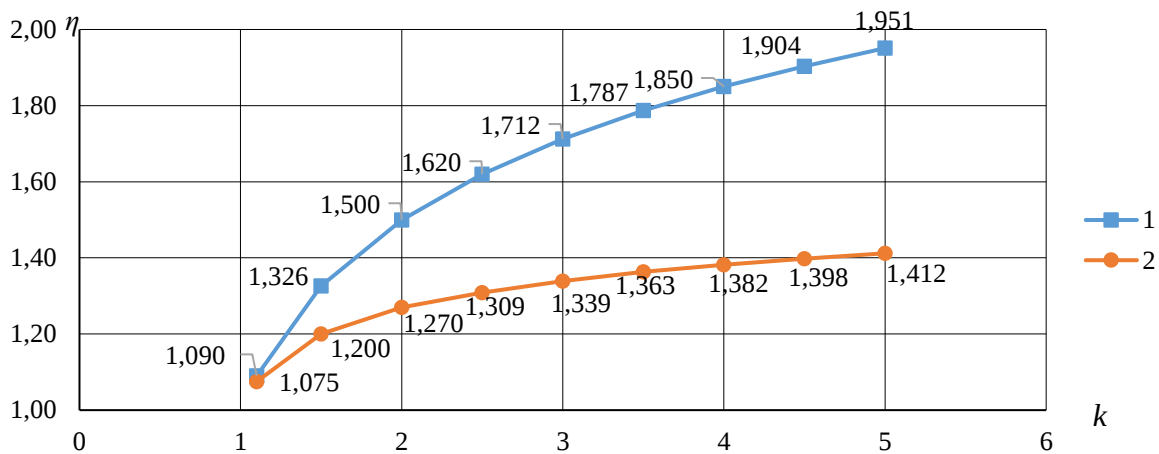


Рисунок 10 – Діаграми граничних значень рівнів фібрових деформацій бетону прямокутної стиснутої зони поперечного перерізу позакентрово завантаженої колони: 1 – η_o за (15) при $\sigma_s < f_{yd}$ та 2 – η_u за екстремальним критерієм при $\sigma_s = f_{yd}$ залежно від параметра k

На рисунку 10 наведена також діаграма граничних значень бетону залізобетонних елементів, отриманих на основі екстремального критерію міцності. Різниця між наведеними значеннями при однакових значеннях k демонструє резерви міцності бетону в складі залізобетонного елемента, арматура якого працює в пружній стадії.

Таким чином, сумісне застосування екстремального критерію та критерію повного використання опору бетону стиснутої зони (15) при моделюванні напружено-деформованого стану косо стиснутих залізобетонних колон дозволяє реалізувати розрахунок їх несучої здатності. Тобто, дає можливість аналітично розв'язувати задачі міцності стиснутих залізобетонних елементів при їх неоднорідному деформуванні для всіх випадків прикладання зовнішнього навантаження.

Викладені в четвертому розділі дослідження косо стиснутих колон прямокутного профілю, які, зокрема, зазнають однорідного напружено-

деформованого стану, показали, що максимальної несучої здатності колона досягає за умов, коли рівнодійна N_c набуває максимального значення. Спираючись на це, за критерій руйнування колони в цьому випадку прийнято досягнення максимальної міцності стиснутим бетоном в перерізі елемента у вигляді умови (15). Застосовуючи цей критерій, залежність для визначення невідомої величини $\varepsilon_{co}(\eta_o)$ при однорідному деформуванні перерізу залізобетонної колони отримана шляхом диференціювання функції $\omega = f(\eta_{c(1)}, \dots)$.

Наприклад, для значення $k = 2$ отримано, що

$$\eta_o = \frac{3\gamma(2\gamma - 1)}{2(1 - 3\gamma + 3\gamma^2)}, \quad (20)$$

де $\gamma = X/h$ – відносна висота епюри напружень стиску.

Графічно результати дослідження функції $\omega = f(\eta_{c(1)}, \dots)$ на екстремум представлені у вигляді діаграм (рис. 11) для їх використання у розрахунках.

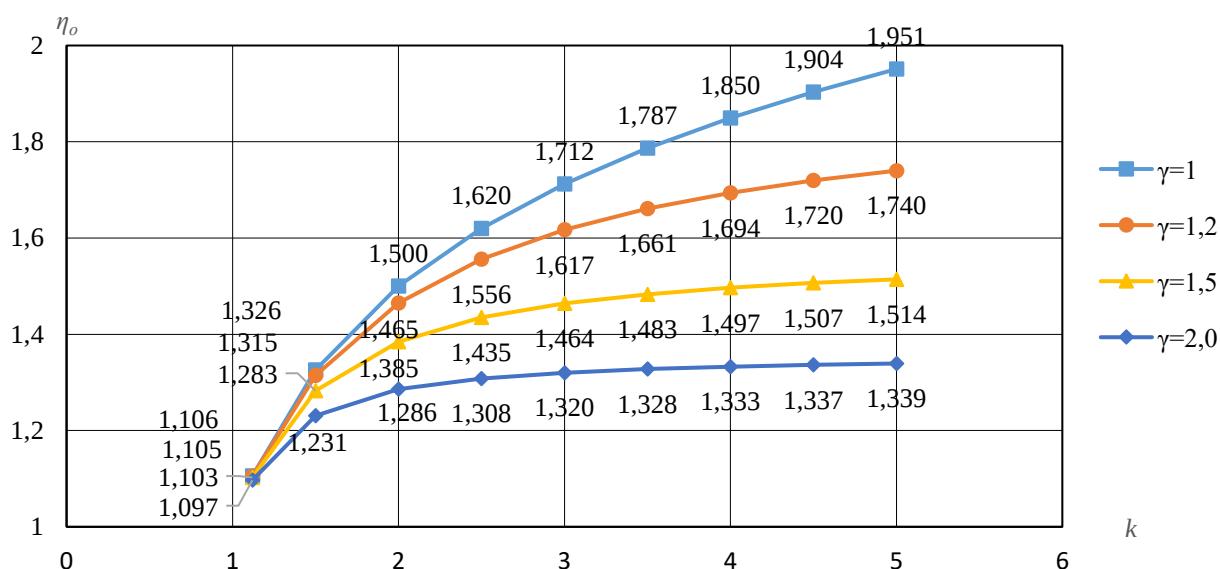


Рисунок 11 – Діаграми граничних значень рівнів фібрових деформацій бетону η_o в стиснутому поперечному перерізі позацинровано стиснутої колони прямокутного профілю при її однорідному деформуванні залежно від параметрів k та γ

Слід відмітити, що при умові $\gamma = 1$, граничні значення відносних деформацій η_o бетону стиснутого прямокутного перерізу співпадають зі значеннями, отриманими для залізобетонних елементів з прямокутною формою стиснутої зони бетону за їх неоднорідного деформування (рис. 10).

В п'ятому розділі розроблені для збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель пропозиції практичних розрахунків несучої здатності косо стиснутих колон, в яких при їх неоднорідному деформуванні можливе утворення трьох форм стиснутої зони бетону: трикутної, трапецієподібної та п'ятикутної. Розрахункова схема зусиль напружень та деформацій в перерізі косо стиснутої колони з трикутною формою стиснутої зони бетону наведено на рисунку 12.

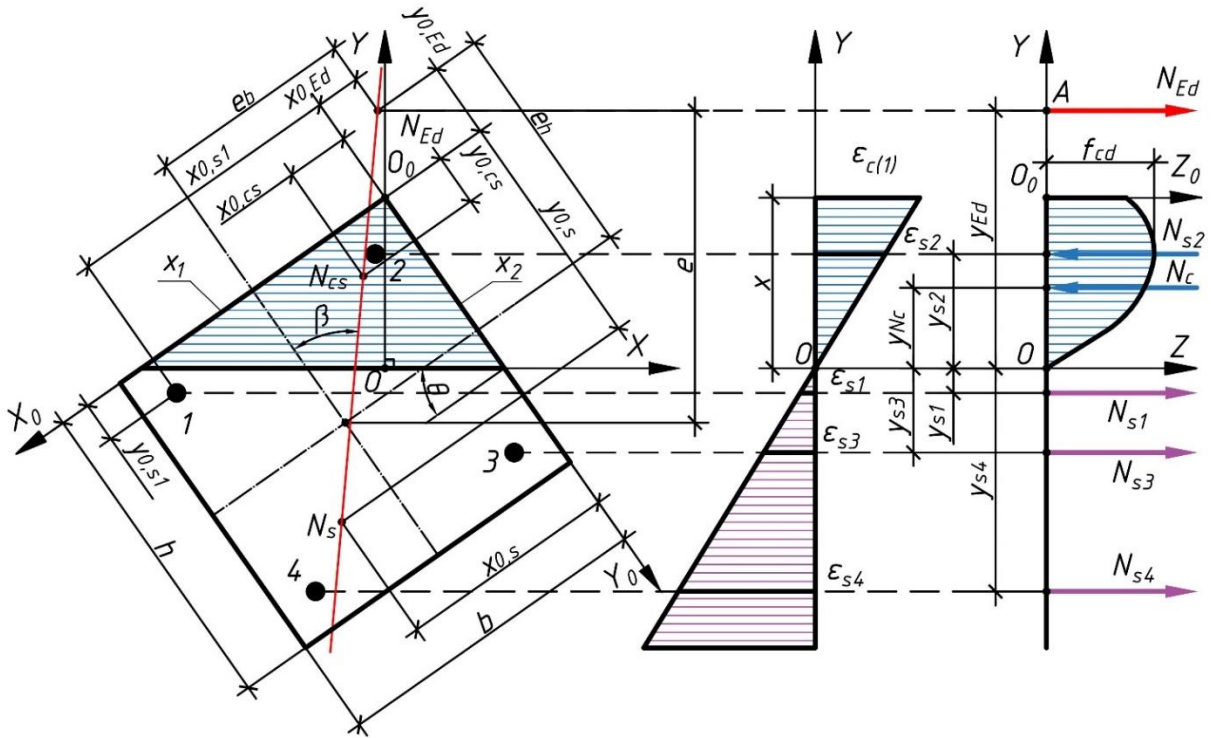


Рисунок 12 – Розрахункова схема зусиль, напружень та деформацій у перерізі косо стиснутої залізобетонної колони з трикутною формою стиснутої зони в стадії руйнування

Для виведення розрахункових формул загальні рівняння рівноваги зусиль у координатній площині YOZ , розташованій таким чином, що вісь Y перетинає найбільш стиснуте ребро перерізу і перпендикулярна до нейтральної лінії (рис. 12), записані у такому вигляді:

$$\sum Z = 0: N_c + \sum_{i=1}^n N_{si} - N_{Ed} = 0; \quad (21)$$

$$\sum M_A = 0: N_c(y_{Ed} - y_{Nc}) + \sum_{i=1}^n N_{si}(y_{Ed} - y_{si}) = 0. \quad (22)$$

У рівняннях (21) та (22) N_{si} – зусилля в i -тому арматурному стержні; n – кількість арматурних стержнів у перерізі; y_{si} – координата точки прикладання зусилля N_{si} .

Зусилля N_c для трикутної форми стиснутої зони бетону обчислюється за залежністю:

$$N_c = \frac{f_{cd} X^2}{\sin 2\theta} \omega_1, \quad (23)$$

в якій θ – кут нахилу нейтральної лінії до горизонтальної осі симетрії перерізу; ω_1 – коефіцієнт повноти епюри напружень у бетоні стиснутої зони.

Рівнодійні N_{si} визначаються на основі виразу (12). Напруження σ_{si} у i -тому арматурному стержні визначається за (13) залежно від його деформацій у перерізі косо стиснутої колони:

$$\varepsilon_{si} = \frac{\varepsilon_{c(1)} y_{si}}{X}; \quad (24)$$

$$y_{si} = X - x_{0,si} \sin \theta - y_{0,si} \cos \theta. \quad (25)$$

Координата точки прикладання сили N_{Ed}

$$y_{Ed} = X + e - 0,5b \sin \theta - 0,5h \cos \theta, \quad (26)$$

де e – ексцентриситет прикладання сили N_{Ed} відносно геометричного центра поперечного перерізу колони, $e = e_b \sin \theta + e_h \cos \theta$; e_b , e_h – ексцентриситети прикладання сили N_{Ed} відносно геометричного центра перерізу колони в напрямку b та h відповідно.

При розв’язанні рівнянь (21) – (22) з чотирма невідомими, а саме: $\eta_{(1)}$, X , θ , N_{Ed} , застосовані дві додаткові умови.

У якості першої умови – критерій максимальної міцності бетону стиснутої зони залізобетонного елемента у вигляді (15). Опираючись на цей критерій, значення ε_{co} (η_o) обчислювались з рівняння:

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial \eta_{(1)}} = 0. \quad (27)$$

Також в четвертому розділі показано, що досить зручно при розв’язанні рівнянь (21) – (22) використовувати діаграму $\eta - k$ (рис. 13), як результат диференціювання за (27).

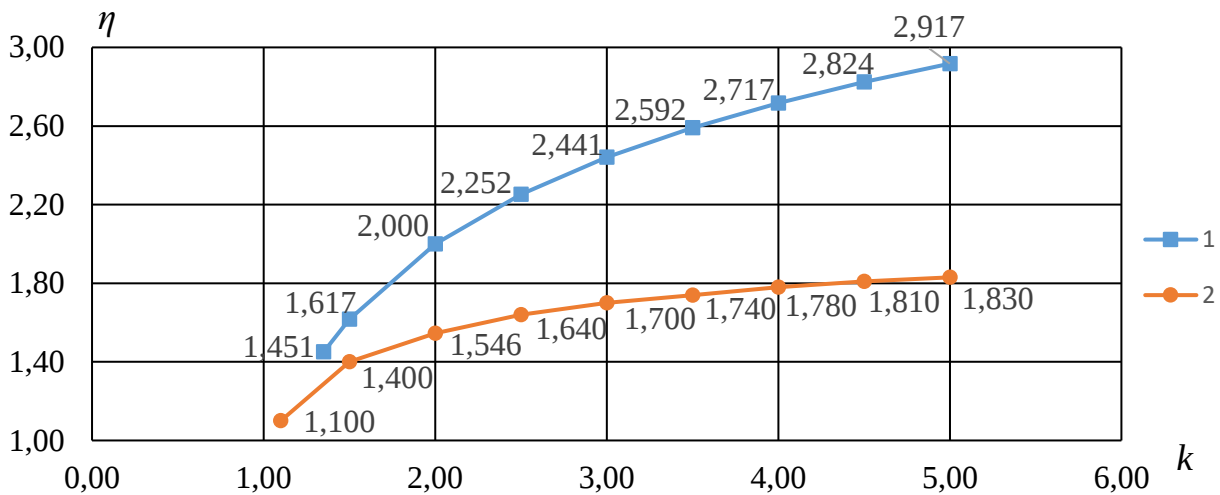


Рисунок 13 – Діаграми граничних значень рівнів фібрових деформацій бетону трикутної стиснутої зони поперечного перерізу косо стиснутої колони:

1 – η_o за (16) при $\sigma_s < f_{yd}$ та 2 – η_u за екстремальним критерієм при $\sigma_s = f_{yd}$ залежно від параметра k

У якості другої умови використано теорему про розташування внутрішніх зусиль N_s і N_c та зовнішньої сили N_{Ed} в одній площині. На основі цієї умови прийнято, що:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{x_{0,s} - x_{0,cs}}{y_{0,s} - y_{0,cs}} = \frac{x_{0,s} - x_{0,Ed}}{y_{0,s} - y_{0,Ed}}, \quad (28)$$

де $x_{0,s}$, $y_{0,s}$ – координати точки перетину лінії дії рівнодійної N_s у розтягнутій зоні перерізу з площиною поперечного перерізу колони; $x_{0,cs}$, $y_{0,cs}$ – координати точки перетину лінії дії рівнодійної зусиль $N_{cs} = N_c + N'_s$ (в бетоні та

стиснутій арматурі) в стиснутій зоні перерізу з площиною поперечного перерізу колони; $x_{0,Ed}$, $y_{0,Ed}$ – координати точки перетину лінії дії поздовжньої сили N_{Ed} від зовнішніх навантажень з площиною поперечного перерізу колони.

Отримані у розділі аналітичні залежності застосовані при розробленні практичної методики розрахунку несучої здатності косо стиснутих колон збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель, котра є універсальною: вона може застосовуватись із використанням нелінійної залежності «напруження-деформації» в бетоні стиснутої зони сумісно з критерієм повного використання опору стиснутої зони бетону або з використанням умови рівномірного розподілу напружень в стиснутій зоні бетону сумісно з деформаційним критерієм.

За розробленою методикою виконано розрахунок несучої здатності 25 колон прямокутного перерізу (250×350 мм). Колони виготовлені з бетону із $f_{cm} = 25$ МПа. Межа текучості поздовжньої арматури $\sigma_y = 420$ МПа. Результати порівнянь теоретичного розрахунку колон з експериментальними даними наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння результатів теоретичних розрахунків несучої здатності косо стиснутих залізобетонних колон з експериментальними даними

Статистичний показник	$\theta_{teor} / \theta_{exp}$	X_{teor} / X_{exp}	$N_{Em,teor} / N_{Em,exp}$
Математичне очікування	0,8960	0,9329	0,9221
Середнє арифметичне відхилення	0,0774	0,0642	0,0368
Дисперсія	0,0090	0,0066	0,0025
Середнє квадратичне відхилення	0,0949	0,0812	0,0500
Коефіцієнт варіації	0,1059	0,0870	0,0542

Результати, наведені в таблиці 2, підтверджують доцільність застосування розробленої методики розрахунку несучої здатності колон в практиці їх проектування.

У **шостому розділі** викладені результати проведених експериментальних випробувань. Метою випробувань було оцінювання несучої здатності збірних натурних залізобетонних плит перекриття і колон каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель та вивчення їх роботи під навантаженням для підтвердження можливості застосування розроблених в розділах 3, 4, 5 схем їх руйнування.

Були випробувані натурні зразки середньої плити ПС-1, міжколонної плити ПМ-1 та надколонної плити ПН-1 номінальними розмірами 2980×2980×160 мм. Плити були виготовлені з важкого бетону класу за міцністю С20/25. Для армування плит ПС-1, ПМ-1 та ПН-1 в якості робочої арматури відповідно використано арматурні стержні Ø8, Ø10 та Ø14 класу А400С.

Навантаження до плит прикладалось ступенями по 10% від розрахункового руйнівного навантаження з витримкою по 10 хв. на ступені (рис. 14). Під час випробування плити були доведені до руйнування.



Рисунок 14 – Загальний вигляд стендів випробування плит: а) ПС-1; б) ПМ-1

Схеми випробування збірних плит безкапітельно-безбалкового перекриття також були змодельовані за допомогою програмного комплексу RFEM6.04.0008 на основі методу скінченних елементів. Порівняння результатів розрахунку за методикою розділу 3 та за методом скінченних елементів з експериментальними даними (табл. 3) свідчить на користь розробленого в розділі 3 методу розрахунку.

Таблиця 3 – Порівняння експериментальних даних випробувань збірних плит з результатами розрахунків

Тип плити	Руйнівне навантаження			Похибка розрахунку за розділом 3, %	Похибка розрахунку за RFEM, %
	з експерименту, кН	з розрахунку за розділом 3, кН	з розрахунку за RFEM, кН		
ПС-1	211,82	109,91	105,49	48,1	50,2
ПМ-1	156,90	122,92	121,85	21,7	22,3
ПН-1	266,70	240,07	200,51	10,0	24,8

З метою більш детального вивчення роботи надколонних плит безкапітельно-безбалкового перекриття збірного каркасу будівель під навантаженням, а також для підтвердження розроблених в розділі 3 схем їх руйнування проведені експериментальні дослідження трьох натурних надколонних плит серії ПН-2. Плити були виготовлені з важкого бетону класу С25/30. Для армування плит в якості робочої арматури використані стержні Ø18A500С.

У плитах в лабораторії на бетон та на арматурні стержні в межах однієї чверті плити наклеювались тензорезистори базою 50 мм та 20 мм відповідно. Випробовування їх плит навантаженням проводилися на спеціально сконструйованому стенді відповідно до розробленої схеми (рис. 15).

Випробування надколонних плит ПН-2-1, ПН-2-2 та ПН-2-3 здійснено до значень зовнішнього навантаження відповідно 320 кН ($0,55F_{Rd}$), 360 кН ($0,6F_{Rd}$) та 400 кН ($0,7F_{Rd}$), де $F_{Rd} = 580$ кН – розрахункове значення руйнівного навантаження, обчислене за розробленою методикою для плит без обриву арматури.

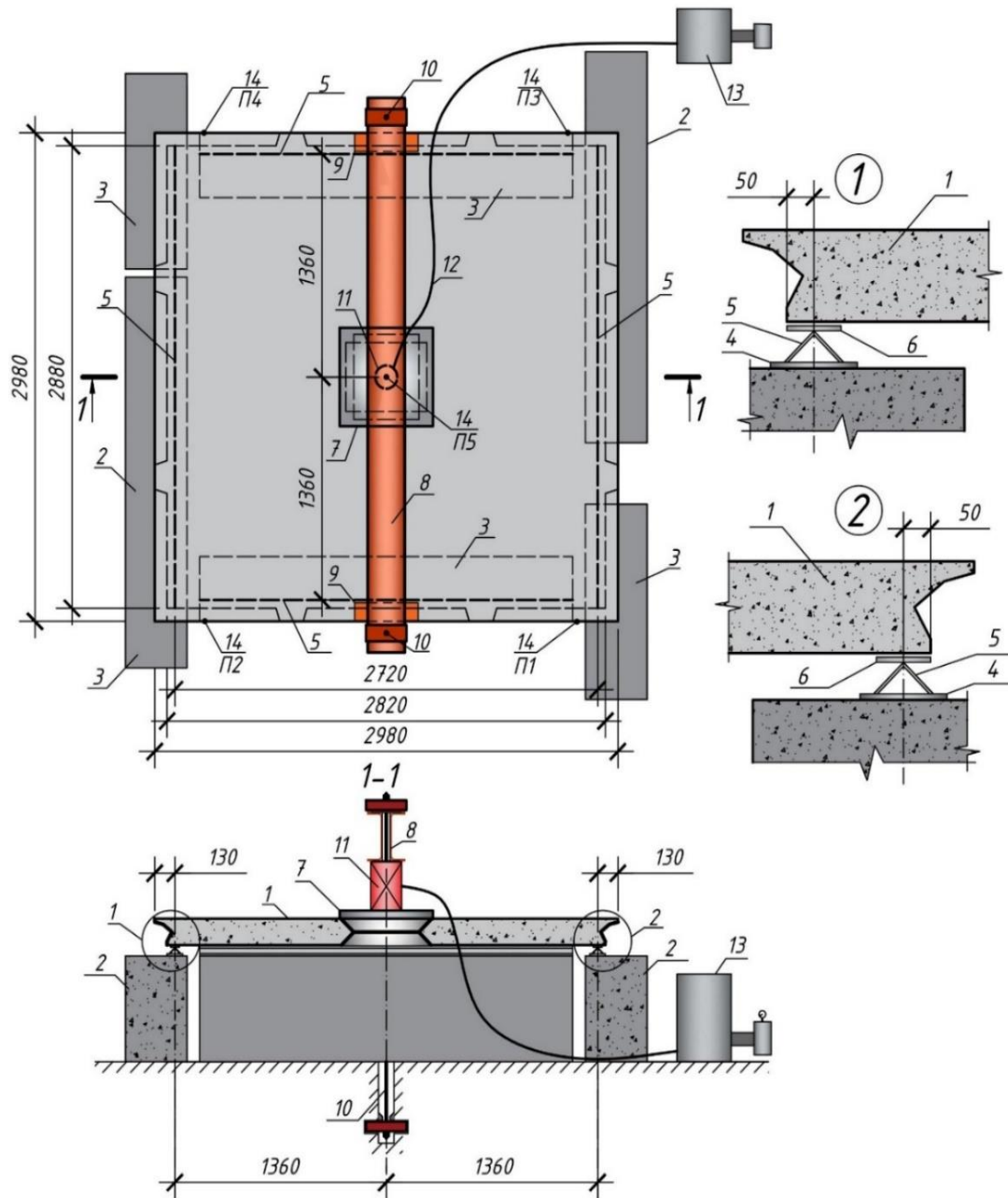


Рисунок 15 – Схема випробування надколонних плит серії ПН-2:

- 1 – плита ПН-2; 2 – опорний елемент; 3 – опорний елемент; 4 – сталеві підкладки; 5 – шарнірно-нерухома опора; 6 – сталеві підкладки; 7 – сталеві пластини; 8 – траверса; 9 – тимчасова опора для траверси; 10 – тяг; 11 – гідравлічний домкрат $F = 500$ кН; 12 – масляний трубопровід; 13 – насосна станція; 14 – прогиноміри годинникового типу 6ПАО

В експериментах від самого початку навантаження плит максимальні деформації спостерігались вздовж діагоналей плит і відмінність їх від деформацій в поздовжньому й поперечному напрямках при збільшенні навантаження значно зростала. У бетоні розподіл деформацій в різних напрямках не мав суттєвої різниці. Вказана тенденція наочно продемонстрована на побудованих полях розподілу деформацій по площі плит за результатами експериментальних досліджень (рис. 16).

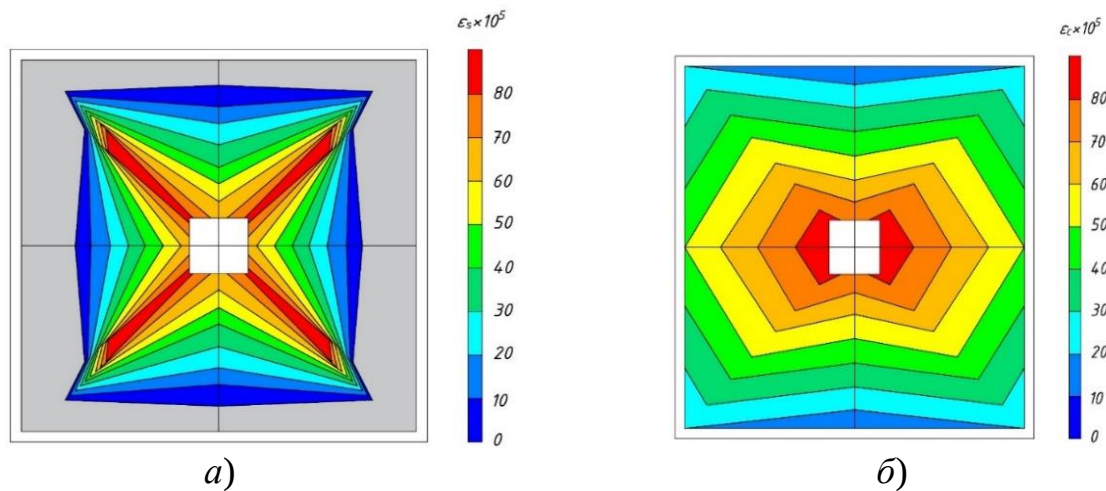


Рисунок 16 – Експериментальні поля деформацій робочої розтягнутої арматури (а) та стиснутого бетону (б) надколонної плити ПН-2-1 при навантаженні 320 кН ($0,55F_{Rd}$)

Для дослідження роботи косо стиснутих колон збірного безкапітельно-безбалкового каркасу було випробувано 10 зразків залізобетонних колон квадратного профілю з дрібнозернистого бетону. Усі зразки колон мали висоту 1 м та розміри поперечного перерізу 125×125 мм. В якості робочої поздовжньої арматури каркасів використана арматура класу А240С діаметрами 8, 10 та 12 мм та конструктивна арматура $\varnothing 6A240C$. За даними випробувань бетонних призм $f_{cm} = 15,7$ МПа. У застосованій арматурі $\sigma_y = 285$ МПа, $\sigma_y = 278$ МПа та $\sigma_y = 238$ МПа відповідно для стержнів $\varnothing 8$, $\varnothing 10$ та $\varnothing 12$.

Випробування експериментальних зразків колон на дію косо стиску (рис. 17) здійснювалося за розробленою методикою на гідравлічному пресі ПГ-125.

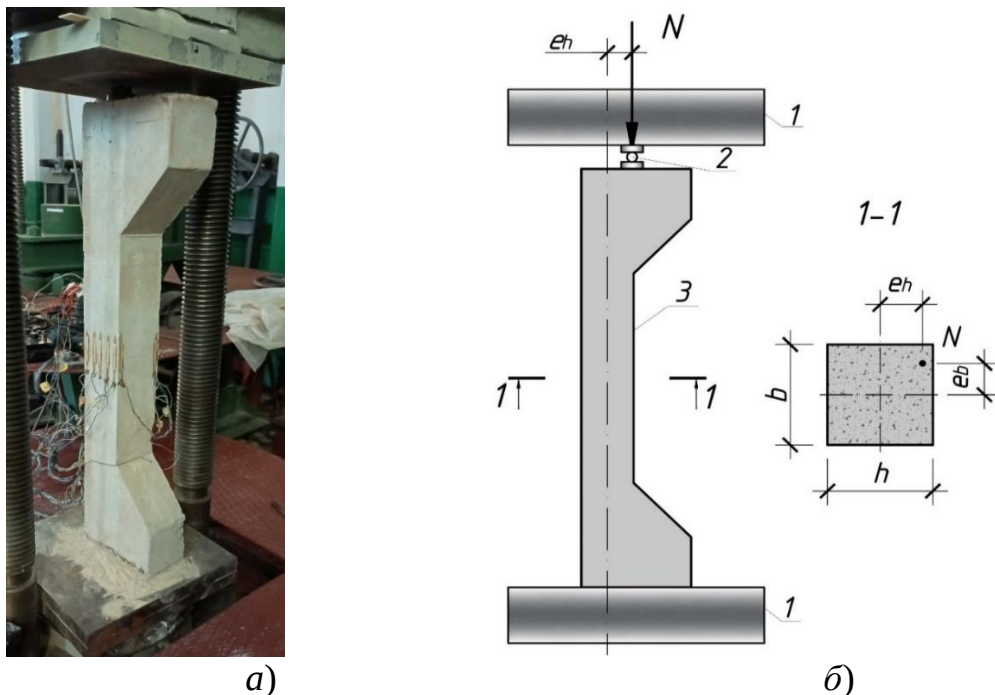


Рисунок 17 – Загальний вигляд дослідного зразка колони під час випробування (а) та схема його завантаження (б): 1 – плити преса; 2 – шарнір; 3 – дослідний зразок

Результати випробувань показали, що в дослідних колонах переважно утворюється трапецієподібна форма стиснутої зони бетону (рис. 18, б). Наявність трикутної форми стиснутої зони в ході випробувань експериментальних зразків не зафіксована, а п'ятикутна (рис. 18, а) виникала при найменших значеннях ексцентриситетів.

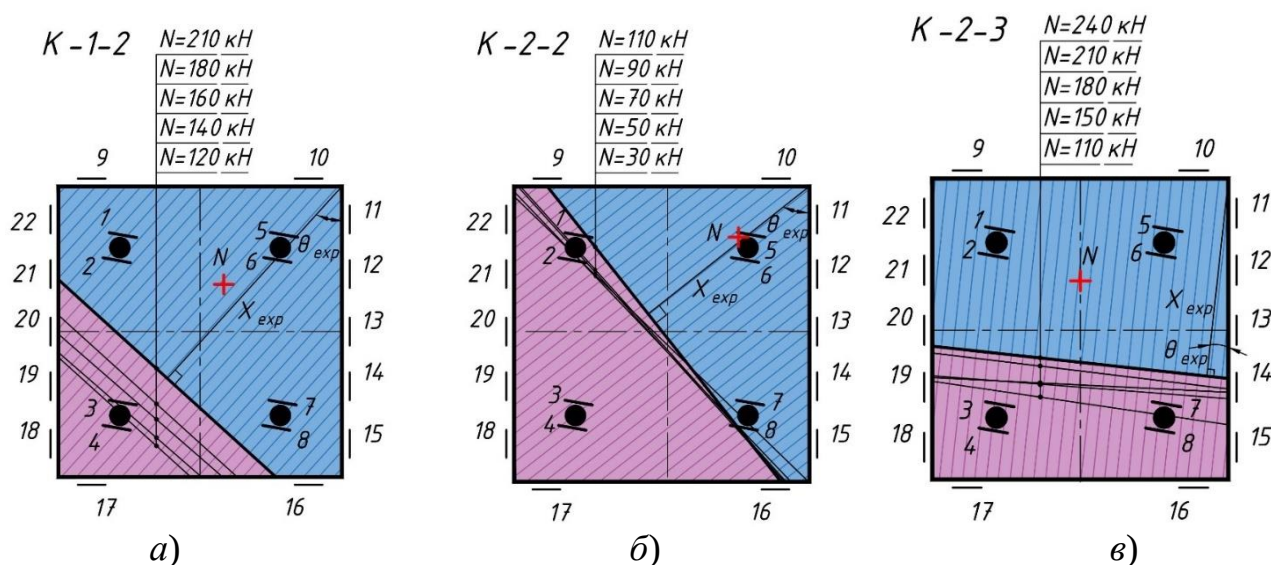


Рисунок 18 – Зміна положення нейтральної лінії в процесі завантаження колон та форми їх стиснутої зони в момент руйнування: 1-17 – номери тензодатчиків

З рисунка 18 видно, що в колонах під час всього їх завантаження відбувається практично паралельне з невеликими відхиленнями переміщення нейтральної лінії в бік найбільш стиснутого ребра. Виключення спостерігались при переході однієї форми в іншу у вигляді стрибкоподібних поворотів нейтральної лінії, що пояснюється миттєвим врівноваженням внутрішніх та зовнішніх сил при зміні форми стиснутої зони.

Дані експериментальних випробувань колон із дрібнозернистого бетону були порівняні з результатами розрахунку міцності колон на косий стиск за методикою, розробленою в розділі 5 для конструкцій з важкого бетону (табл. 4).

Таблиця 4 – Порівняння результатів теоретичного розрахунку міцності косо стиснутих колон з експериментальними даними

Статистичний показник	$\theta_{\text{теор}} / \theta_{\text{exp}}$	$X_{\text{теор}} / X_{\text{exp}}$	$N_{\text{Em, теор}} / N_{\text{Em, exp}}$
Математичне очікування	1,0051	1,1347	0,9254
Дисперсія	0,0359	0,0039	0,0060
Стандарт	0,1895	0,0624	0,0775
Коефіцієнт варіації	0,1885	0,0550	0,0837

За результатами аналізу граничних деформацій дрібнозернистого бетону відзначено, що в однаково армованих колонах вони зростають у процесі

послідовного утворення п'ятикутної, трапецієподібної форми, а потім трикутної стиснутої зони, тобто змінюються за закономірностями, котрі були відмічені для важкого бетону. Значення граничних фібрових деформацій дрібнозернистого бетону дослідних колон варіювались в межах від 2,12‰ до 3,92‰. Тобто граничні значення деформацій дрібнозернистого бетону не є сталою величиною. Тому визначення їх з розрахунку залежно від кількості робочої арматури, форми перерізу та інших факторів є обґрунтованим та доцільним.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-технічну проблему синтезу каркасних конструктивних систем будівель зі створенням на його основі єдиного методологічного комплексу розрахунків несучої здатності елементів збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель. Проведені в роботі теоретичні та експериментальні дослідження дали змогу зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що синтез каркасних конструктивних систем будівель шляхом безпосереднього з'єднання перекриття з колонами є визначальним рушійним фактором упровадження залізобетонних каркасів у житлове будівництво. При цьому поєднання перекриття, яке працює у двох напрямках, безпосередньо з колонами у збірному варіанті каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель є найбільш ефективним рішенням для швидкого відновлення житлового фонду України. При його реалізації вирішені проблеми із забезпечення стійкості каркаса, врахування просторової роботи збірних плит перекриття та складного деформування колон.

2. Проведеними дослідженнями відповідно до розробленої структурної схеми синтезу каркасних конструктивних систем будівель виявлено, що збірна каркасна безкапітельно-безбалкова конструктивна система будівель була синтезована двома шляхами: перетворенням каркаса з ребристим перекриттям в каркас безбалковий, або об'єднанням колон у каркас розширенням їх оголовків. З метою подальшого вдосконалення досліджуваної каркасної конструктивної системи розроблені основні положення розрахунку її несучої здатності. Запропоноване та розроблене конструктивне рішення збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи, яке дозволяє підвищити поверховість будівель на 30%.

3. Створено підтверджену дослідними випробуваннями просторову модель деформування перекриття на основі кінематичного принципу його поділу на диски в стадії граничної рівноваги. Із застосуванням розробленої моделі та експериментально встановленої послідовності утворення лінійних пластичних шарнірів виявлена схема перерозподілу навантаження між дисками, котрі являють собою збірні суцільні плити перекриття. Встановлено фізичне підґрунтя можливості представлення в розрахунках кожної збірної плити перекриття окремо з урахуванням застосованого способу опирання, завантаження та взаємодії плит між собою. Сумісна робота плит у їх стиках змодельована лінійними пластичними шарнірами, здатними сприймати запроєктоване

значення згинального моменту. Це дозволило виявити резерв несучої здатності плит, який варіюється в діапазоні від 21 до 42%.

4. Розроблені розрахункові схеми руйнування збірних плит перекриття покладені в основу розв'язання задач з визначення їх несучої здатності та необхідної кількості арматури в них. Застосування розробленої методики розрахунку несучої здатності плит збірного безкапітально-безбалкового перекриття кінематичним способом методу граничної рівноваги, порівняно з розрахунком за методом скінченних елементів, дає можливість суттєво (до 22% у розглянутому випадку) економити робочу арматуру в плитах. Встановлені принципи оптимального зменшення площі робочої арматури збірних плит безкапітально-безбалкового перекриття в приопорних ділянках. Отримані результати дають змогу оптимізувати схеми армування збірних плит та досягти економії сталі. Виявлено, що найбільш ефективним є обрив робочої арматури в приопорних ділянках надколонних плит, в яких економія арматури при її обриві на відстані $0,37l$ від опор може сягати 50%.

5. Доведено, що колони збірної каркасної безкапітально-безбалкової конструктивної системи будівель працюють в умовах косого деформування. Для їх оптимального проектування запропоновано критерій повного використання опору бетону стиснутої зони. Цей критерій за своєю фізичною сутністю являє собою значення внутрішнього зусилля в стиснутій зоні перерізу при максимальному наповненні епюри напружень стиску. Використання сформульованого критерію дозволяє більш ефективно враховувати властивості деформування бетону на ділянці спадної гілки діаграми його фізичного стану, а також виявляти додаткові можливості застосування високоміцної арматури.

6. На основі сформульованого критерію міцності колони в поперечному перерізі запропоновано метод аналітичного визначення граничних значень фібрових деформацій бетону залізобетонних колон. Розроблені діаграми граничних значень фібрових деформацій бетону в складі косо стиснутих колон, які є складовими методики розрахунку несучої здатності колон залежно від випадків однорідного та неоднорідного деформування та можливих форм стиснутої зони. Отримані і експериментально підтверджені аналітичні залежності визначення параметрів напружено-деформованого стану косо стиснутих колон у граничному стані, що дозволяють оптимізувати їх проектування. Коефіцієнт варіації за значеннями порівняння несучої здатності для 25 зразків колон становить 5,42%.

7. Проведені експериментальні випробування натурних збірних плит безкапітально-безбалкового перекриття підтвердили правомірність застосування схем їх руйнування, розроблених на основі кінематичного способу методу граничної рівноваги. Розбіжність між даними випробувань та результатами теоретичного розрахунку несучої здатності плит складає близько 48%, 22% та 10% для середньої, міжколонної та надколонної плит відповідно.

8. Під час дослідних випробувань залізобетонних колон на косий стиск було підтверджено залежність значень граничних фібрових деформацій дрібнозернистого бетону від форми стиснутої зони бетону. Порівняльний аналіз теоретичних та експериментальних результатів визначення несучої здатності

косо стиснутих колон довів ефективність застосування розробленої методики розрахунку несучої здатності колон збірного безкапітельно-безбалкового каркасу. Коефіцієнт варіації за даними порівнянь теоретичних та експериментальних значень руйнівної поздовжньої сили, отриманих за результатами власних досліджень, склав 8,4%.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧКИ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Гарькава, О.В. (2024). Синтез каркасних конструктивних систем будівель та основи розрахунку їх елементів. Житомир, Видавничий дім «Бук-Друк».
2. Павліков, А.М., Балясний, Д.К., Гарькава, О.В., Довженко, О.О., Микитенко, С.М., Пінчук, Н.М., Федоров, Д.Ф. (2017). *Сучасні конструктивні системи будівель із залізобетону*. Полтава, ПолтНТУ (Особистий внесок – огляд конструктивних систем будівель, розрахунок несучої здатності збірних плит безбалкової безкапітельної конструктивної системи будівель).

Статті у наукових періодичних виданнях іноземних держав / або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus та / або Web of Science Core Collection

3. Harkava, O.V., & Pavlikov, A.M. (2024). Experimental Research of Biaxially Bended Reinforced Concrete Columns Manufactured on Granite Sifting. *Proceedings of the 15th fib International PhD Symposium in Civil Engineering*, 43-50. Budapest (Scopus) (Особистий внесок – задачі досліджень, проведення випробувань, аналіз результатів).
4. Pavlikov, A.M. & Harkava, O.V. (2024). Experimental tests of the over-columned plates of the precast building frame. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1415, 012067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012067> (Scopus) (Особистий внесок – задачі досліджень, проведення випробувань, аналіз результатів).
5. Pavlikov, A., & Harkava, O. (2023). Application of the Deformation Theory in Section Analysis of Reinforced Concrete Members with High-Strength Reinforcement. *Civil Engineering and Architecture*, 11(4), 2033-2039. <https://doi.org/10.13189/cea.2023.110426> (Scopus) (Особистий внесок – визначення розрахункових граничних значень деформацій бетону стиснутої зони залізобетонних елементів при роботі розтягнутої арматури в пружній стадії).
6. Pavlikov, A., Harkava, O., Danych, D., Ghazali, M. & Dabo, A. (2023). Precast Flat Plate Analysis by Kinematic Method. *Building for the Future: Durable, Sustainable, Resilient Proceedings of the fib Symposium 2023*, 1, 1526-1538 https://doi.org/10.1007/978-3-031-32519-9_154 (Scopus) (Особистий внесок – методика розрахунку несучої здатності та оптимальної кількості робочої арматури збірних плит безбалкового безкапітельного перекриття).
7. Harkava, O.V., & Pavlikov, A.M. (2023). Determination of the bearing capacity of biaxially bended beams based on the design strength of reinforced concrete.

IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 1254, 012073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012073> (Scopus) (Особистий внесок – методика розрахунку косо деформованих залізобетонних елементів на основі розрахункового опору залізобетону).

8. Pavlikov, A., Harkava, O., & Atembemoh, K. (2022). Design of Reinforced Concrete Members Taking into Account the Influence of Biaxial Bending. *Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering*, 181, 291-301. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_28 (Scopus) (Особистий внесок – методика розрахунку косо стиснутих залізобетонних елементів з використанням екстремального критерію їх міцності).

9. Pavlikov, A., Harkava, O., Pinchuk, N., Usenko, Yu. & Baryliak, B. (2021). Determination of the Crack Formation Moment in Expanded Clay Concrete Members During their Complex Deformation. *Concrete Structures: New Trends for Eco-Efficiency and Performance Proceedings for the 2021 fib Symposium*, 2125-2134. (Scopus) (Особистий внесок – практична реалізація розрахунку, порівняння теоретичних результатів з даними експерименту).

10. Pavlikov, A. & Harkava, O. (2020). Structural deformability of concrete. *Concrete Structures for Resilient Society: Proceedings of the fib Symposium 2020*, 449-455. (Scopus) (Особистий внесок – практична реалізація екстремального критерію міцності залізобетонних елементів).

11. Baryliak, B., Pavlikov, A. & Harkava, O. (2020). General Method of Structural Analysis of Reinforced Concrete Columns under Axial Load and Biaxial Bending. *Proceedings of the 2020 session of the 13th fib International PhD Symposium in Civil Engineering*, 179-186. (Scopus) (Особистий внесок – методика розрахунку несучої здатності косо стиснутих залізобетонних колон, теоретичні розрахунки, порівняння результатів розрахунку з даними експериментів).

12. Pavlikov, A., Harkava, O., Prykhodko, Yu. & Baryliak, B. (2019). Highly constructed precast flat slab frame structural system of buildings and research of its slabs. *Proceedings of the International fib Symposium on Conceptual Design of Structures*, 493-500. (Scopus) (Особистий внесок – функціональний аналіз збірної каркасної конструктивної системи будівель, методика розрахунку та випробування міжколонної плити безбалкового безкапітельного перекриття каркасу).

13. Pavlikov, A., Kochkarov, D., & Harkava, O. (2019). Calculation of reinforced concrete members strength by new concept. *CONCRETE. Innovations in Materials, Design and Structures: Proceedings of the fib Symposium 2019*, 820-827. (Scopus) (Особистий внесок – практична реалізація методики розрахунку залізобетонних елементів на основі застосування розрахункового опору залізобетону).

Статті у фахових виданнях України

14. Гарькава, О.В. (2024). Синтез методів розрахунку несучої здатності елементів збірної безбалкової безкапітельної конструктивної системи будівель. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 45, 136-143. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i45.15>

15. Гарькава, О.В. (2024). Огляд збірних каркасних конструктивних систем будівель. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 21, 44-56. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21))
16. Pavlikov, A. & Harkava, O. (2024). Precast flat plate frame of buildings for renewal of the housing stock of Ukraine. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1(62), 32-37. <https://doi.org/10.26906/znp.2024.62.3882> (Особистий внесок – методика розрахунку несучої здатності надколонної плити безкапітельно-безбалкового перекриття збірного каркасу будівель).
17. Павліков, А.М., Гарькава, О.В. (2023). Несуча здатність залізобетонних колон на основі критерію повного використання опору стиснутої зони бетону. *Нові технології в будівництві*, 43, 29-35. <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2023.43.4> (Особистий внесок – методика розрахунку несучої здатності залізобетонних колон на основі застосування критерію повного використання опору стиснутої зони бетону).
18. Гасенко, А.В., Гарькава, О.В., Фенко, О.Г., Кириченко, В.А. (2023). Статистичний аналіз характеристик арматурних стержнів із сучасних металургійних комбінатів для залізобетонних каркасів споруд цивільного захисту. *Зб. наук. пр. НУБГП: Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 44, 148-156. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i44.17> (Особистий внесок – проведення експериментальних випробувань, теоретичні розрахунки, порівняльний аналіз).
19. Pavlikov A., Harkava O., & Atembemoh, K. (2022). Reinforced concrete section analysis based on design strength of reinforced concrete. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1(58), 33-39. (Особистий внесок – постановка задачі, методика досліджень).
20. Павліков, А.М., Гарькава, О.В. (2023). Гранична деформативність бетону в згинальних переармованих елементах. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Збірник наукових праць*, 19, 124-134. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-8\(19\)-15](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-8(19)-15). (Особистий внесок – побудова діаграми розрахункових граничних значень деформацій бетону стиснутої зони залізобетонних елементів при роботі розтягнутої арматури в пружній стадії).
21. Павліков, А.М., Гарькава, О.В., Бариляк, Б.А. (2020). Розрахунок несучої здатності залізобетонних колон безбалкових каркасів. *Нові технології в будівництві*, 38, 10-16. (Особистий внесок – методика розрахунку, аналіз результатів досліджень).
22. Павліков, А.М., Гарькава, О.В., Бариляк, Б.А. (2019). Визначення міцності залізобетонних колон, що зазнали експлуатаційних пошкоджень. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури : Збірник наукових праць*, 76, 70-76. (Особистий внесок – методика розрахунку, аналіз результатів досліджень).
23. Pavlikov, A., & Harkava, O. (2019). Strength analysis of reinforced concrete flexural members at not entirely use of reinforcement resistance. *Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1(52), 65-69. (Особистий внесок – методика розрахунку, аналіз результатів досліджень).

24. Павліков, А.М., Пінчук, Н.М., Гарькава, О.В. (2018). Безконсольно-безкапітельно-безбалкові каркаси в будівництві котеджів. *Збірник наукових праць (ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди)*, 36, 279-287. (Особистий внесок – функціональний аналіз каркасу, практичні пропозиції).
25. Гарькава, О.В., Гасенко, А.В. (2017). Визначення міцності залізобетонних колон при косому стиску. *Наука та будівництво*, 4(14), 29-35. (Особистий внесок – постановка мети, методика розрахунку, висновки).
26. Pavlikov, A., Kochkarev, D., & Garkava, O. (2017). Strength of reinforced concrete in calculations of bending elements. *Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1(48), 62-71. (Особистий внесок – практична реалізація методики розрахунку, аналіз результатів досліджень).
27. Павліков, А.М., Гарькава, О.В. (2016). Розрахунок несучої здатності колон при їх косому деформуванні у складі безкапітельно-безконсольно-безбалкової конструктивної системи будівель. *Збірник наукових праць (ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди)*, 33, 191-199. (Особистий внесок – методика розрахунку, аналіз результатів досліджень).
28. Pavlikov, A., Pinchuk, N., & Garkava, O. (2016). Industrial Uncapital Ungirder Frame Structure for Residential Buildings. *Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 2(47), 96-103. (Особистий внесок – функціональний аналіз збірної конструктивної системи, пропозиції до її удосконалення).
29. Гарькава, О.В. (2014). Розрахунок міцності середньої плити перекриття безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель. *Збірник наукових праць (ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди)*, 29, 86-93.
30. Гарькава, О.В. (2013). Спрощена методика розв'язання задач міцності позацентрово стиснутих елементів на основі дволінійних діаграм стану бетону та арматури. *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*, 4(39), 1, 71-77.
31. Павліков, А.М., Гарькава, О.В., Безрукавий, Д.В. (2013). Впровадження безригельно-безкапітельної каркасної конструктивної системи в проектування будівель під доступне житло. *Збірник наукових праць (ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди)*, 27, 352-359. (Особистий внесок – задачі дослідження, пропозиції до впровадження).
32. Павліков, А.М., Гарькава, О.В. (2013). Перевірка міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів на основі дволінійних діаграм стану бетону й арматури. *Збірник наукових праць (ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди)*, 25, 370-376. (Особистий внесок – методика розрахунку, аналіз результатів досліджень).
33. Павліков, А.М., Бойко, О.В., Харченко, М.О., Федоров, Д.Ф., Пащенко, Н.С. (2012). Нелінійна деформаційна модель в інженерних розрахунках міцності залізобетонних елементів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 47, 1, 249-254. (Особистий внесок – практична реалізація методики розрахунку, аналіз результатів досліджень).
34. Павліков, А.М., Бойко, О.В. (2012). Використання нелінійної деформаційної моделі у розрахунках міцності залізобетонних елементів. *Збірник*

наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво), 2(32), 1, 178-184. (Особистий внесок – практична реалізація методики розрахунку, аналіз результатів досліджень).

35. Павліков, А.М., Бойко, О.В., Федоров, Д.Ф. (2011). Застосування нелінійної деформаційної моделі в розрахунках міцності позацентрово стиснутих залізобетонних елементів при плоскому та косому деформуванні. *Збірник наукових праць (ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди)*, 22, 444-451. (Особистий внесок – практична реалізація методики розрахунку, висновки).

Статті у інших виданнях

36. Pavlikov, A.M., Harkava, O.V., & Pinchuk, N.M. (2021). Calculation of Inter-Column Slabs Bearing Capacity by Kinematic Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1079, 4. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/5/052095> (Особистий внесок – задачі досліджень, методика розрахунку, висновки).

37. Pavlikov, A.M., Harkava, O.V., Prykhodko, Yu.O., & Baryliak, B.A. (2018). Experimental and Theoretical Testing Results of Reinforced Concrete Columns under Biaxial Bending. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.8), 145-151. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27230> (Особистий внесок – задачі досліджень, методика розрахунку, обробка результатів експериментальних випробувань, висновки).

38. Гарькава, О.В., Горіна, А.О., Височин, Г.Г., Дмитренко, Ю.А. (2014). Моделювання напружено-деформованого стану колон безкапітельно-безригельної конструктивної системи будівель. *Проблеми розвитку міського середовища: наук.-техн. збірник*, 2(12), 172-181. (Особистий внесок – мета, задачі досліджень, висновки).

Матеріали конференцій

39. Павліков, А.М., Гарькава, О.В. (2023, 12-13 грудня). Збірна безбалкова безкапітельна каркасна конструктивна система будівель для відбудови України. *Збірник наукових праць XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Академічна й університетська наука: результати та перспективи»*, 313-315. Полтава: Полтавська політехніка. (Особистий внесок – задачі досліджень, функціональний аналіз конструктивної системи будівель, висновки).

40. Павліков, А.М., Гарькава, О.В., Травка-Бабенко, З.Є., Білокінь, М.Ю., Кіяшко, Я.С. (2023, 29 листопада). Збірний безбалковий каркас будівель для поновлення житлового фонду України. *Тези III Всеукраїнської науково-практичної конференції «Роль науки у відбудові України»*, 35-38. Київ: НДІБК. (Особистий внесок – задачі досліджень, функціональний аналіз конструктивної системи будівель, висновки).

41. Павліков, А.М., Гарькава, О.В. (2023, 17 листопада). Високоєфективна збірна каркасна безбалкова конструктивна система будівель. *Сучасні проблеми містобудування. Перспективи та пріоритети розвитку: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції*, 83-84. Луцьк: ЛНТУ. (Особистий внесок – задачі досліджень, функціональний аналіз конструктивної системи будівель, висновки).

42. Павліков, А.М., Гарькава, О.В. (2023, 23-24 травня). Результати експериментальних досліджень несучої здатності косозігнутих колон із дрібнозернистого бетону. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної online конференції «Проблеми будівельного та транспортного комплексів»*, 105-107. Кропивницький: ЦНТУ. (Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень, обробка результатів, висновки).

43. Павліков, А.М., Гарькава, О.В. (2023, 12 травня). Гранична деформативність бетону в згинальних переармованих елементах. *Тези доповідей учасників VIII Міжнародної інтернет-конференції «Інновації у будівництві»*. Луцьк: ЛНТУ. (Особистий внесок – методика розрахунку, аналіз результатів досліджень, висновки).

44. Павліков, А.М., Гарькава, О.В. (2023, 02-25 травня). Диска модель збірного безбалкового перекриття в граничному деформованому стані. *Тези 75-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*, 114-115. Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка. (Особистий внесок – задачі досліджень, методика досліджень, висновки).

45. Павліков, А., Гарькава, О. (2023, 26-27 квітня). Розрахунок несучої здатності плит збірного безбалкового перекриття кінематичним способом. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Будівлі та споруди спеціального призначення: матеріали та конструкції»*, 77-78. Київ: КНУБА. (Особистий внесок – задачі досліджень, методика розрахунку, висновки).

46. Павліков, А.М., Гарькава, О.В., Бариляк, Б.А., Атембемах, К. (2022, 17-18 листопада). Використання відходів каменедробильних заводів для виготовлення будівельних конструкцій. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Environment Recovery and Reconstruction: War Context 2022»*, 82. Полтава: НУПП. (Особистий внесок – задачі досліджень, проведення експериментальних випробувань, обробка результатів, висновки).

47. Павліков, А.М., Гарькава, О.В., Газалі, М.С. (2021, 9-11 вересня). Принципи розрахунку плоских перекриттів каркасних конструктивних систем будівель. *Експлуатація та реконструкція будівель і споруд : тези доп. IV міжнар. конф.*, 124-126. Одеса: ОДАБА. (Особистий внесок – задачі досліджень, методика досліджень, висновки).

48. Pavlikov, A.M., Harkava, O.V., & Ghazali, M.S. (2021, 20-21 травня). Principles of analysis of synthesized frame structural systems of buildings. *Збірник наукових праць IV Міжнародної азербайджансько-української науково-практичної конференції «BUILDING INNOVATIONS – 2021»*, 150-152. Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка». (Особистий внесок – задачі досліджень, методика досліджень, висновки).

49. Pavlikov, A.M., Harkava, O.V., Pinchuk, N.M., Saiko, K.G., & Chaika O.S. (2021, 11-14 травня). Calculation of new generation floor slabs in cottages. *Актуальные проблемы инженерной механики: тезисы докладов VIII Международной научно-практической конференции*, 43-47. Одесса: ОГАСА. (Особистий внесок – задачі досліджень, методика розрахунку, висновки).

50. Павліков, А.М., Гарькава, О.В., Сайко, К.Г. (2021, 21 квітня-13 травня). Особливості розрахунку середньої плити збірних безбалкових перекриттів. *Тези 73-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*, 1, 124-125. Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка. (Особистий внесок – задачі досліджень, методика розрахунку, висновки).
51. Pavlikov, A., & Harkava, O. (2020, 22-24 November). Structural deformability of concrete. *Extended Abstracts of the fib Symposium 2020 Concrete Structures for Resilient Society*, 162-163. (Особистий внесок – практична реалізація методики розрахунку, висновки).
52. Pavlikov, A.M., Harkava, O.V., Pinchuk, N.M., & Saiko, K.G. (2020, 1-2 червня). Calculation of inter-column slabs bearing capacity on the basis of the virtual works method. *Building innovations – 2020: зб. наук. пр. за матеріалами III Міжнар. азерб.-укр. наук.-практ. конф.*, 153-156. Полтава : Національний університет імені Юрія Кондратюка. (Особистий внесок – задачі досліджень, методика розрахунку, висновки).
53. Павліков, А.М., Гарькава, О.В., Бариляк, Б.А. (2019, 26-28 вересня). Визначення міцності залізобетонних колон, що зазнали експлуатаційних пошкоджень. *Експлуатація та реконструкція будівель і споруд: тези доповідей III Міжнародної конференції*, 113. Одеса: ОДАБА. (Особистий внесок – задачі досліджень, методика розрахунку, висновки).
54. Pavlikov, A., Kochkarov, D., & Harkava, O. (2019, 27-29 May). Calculation of reinforced concrete members strength by new concept. *Book of abstracts for the 2019 fib International Symposium: CONCRETE. Innovations in Materials, Design and Structures*, 257-258. (Особистий внесок – практична реалізація методики розрахунку, аналіз результатів досліджень).
55. Павліков, А.М., Гарькава, О.В. (2019, 23-24 травня). Розрахунок несучої здатності залізобетонних згинальних елементів при неповному використанні міцності арматури. *Збірник наукових праць II Міжнародної українсько-азербайджанської конференції «BUILDING INNOVATIONS – 2019»*, 166-168. Полтава: ПолтНТУ. (Особистий внесок – задачі досліджень, методика розрахунку, висновки).
56. Гарькава, О.В., Бариляк, Б.А. (2019, 22 квітня-17 травня). Визначення міцності залізобетонних колон при косому стиску. *Тези 71-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету*, 1, 270-271. Полтава: ПолтНТУ. (Особистий внесок – задачі досліджень, методика розрахунку, висновки).
57. Павліков, А.М., Гарькава, О.В., Бариляк, Б.А. (2019, 5-7 березня). Особливості роботи залізобетонних колон у складі безбалкових каркасів будівель. *Сучасні технології в науці та освіті: матеріали Другої міжнародної науково-практичної конференції*, 24-26. Сєвєродонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля. (Особистий внесок – задачі досліджень, методика розрахунку, висновки).
58. Pavlikov, A.M., Harkava, O.V., & Prykhodko, Yu.O. (2018, 24-25 жовтня). Experimental and theoretical testing results of reinforced concrete columns under biaxial

bending. *Збірник наукових праць I Міжнародної науково-практичної конференції «TECHNOLOGY, ENGINEERING AND SCIENCE – 2018»*, 13-15. Лондон: ПолтНТУ. (Особистий внесок – задачі досліджень, обробка даних експериментальних досліджень, висновки).

59. Гарькава, О.В., Пискун, А.О. (2018, 28-29 березня). Аналіз причин косого деформування залізобетонних колон. *Тези та програма III Міжнародної науково-технічної конференції «Ефективні технології в будівництві»*, 187-188. Київ: КНУБА (Особистий внесок – мета та задачі досліджень, висновки).

Патенти

60. Павліков, А.М., Гарькава, О.В., Федоров, Д.Ф., Фаренюк, Г.Г., Петтер, Б.М., Бовкун, Ж.М. (2014). *Індустріальний безкапітельно-безбалковий каркас будівлі доступного житла* (Патент України 93195). Держ. служба інтелект. власності України. Доступ через: <https://uapatents.com/4-93195-industrialnij-bezkapitelno-bezbalkovijj-karkas-budivli-dostupnogo-zhitla.html>

АНОТАЦІЯ

Гарькава О.В. Синтез каркасних конструктивних систем будівель та основи розрахунку їх елементів. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди». – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2025.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної проблеми синтезу каркасних конструктивних систем будівель зі створенням на його основі єдиного методологічного комплексу розрахунків несучої здатності елементів збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель.

Проаналізовано основні етапи процесу синтезу каркасних конструктивних систем будівель із залізобетону, виявлено напрями, за якими відбувалось удосконалення конструктивних систем, та відмічено ключові принципи їх розрахунку. Встановлено, що поєднання плити, яка працює у двох напрямках, безпосередньо з колоною у збірному варіанті каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель є найбільш ефективним конструктивним рішенням у процесі швидкого відновлення житлового фонду України, оскільки поєднує простоту геометричних форм з максимальною кількістю переваг архітектурно-планувального та технологічного характеру. Запропоновано та розроблено конструктивне рішення збірної каркасної безкапітельно-безбалкової системи будівель, котре дозволяє підвищити поверховість будівель.

Створено підтверджену дослідними випробуваннями просторову модель деформування безкапітельно-безбалкового перекриття на основі кінематичного принципу його поділу на диски в стадії граничної рівноваги. Встановлено фізичне підґрунтя можливості представлення в розрахунках кожної збірної плити перекриття окремо з урахуванням застосованого способу обпирання, завантаження та взаємодії плит між собою. Розроблені методики розв'язання задач визначення несучої здатності та необхідної кількості арматури для кожного типу плит перекриття.

Доведено, що колони збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель працюють в умовах косо деформування. Для їх оптимального проектування запропоновано критерій повного використання опору бетону стиснутої зони. Розроблена з основи сформульованого критерію міцності бетону в складі косо стиснутих колон методика розрахунку їх несучої здатності, котра враховує випадки однорідного та неоднорідного деформування прямокутних перерізів колон з утворенням всіх можливих форм стиснутої зони.

Доцільність застосування розроблених методик розрахунку несучої здатності елементів збірної каркасної безкапітельно-безбалкової конструктивної системи будівель підтверджена експериментально.

Ключові слова: залізобетон, синтез, збірний каркас, безкапітельно-безбалкове перекриття, несуча здатність, деформація, розрахунок, проектування.

ABSTRACT

Harkava O.V. Synthesis of frame structural systems of buildings and basis of their members design. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.23.01 “Construction structures, buildings and structures”. – National University Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic, Poltava, 2025.

The **introduction** substantiates the relevance of the problem to be solved, formulates the goal and tasks of the research, the scientific novelty and practical significance of the obtained work results, provides information about the personal contribution and approval of the dissertation materials, presents its general structure and scope.

In the **first chapter**, the main stages of the development of frame structural systems of reinforced concrete buildings have been analyzed. The directions in which structural systems were improved have been identified, and the key principles of their design, which were formed in the course of the process, have been noted. The need to change the traditional ideas about the origin of the flat plate frame structural system of buildings, which inhibit its development. It is may be achieved by bringing the design methods of this system in line with the actual operation of its members, taking into account the spatial operation of the floor under load, the way of connecting its precast members to each other and biaxial bending of columns.

The **second chapter** examines in detail the path of synthesis of frame structural systems of buildings, notes the features of ensuring spatial rigidity of systems, the principles of their division into precast members. The described processes of transformation of structural systems of buildings and their elements are illustrated by the structural scheme of synthesis of frame structural systems of buildings. It has been established that the combination of a two-way slab with a column directly in a precast frame flat plate structural system of buildings is the most effective structural solution in the process of rapid restoration of the housing stock of Ukraine. It combines the simplicity of geometric forms with the maximum number of advantages of an architectural, planning and technological nature. A structural solution of a precast frame flat plate structural system of buildings has been proposed and developed, which allows to increase the number of storeys of buildings. The possible failure schemes of the precast flat plate floor were analyzed on the basis of the yield line method. This is the basis of the revealed principle of load transfer from the middle slab through the intercolumned to the overcolumned one. The model of the deformation of the precast flat plate floor in the ultimate limit state has been created using the main provisions of the yield line method.

In the **third chapter**, the problems of bearing capacity of all types of slabs of the flat plate frame structural system of buildings are solved. The interaction of the slabs among themselves is taken into account by modelling the joint of the slabs in the form of a plastic linear hinge, taking into account the external bending moment that can act in this joint, which makes it possible to identify the reserves of the bearing capacity of the slabs. The resulting dependencies are used to determine the limit load, as well as the required area of principal reinforcement of the flat plate frame structural system of buildings.

In the **fourth chapter**, a criterion for calculating the design ultimate values of the compressed concrete area strains in composition of biaxially bended reinforced concrete columns under biaxial deformation has been formulated. The columns have been considered, in which the stresses of the tensile reinforcement do not reach the yield point at the moment of failure. This criterion of complete use of the concrete strength of the compressed area of the reinforced concrete member is the criterion of the destruction of concrete at the maximum value of the internal force in it. The formulated criterion together with the extreme criterion of the load-bearing capacity of a reinforced concrete member may be used as the basis of the methodology for calculating the load-bearing capacity of reinforced concrete structures.

In the **fifth chapter**, the nonlinear model of the stress-strain state of biaxially bended reinforced concrete columns was improved in the direction of implementing the criterion of the maximum of concrete strength in the compressed area. The fiber strains of concrete in the composition of a biaxially bended column at the ultimate limit state are analytically determined with the application of this criterion. The design method has been developed that allows analytically determining all parameters of the stress-strain state of the column section at the moment of destruction. The method permits designing columns of the frame flat plate structural system of buildings with optimal area of reinforcement depending on the position of the column in the framework, the amount and properties of reinforcement, prestressing, cross-sectional profile, etc.

The **sixth chapter** presents the results of experimental tests of the members of the precast frame structural system of buildings with a flat plate floor. The nature of the destruction of the slabs confirms the accepted patterns of slab breakage when calculating its bearing capacity by the yield line method. The feasibility of using the developed method of slab design based on the yield line method was confirmed by comparing the bearing capacity of tested slabs of the flat plate frame structural system of buildings with the data of theoretical calculations.

During biaxial bending tests of reinforced concrete columns it was found that the ultimate strains of concrete in biaxially bended reinforced concrete columns increase with an increase in the area of the longitudinal reinforcement of the columns. A similar trend is observed with the transition from a pentagonal to a trapezoidal form of the compressed area with an approach to a triangular form. Therefore, their determination by calculation according to the developed methodology is reasonable and expedient. The comparative analysis of the results of the calculation of the parameters of the stress-strain state of experimental columns at the time of failure confirms the possibility and feasibility of applying the developed method of determining the bearing capacity of columns of precast frame structural system of buildings.

Key words: reinforced concrete, synthesis, precast frame, flat plate, bearing capacity, strain, analysis, design.