

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МЕЛЬНИК ІГОР ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 624.012.4+691.32

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН
ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ
ПОРОЖНИСТИХ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**

05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди
Галузь знань – Архітектура та будівництво

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Львів – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Бамбура Андрій Миколайович,
завідувач відділу надійності конструкцій будівель і споруд ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Шмуклер Валерій Самуїлович,
завідувач кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

доктор технічних наук, професор
Азізов Талят Нуредінович,
завідувач кафедри техніко-технологічних дисциплін, охорони праці та безпеки життєдіяльності Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини Міністерства освіти і науки України;

доктор технічних наук,
Карпюк Василь Михайлович,
професор кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Захист відбудеться « 5 » квітня 2021 р. о 10:00 годині на засідання спеціалізованої вченої ради Д 35.052.17 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Карпінського, буд. 6 (II-й навчальний корпус), ауд. 212.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, буд. 1.

Автореферат розісланий « 4 » березня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 35.052.17
к.т.н., доцент

П.Ф. Холод

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В сучасному будівництві бетон є і в осяжному майбутньому залишатиметься основним будівельним матеріалом, насамперед як компонент залізобетону – найпоширенішого конструкційного виробу, який використовують для зведення будівель різного призначення: цивільних, промислових, гідротехнічних, сільськогосподарських, об'єктів транспортної інфраструктури, енергетичного комплексу та ін. Щорічно в світі виготовляють понад 15 млрд. м³ бетону, в Україні – біля 25-30 млн. м³. Водночас виробництво бетону і залізобетону є значними споживачами сировинних матеріалів та енергетичних ресурсів. Проведений огляд і аналіз результатів наукових досліджень показав, що бетон і залізобетон – дуже енергомісткі матеріали. Тому зменшення будь-якого виду витрат (сталі, цементу, заповнювачів і особливо енергоспоживання) є важливим державним питанням.

Після прийняття Закону України «Про енергозбереження» в Постанові Кабінету Міністрів №429 «Про реалізацію пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки» проблема енергозбереження знайшла своє відображення як одна з найактуальніших. Провідним принципом при проектуванні та виготовленні бетонних і залізобетонних конструкцій повинна бути енергоощадність.

Все актуальнішою стає проблема збереження навколишнього середовища, на яке, крім інших факторів, суттєво впливає виробництво бетону і залізобетону. Їх виготовлення супроводжується значним вичерпанням природних матеріальних ресурсів та забрудненням довкілля. Найбільш енергомісткою складовою бетону є портландцемент, виробництво якого супроводжується значними викидами CO₂ (в Україні біля 7,4 млн. тонн на рік). Тому зменшення використання цементу є значною економією природних ресурсів та суттєвим зниженням шкідливих викидів. Відповідно до стратегії низьковуглецевого розвитку, представленої у Європейському союзі, до 2030 р. заплановано скоротити викиди CO₂ на етапі виробництва бетону та будівництва на 40%.

Особливо це стосується залізобетонних і бетонних конструкцій широкого використання, до яких належать передовсім монолітні залізобетонні перекриття в будівлях різного призначення, монолітні фундаментні плити, монолітні залізобетонні прогонові будови мостів малих і середніх прольотів, бетонні блоки стін підвалів.

Тому роботи, присвячені подальшому розвитку методології формоутворення енергоефективних бетонних та залізобетонних конструкцій і розробці методів розрахунку на основі сучасних передумов з урахуванням складного напружено-деформованого стану та їх верифікації експериментальним шляхом, а також впровадження запропонованого підходу в практику будівництва, є важливою і актуальною науково-технічною проблемою, вирішення якої має велике економічне, екологічне та народногосподарське значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи і отримані результати відповідають актуальним завданням науково-технічної політики держави у сфері енерго-, та ресурсозбереження згідно з Законом України «Про енергозбереження».

Дисертаційна робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка» і відповідає пріоритетним напрямкам кафедри автомобільних доріг та мостів, зокрема в частині «Розроблення, дослідження та вдосконалення конструктивних вирішень і методів розрахунку мостів, будівель та споруд», а також науковому напрямку галузевої науково-дослідної лабораторії з оптимізації, дослідження, обстеження і проектування

конструкцій будівель і споруд (ГНДЛ-112 НУ «Львівська політехніка»), науковим керівником якої за сумісництвом є автор.

У дисертації відображено результати досліджень, виконаних в межах низки договірних робіт на створення науково-технічної продукції (№№ державної реєстрації 0108U004268, 0111U010560, 0110U006966, 0113U005262, 0110U005032, 0112U001216, 0114U001215, 0112U007672, 0114U001221, 0111U010233, 0113U005260, 0114U001219, 0114U004755, 0115U004210, 0114U001216, 0116U002842, 0116U002843, 0116U006715, 0116U006716, 0118U001532, 0118U007354, 0118U007355, 0119U101967) і використаних на багатьох об'єктах з порожнистими залізобетонними і бетонними конструкціями. Автор був керівником цих робіт.

Мета роботи та задачі досліджень. Мета роботи: розробити методологію вдосконалення існуючих та нових конструктивних рішень (форм), методи розрахунків порожнистих бетонних і залізобетонних конструкцій на основі експериментально-теоретичних досліджень та впровадити їх в практику будівництва. Для досягнення мети були поставлені такі задачі:

- на основі аналізу проведених патентних, інформаційно-методологічних досліджень вдосконалити існуючі і розробити нові конструктивно-технологічні рішення порожнистих бетонних і залізобетонних конструкцій;
- експериментально дослідити закономірності впливу навантаження на напружено-деформований стан монолітних порожнистих залізобетонних перекриттів з одно- і двонапрямленим розташуванням різних за формою порожниноутворювальних вставок (надалі – вставок) на фрагментах перекриттів і на натурному перекритті;
- дослідити експериментальним шляхом натурні порожнисті бетонні блоки стін підвалів з різними за формою порожнинами та їх малогабаритні моделі;
- розробити на основі сучасних допущень та передумов, в тому числі з використанням деформаційного методу, методи розрахунку плитних залізобетонних конструкцій з одно- і двонапрямленим розташуванням різних за формою вставок;
- змодельовати роботу і виконати оцінку впливу на напружено-деформований стан в процесі зміни навантаження порожнистих бетонних конструкцій чисельним методом з використанням різних програмних комплексів та розробити рекомендації щодо їх конструювання і розрахунків та впровадження у практику будівництва;
- виявити і проаналізувати технологічні та експлуатаційні особливості залізобетонних порожнистих конструкцій та розробити відповідні рекомендації для їх застосування в практиці будівництва;
- розробити і дослідити раціональний за витратою матеріалів склад арболітових вставок з відходів деревини і розробити рекомендації щодо їх використання;
- оцінити техніко-економічну ефективність запропонованих порожнистих бетонних і залізобетонних конструкцій порівняно із звичайними аналогічними конструкціями.

Об'єкт дослідження – порожнисті бетонні і залізобетонні конструкції.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан бетонних і залізобетонних порожнистих конструкцій.

Методи дослідження: інформаційно-патентний пошук; формулювання задач і розробка робочих програм та методик експериментальних і теоретичних досліджень; експериментальні дослідження напружено-деформованого стану порожнистих бетонних і залізобетонних конструкцій при їх випробуванні завантаженням в лабораторних умовах; методи будівельної механіки, опору матеріалів при аналізі напружено-деформованого стану досліджуваних конструкцій; натурні випробування навантаженням; комп'ютерне моделювання роботи досліджуваних конструкцій з використанням різних сучасних програмних комплексів; розроблення методики розрахунку плитних залізобетонних конструкцій з одно- і двонапрямленими порожнинами; порівняння та аналіз результатів експериментальних і теоретичних досліджень; експериментальна перевірка щодо використання результатів досліджень в практиці будівництва.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

Вперше:

1. На основі комплексних експериментально-теоретичних досліджень, у тому числі виконаних на натурних конструкціях, розроблено методологію порожниноутворення бетонних і залізобетонних конструкцій з використанням вставок різної форми і з різних матеріалів як одного з основних способів раціоналізації бетонних і залізобетонних конструкцій.

2. Проведено комплексні експериментальні дослідження, у тому числі натурні випробування, порожнистих плитних залізобетонних конструкцій з порожниноутворювальними вставками різної форми і з різних матеріалів, за результатами яких встановлено закономірності впливу процесу навантаження на зміну напружено-деформованого стану, які принципово відрізняються від загальноприйнятих підходів і які необхідно враховувати в розрахунках таких конструкцій.

3. Розроблено методику визначення циліндричних жорсткостей для плитних конструкцій з однонапрямленими порожнинами. За результатами чисельного моделювання напружено-деформованого стану отримано закономірності і коефіцієнти зменшення жорсткостей для плитних конструкцій з однонапрямленими порожнинами, врахування яких в розрахунках за другою групою граничних станів (загального статичного розрахунку плит) більш точно і повно відображає вплив порожнин на НДС плитних конструкцій.

4. Розроблено методику визначення несучої здатності порожнистих залізобетонних плитних конструкцій з двонапрямленим розташуванням порожнин на основі використання деформаційного методу і реальних діаграм деформування двовісно стиснутого бетону, застосування яких в бітаврових перерізах, на відміну від існуючих методик, враховує суттєве збільшення міцності бетону і жорсткості плит.

5. На основі комплексних експериментальних досліджень, у т. ч. натурних випробувань, та аналізу результатів чисельного моделювання в різних програмних комплексах обґрунтовано критерії і розроблено рекомендації щодо розрахунку несучої здатності бетонних порожнистих конструкцій, які можна враховувати при проектуванні аналогічних порожнистих бетонних конструкцій інших типорозмірів.

6. Запропоновано та досліджено склад і розроблено технологічну схему для виготовлення раціональних за витратою матеріалів легких арболітових вставок з відходів

деревини, які доцільно використовувати в бетонних блоках стін підвалів, фундаментних плитах та в інших плитних залізобетонних конструкціях.

Набуло подальшого розвитку.

7. Використання деформаційної методики для розрахунку бетонних і залізобетонних конструкцій з врахуванням роботи розтягнутого бетону, для якого залежність між напруженнями і деформаціями прийнята за структурою державних будівельних норм для стиснутого бетону, але за визначальними параметрами ϵ_{ct} , σ_{ct} , прийнятими в цих нормах.

Практичне значення одержаних результатів.

- удосконалено існуючі та створено нові типи бетонних і залізобетонних порожнистих конструкцій, які дозволяють суттєво при їх виготовленні знизити витрати бетону, арматури і зменшити власну вагу;
- розроблено методи розрахунку бетонних і залізобетонних порожнистих конструкцій, які дозволяють проектувати конструкції запропонованого типу;
- розглянуто і проаналізовано вплив технологічних та експлуатаційних факторів, важливих для використання на практиці раціональних порожнистих конструкцій;
- виконано техніко-економічне порівняння суцільних і порожнистих плитних залізобетонних конструкцій перекриття з обґрунтуванням ефективності використання раціональних порожнистих конструкцій, яке показало, що при їх впровадженні в практику будівництва досягається значний економічний ефект;
- розроблено технологічні схеми виготовлення легких арболітових вставок з використанням відходів деревини.

Результати дослідження доведені до експериментального і частково серійного (масового) використання на практиці і реалізовані на багаточисельних об'єктах:

- при реконструкції торгово-готельного комплексу в смт. В.Любінь Львівської обл.;
- при реконструкції будівлі оздоровчого відділення санаторію «Кришталеве джерело» в Свалявському р-ні Закарпатської обл.;
- при новому будівництві комплексу 8-ми багатоповерхових будівель по вул. Білогірській в м. Тернополі;
- при реконструкції будівлі складу по вул. Хімічній у м. Львові;
- при будівництві стадіону «Арена-Львів»;
- при реконструкції будівлі по вул. Театральній у м. Львові;
- при будівництві молодіжного житлового комплексу по вул. Роксоляни в м. Львові;
- при будівництві готельно-ресторанного комплексу в м. Новояворівськ Львівської обл.;
- при будівництві двох багатоповерхових житлових будинків по вул. Заміській і по вул. Тролейбусній у м. Тернополі;
- при реконструкції ресторану «Супутник» у м. Львові;
- при будівництві міні-готелю в смт. Моршин Львівської обл.;
- при реконструкції промислової будівлі по вул. Лемківській у м. Львові;
- при реконструкції адміністративної будівлі по вул. Театральній у м. Львові;
- при будівництві торгово-готельного комплексу в ур. Неліпино Свалявського р-ну Закарпатської обл.;
- при будівництві моста в с. Голубине Закарпатської обл.;

- при зведенні низки індивідуальних будинків з використанням порожнистих блоків стін підвалів.

Прошли або проходять експертизу робочі проекти для використання на об'єктах:

- реконструкція фізкультурно-оздоровчого комплексу Львівського державного училища фізичної культури на вул. Княгині Ольги у м. Львові;
- будівництво 12-квартирного житлового будинку на вул. Таця в м. Свалява;
- реконструкція моста в с. Пасіки-Зубрицькі Львівської обл.;
- реконструкція перекриттів навчальних корпусів № 6 та № 6а Національного університету «Львівська політехніка».

Особистий внесок здобувача. Усі викладені у дисертаційній роботі ідеї, наукові розробки та положення отримані автором самостійно. В проведених разом з іншими авторами наукових дослідженнях автор розробляв загальну програму і методологію досліджень, здійснював наукове керівництво і приймав безпосередню участь в експериментальних і теоретичних дослідженнях, аналізував та узагальнював отримані результати. В роботах, опублікованих у співавторстві, особистий вклад здобувача полягає у формулюванні задач наукових досліджень, в науковому обґрунтуванні та розробці методів і способів їх розв'язання, а також в керівництві роботами, пов'язаними з використанням на практиці результатів дослідження.

Дисертація не містить матеріалів кандидатської дисертаційної роботи автора.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати доповідалися і обговорювалися на таких науково-технічних конференціях і наукових семінарах: Науково-практична конференція «Проблеми винахідництва та раціоналізаторства в Україні», Львів, 2001 р.; Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні проблеми бетону та його технологій», Київ, 2002 р.; XII International Scientific Conference “Rzeszow – Lviv – Kosice” “Current Issue of Civil And Environmental Engineering”, Rzeszow, 17-19 september 2009; сьома Міжнародна науково-технічна конференція «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди», Рівне, 27-29 вересня 2011 р.; Міжнародна науково-технічна конференція «Будівельні конструкції будівель і споруд: проектування, зведення, реконструкція, обслуговування», Макіївка, 6-8 вересня 2011 р.; п'ята Міжнародна конференція «Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій», Львів, 24-27 червня 2014 р.; Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми в будівництві», Полтава, 12-15 листопада 2013 р.; Всеукраїнський міжвузівський науковий семінар «Залізобетон минулого, сучасності і майбутнього», Львів, 14-15 травня 2015 р.; 3 міжнародна науково-технічна конференція «Ефективні технології і конструкції в будівництві та архітектурі села», 26-27 травня 2020 р., Львів-Дубляни.

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на Міжнародній науково-технічній конференції «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» (Полтава, 18-20 жовтня 2017 р.), на дев'ятій Міжнародній науково-технічній конференції «Ресурсоекономні матеріали, конструкції будівлі і споруд» (Рівне, 16-18 жовтня 2018 р.) і на розширеному засіданні кафедри автомобільних доріг та мостів Національного університету «Львівська політехніка» (22 вересня 2020 р.).

Публікації. За темою і результатами дисертаційної роботи опубліковано 55 наукових праць: монографія, 30 статей у наукових фахових виданнях України, 7 статей

у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних, 4 статті у періодичних виданнях інших держав, 3 патенти, 6 публікацій апробаційного характеру, 4 статті у виданнях, які додатково відображають матеріали дисертації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, семи розділів, загальних висновків і семи додатків. Робота викладена на 478 сторінках і містить 329 сторінок основного тексту, 237 рисунків, 24 таблиці, 18 повних сторінок з таблицями і рисунками, 29 сторінок використаних літературних джерел та 120 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, що вирішується в дисертаційній роботі, сформульовано мету та задачі досліджень. Зазначено науково новизну та практичне значення і впровадження результатів дисертаційної роботи, вказані прийняті методи досліджень та особистий внесок здобувача, відомості про апробацію результатів роботи, публікації, структуру і обсяг дисертації.

В першому розділі розглянуто і проаналізовано конструкції збірних, монолітних та збірно-монолітних перекриттів, що застосовують в Україні і за кордоном. Показано, що для зменшення їх ваги використовують балко-ребристі конструкції або замкнуті чи відкриті порожнини. Подано принципові конструктивні вирішення монолітних перекриттів з пластмасовими вставками, які зазвичай використовують за кордоном.

Дослідженню і розробці методів розрахунку перекриттів різних типів та інших плитних конструкцій та їх елементів присвятили свої роботи: Азізов Т.Н., Бабич Є.М., Бамбура А.М., Барабаш В.М., Барашиков А.Я., Бліхарський З.Я., Борисюк О.П., Гнідець Б.Г., Дорофєєв В.С., Журавський О.Д., Карпенко М.І., Карпюк В.М., Кваша В.Г., Колчунов В.І., Клименко Є.В., Клименко Ф.Є., Лапенко О.І., Лісоцький Р.В., Масюк Г.Х., Немчинов Ю.І., Нижник О.В., Отрош Ю.А., Павліков А.М., Пашинський В.А., Ромашко В.М., Савицький М.В., Семенюк С.Д., Семко О.В., Стороженко Л.І., Храпцов В.П., Фомін С.Л., Шагін О.Л. Яковенко І.А., M. Huber, S. Timoshenko, S. Woinowsky - Krieger та ін.

В Україні перекриття з вставками досліджували Артюх В.Г., Бережна О.В., Вознюк Л.І., Демчина Б.Г., Євстаф'єв В.І., Котляр Н.І., Кріпак В.Д., Лугченко О.І., Молодченко Г.А., Передірієнко І.Д., Помазан М.Д., Приставський Т.В., Санніков І.В., Сорохтей В.М., Стебловський І.А., Таран В.В., Тонкачєєв Т.Н., Шмуклер В.С., Шмуклер І.В., Царинник О.Ю., Яловенко В.І. та інші. Питаннями чисельних та експериментальних методів раціонального проектування та зведення конструктивних систем займалися Бабаєв В.М., Бугаєвський С.О., Єваль С.М., Євзеров І.Д., Шевотовський В.В., Шимановський О.В., Шмуклер В.С. та ін.

Складний напружено-деформований стан бетону, у т.ч. в залізобетонних конструкціях, досліджували: Бамбура А.М., Давиденко О.І., Aschl H., Atan V., Curbach Manfred, David W. Murray, Deng Zhiheng, Filson A.H., Gerstle K., Hampel T., Helmut B. Kupfer, Hilsdorf H.K., Kurt H. Gerstle, Quast Matthias, Ritter R., Rong C., Rűch H., Scheerer S., Sheng Jun, Shi Q., Slate F.O., Slate F.O., Speck K., Tasuji N.E., Zhang T., Zhao H. та ін.

Дослідження, пов'язані з актуальними екологічними проблемами зменшення емісії CO₂ згідно стратегії низьковуглецевого розвитку та економією енергетичних і матеріальних ресурсів при виробництві бетону, відображені в роботах Барабаша І.В., Гоца В.І., Дворкіна Л.Й., Саницького М.А., Соболь Х.С., Солодкого С.Й., Шейніча Л.О. та ін.

Питаннями дослідження, розрахунку і вдосконалення залізобетонних прогонових будов мостів різних систем займалися: Гібшман М.Є., Гнідець Б.Г., Донченко В.Т., Іваник І.Г., Кваша В.Г., Коваль П.М., Курило А.С., Лантух-Лященко А.І., Назаренко Б.П., Ониськів Б.М., Попович Б.С., Собко Ю.М., Яременко О.Ф. та ін.

Продавлювання плитних залізобетонних конструкцій відображені в роботах Бабича Є.М., Дорофєєва В.С., Клованича С.Ф., Шеховцова В.І. та ін.

Не зважаючи на все ширше застосування монолітних плоских перекриттів, фундаментних плит, прогонових будов мостів та інших конструкцій з більш раціональними формами, отриманими застосуванням порожниноутворювальних вставок, їх дослідження в Україні і закордоном є поодинокими і не повністю відображають особливостей напружено-деформованого стану. Разом з тим їх використання пов'язане з все важливішими проблемами енерго- і ресурсозбереження. Тому подальші дослідження і використання на практиці таких конструкцій є актуальною проблемою.

Будівельними виробами широкого використання є бетонні блоки стін підвалів. Вони є масивними конструкціями, несуча здатність яких навіть при багатоповерховому будівництві використовується ~ на 10...40 %. Дослідження щодо їх оптимізації відображені в роботах Кабір Акрамула, Кваші В.Г., Колякова М.І., Левчича В.В., Лугченко О.І., Молодченко Г.А., Савицького М.В., Трофимовича Н.В., Шмуклера В.С. та ін. Необхідно продовжити пошук ефектних конструктивно-технологічних рішень блоків стін підвалів, які залишаються одними з найбільш масових виробів в будівництві із значною перевитратою бетону, що також пов'язано з важливими і актуальними питаннями енергоощадності та екологічної безпеки.

У **другому розділі** дисертаційної роботи за результатами численних патентних і літературних досліджень, проведених по країнах з розвинутою будівельною індустрією, виявлено і згруповано основні способи зменшення матеріало- та енергомісткості бетонних і залізобетонних конструкцій. За цими дослідженнями встановлено, що порожниноутворення є основним способом вдосконалення конструктивних форм бетонних і залізобетонних виробів. Крім безпосередньої економії бетону і зменшення маси, він дозволяє зберегти основні експлуатаційні властивості конструкцій і реалізувати інші способи їх раціоналізації, а саме:

- приведення перерізів конструкцій у відповідність до діючих у них зусиль;
- нові формоутворення;
- використання нових комбінацій матеріалів;
- використання відходів виробництва з порівняно дешевих місцевих матеріалів;
- утворення комплексних конструкцій, зокрема для поєднання конструкційних властивостей з теплозвукоізоляційними;
- оптимізація конструкцій і розвиток методів їхнього розрахунку;
- позитивний вплив на конструкційні, технологічні та експлуатаційні чинники.

В дисертації ці способи та чинники обґрунтовані і детально описані.

Крім цього, в другому розділі подано і описано розроблені принципові схеми залізобетонних порожнистих конструкцій: монолітних перекриттів різної конфігурації в плані з одно- і двонапрямленим розташуванням вставок різних форм; збірно-монолітних перекриттів; окремих плитних конструкцій; плитних монолітних фундаментів; залізобетонних і сталезалізобетонних прогонових будов мостів та ін. Обґрунтовано і

подано також позитивні сторони зазначених залізобетонних конструкцій та бетонних порожнистих фундаментних блоків. Вони були основою для проведених подальших досліджень.

Монолітні перекриття з порожниноутворювальними вставками зберігають властивості, притаманні монолітним суцільним перекриттям, і мають інші переваги:

- значно менша власна маса і, відповідно, збільшення частки корисного навантаження;
- робота в обох напрямках з відповідним зменшенням зусиль і раціональним армуванням згідно з розподілом згинальних моментів;
- можливість регулювання зусиль через конструювання в залежності від форми, розмірів і розташування вставок; формоутворенням зсередини можна конструювати перекриття з практично однаковою несучою здатністю нормальних і похилих перерізів;
- замкнутість контурів перерізів, що важливо під час роботи на кручення;
- висока надійність; суцільний диск монолітного перекриття, армованого в обох напрямках, є надійним зв'язком між вертикальними несучими елементами, особливо для мурованих стін, і відіграє заодно функції монолітного пояса; у зв'язку з цим такі облегшені монолітні перекриття, з'єднані з несучими вертикальними конструкціями, є особливо доцільними для будівництва в сейсмічно активних районах;
- кращі показники тепло- і звукоізоляції;
- простота виготовлення з використанням поширеної горизонтальної плоскої опалубки;
- висока вогнестійкість, забезпечена цільністю конструкції та сумісною роботою її елементів в обох напрямках;
- можливість улаштування перекриття без вантажопідйомних механізмів, що є дуже важливим для будівництва в важкодоступних (наприклад, гірських) районах та малогабаритних місцях і в стиснених умовах (зокрема, за ущільненої забудови);
- можливість прокладання в порожнинах комунікацій, наприклад електропостачання, вентиляції, теплообміну тощо;
- можливість і доцільність використання у будівлях складної конфігурації в плані, зокрема під час реконструкції будівель старої забудови та зведення сучасних будівель складних архітектурних форм.

Плитні плоскі залізобетонні фундаменти з вставками мають також низку переваг:

- простота виготовлення;
- отримання верхньої плоскої поверхні плити підвального приміщення, готової до улаштування підлоги;
- збільшення теплоізоляційних характеристик фундаментної плити;
- можливість прокладання комунікацій і використання системи теплових насосів.

Крім суттєвого зменшення ваги, плоскі монолітні прогонові будови з вставками мають такі технологічні, конструкційні і експлуатаційні переваги:

- простота виготовлення з використанням широко розповсюдженої опалубки;
- загальна цільність конструкції;
- значна крутна жорсткість;

- забезпечення просторової роботи;
- відсутність стиків;
- менша площа відкритих ділянок бетону тощо.

Аналогічні позитивні сторони мають інші плитні конструкції з вставками.

Позитивними сторонами порожнистих бетонних конструкцій є:

- зменшення витрат бетону і, відповідно, зменшення витрат цементу, щебню і піску, тобто вирішення в певній мірі екологічних проблем, пов'язаних з вичерпанням природних ресурсів і зменшенням шкідливих викидів в атмосферу;
- зменшення власної ваги, відтак зменшення тиску на основу будівлі, транспортних затрат, кількості арматурної сталі на стропувальні петлі;
- менша теплопровідність блоків з вставками порівняно з цільними блоками, що важливо для теплих підвалів;
- можливість використання існуючих металоформ з незначним їх переоснащенням;
- утилізація відходів виробництва;
- скорочення часу теплового оброблення, яке залишається найбільш енергомісткою операцією у виготовленні бетонних виробів; зокрема, для тонкостінних блоків в значно більшій мірі, ніж для масивних, можна зменшити час прогрівання бетону, а в теплий період року використовувати низькотемпературні (40...60°C) режими або природне тверднення.

У **третьому розділі** подано конструкцію, методику і результати експериментальних досліджень фрагментів монолітних залізобетонних перекриттів з вставками та натурального перекриття, виконаних згідно із загальною програмою досліджень.

Програма досліджень передбачала випробування трьох серій фрагментів монолітних залізобетонних перекриттів з вставками: довгомірних ($l=5$ м) марки ФП з круглими трубчастими вставками рівномірно розподіленим навантаженням; коротких ($l=2,05$ м) марки ДФ з квадратними пінополістирольними вставками і суцільного перерізу, завантажених зосередженими силами за двома схемами чистого згину; довгомірних ($l=6,2$ м) марки ПФ з квадратними пінополістирольними вставками рівномірно розподіленим навантаженням з доведенням їх до руйнування.

Плитні зразки марок ФП, ДФ і ПФ були досліджені як фрагменти монолітних перекриттів з однонапрямленим розташуванням вставок.

Мета натурних випробувань монолітного залізобетонного перекриття розмірами в плані 7,6x12,1 м – дослідити НДС при випробуванні рівномірно розподіленим, симетричним і кососиметричним навантаженням без доведення до руйнування.

Крім нього, в програму експериментальних досліджень входило випробування на продавлювання верхньої полиці плити з порожниноутворювальними призматичними вставками.

Дослідження фрагментів перекриття марки ФП. Розміри і конструкцію фрагментів плит було прийнято з урахуванням розмірів картонних труб зовнішнім діаметром 110 мм з товщиною стінки 10 мм, достатньою для сприйняття тиску бетонної суміші під час бетонування дослідних зразків. Вставки – труби розташовані з кроком 139 мм. Фрагмент плити ФП-1 (надалі плита ФП-1) мав поперечне розташування труб, які виходили на бокові грані дослідного зразка (рис. 1а).

У фрагменті плити ФП-2 (надалі плита ФП-2) порожнини розташовані у поздовжньому напрямку (рис. 1б). Проектний клас бетону дослідних зразків плит - С20/25, арматура діаметром 10 мм класу А500С з кроком 15 см.

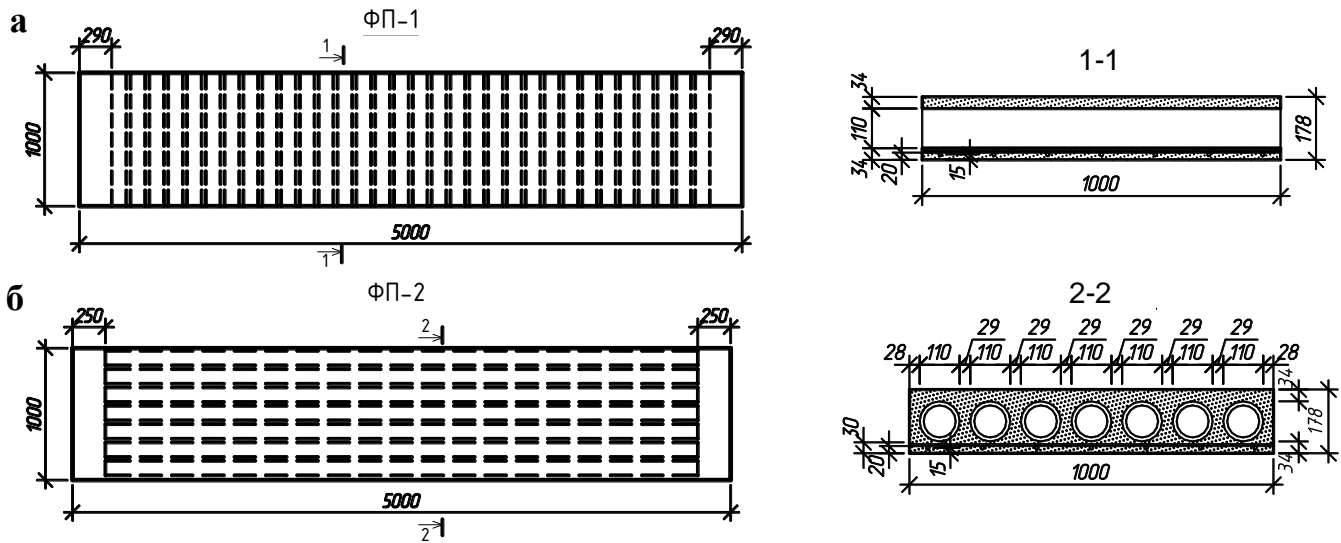


Рис. 1 – Конструкція дослідних зразків плит марки ФП: а – ФП-1; б – ФП-2

Кожен фрагмент випробовували окремо як вільно обперту на всю ширину коротких сторін конструкцію з відстанню між осями опор 4,85 м (рис. 2).



Рис. 2 – Загальний вигляд випробувань: а - плити ФП-1, б - плити ФП-2

Несуча здатність. Під час випробування рівномірно розкладеними чавунними злитками вагою 47–50 кгс після 10-хвилинної витримки плита ФП-1 зруйнувалася на приопорній ділянці. Загальне руйнівне навантаження становило $10,55 \text{ кН/м}^2$, з урахуванням власної ваги плити $13,28 \text{ кН/м}^2$. Вичерпання несучої здатності плити ФП-1 настало внаслідок зрізу бетону у верхній частині перерізу плити, ослабленого наскрізним отвором. Порядок прикладання навантаження в плиті ФП-2 до рівня $11,51 \text{ кН/м}^2$ був аналогічний плиті ФП-1. Плита не зруйнувалася, але мала значні прогини і з умов безпеки навантаження не збільшували. У такому завантаженому стані плита була залишена на добу, після чого в ній дещо збільшилися прогини (рис. 3), але руйнування не настало. Отже, загальна несуча здатність плити ФП-2 є більшою від плити ФП-1 щонайменше на $1,77 \text{ кН/м}^2$ ($>15\%$).

Жорсткість. Жорсткість плит оцінювали за величиною прогинів посередині прольоту, графіки яких подані на рис. 3. На початкових етапах завантаження мав місце злам лінії залежності «прогин – навантаження», що, очевидно, спричинено утворенням тріщин. У плиті ФП-1 цей злам є меншим, що пов'язано з наявністю волосяних тріщин від власної ваги плити після її виготовлення в найослабленіших перерізах – посередині отворів. Загальна жорсткість плити ФП-2 є більшою, ніж жорсткість

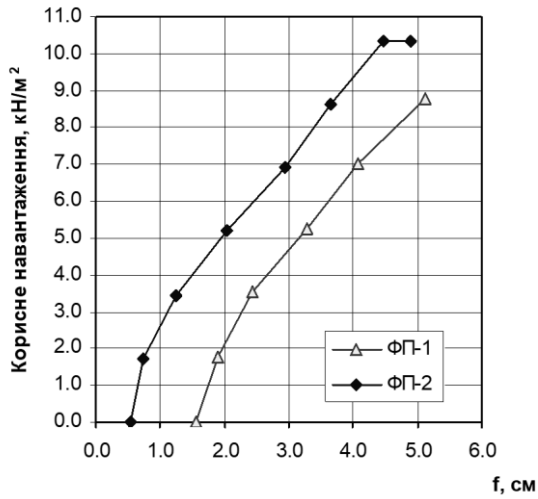


Рис. 3 – Графіки впливу навантаження на прогини дослідних плит типу ФП посередині прольоту

дослідні зразки цієї марки випробовували зосередженим навантаженням за двома схемами: у схемі I відстань між зосередженими силами становила 725 мм, у схемі II – 1015 мм. Відповідно дослідні зразки, випробувані за схемою I, позначені індексом I: ІДФ-1, ІДФ-2, ІДФ-3; за схемою II – індексом II: ІІДФ-1, ІІДФ-2, ІІДФ-3. Дослідні зразки марки ДФ-2 і ДФ-3 виготовляли з поперечним (рис. 4, б) і поздовжнім (рис. 4, в) розташуванням вставок. Крім цього, для порівняння були виготовлені дослідні зразки суцільного перерізу марки ДФ-1 (рис. 4, а). Габаритні розміри всіх дослідних зразків серії I і серії II однакові (рис. 4).

плити ФП-1, на 27-34%.

Тріщиностійкість. Плита ФП-1 перед випробовуванням у середній частині мала нормальні тріщини розкриттям до 0,05 мм з кроком, який повторював крок порожниноутворювачів. Після навантаження нові тріщини не утворювалися, розкривалися існуючі – максимальне їх значення під час навантаження 8,78 кН/м² становило 0,3 мм. Іншим був характер тріщиноутворення у плиті ФП-2, в якій тріщини виникли за навантаження 3,44 кН/м² і мали крок ~300 мм та максимальне розкриття до 0,25 мм.

Дослідження фрагментів перекриття марки ДФ. Згідно з програмою досліджень

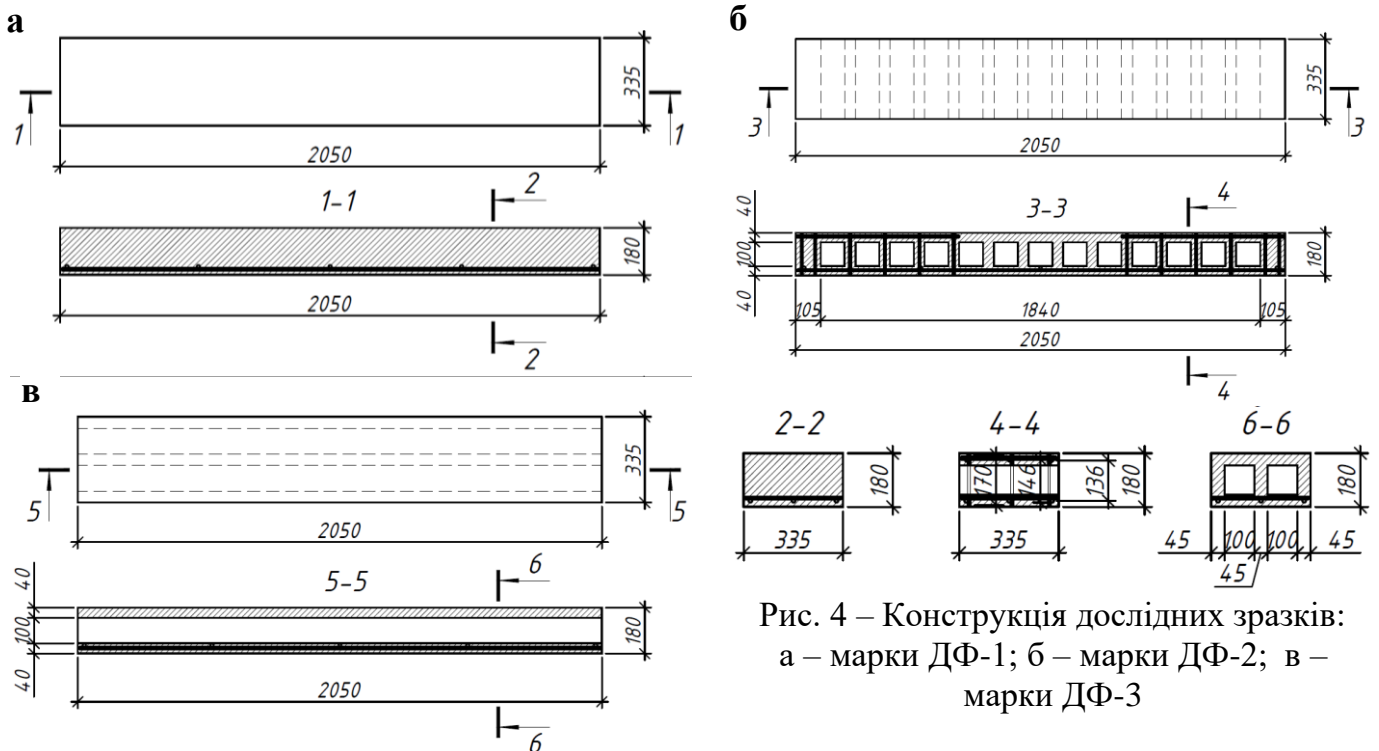


Рис. 4 – Конструкція дослідних зразків: а – марки ДФ-1; б – марки ДФ-2; в – марки ДФ-3

Армування нижньої частини всіх дослідних зразків було однаковим: поздовжня робоча арматура з трьох стрижнів Ø12 А500С, поперечна (конструктивна) діаметром 8 мм класу А 500С з кроком 500 мм. На приопорних ділянках фрагменти ДФ-2 були додатково армовані вертикальними каркасами з арматури класу А500С, Ø12 мм. Фактичні фізико-

механічні характеристики робочої арматури: межа текучості 539 МПа, межа міцності 624 МПа, відносне видовження 11 %. Фактична міцність бетону перед навантаженням дослідних зразків за результатами випробувань стандартних кубів – 27-31 МПа.

Загальні статичні схеми випробувань для дослідних зразків кожної серії були однаковими і відрізнялися лише відстанню між силами в зоні чистого згину (див. вище). Загальні вигляди випробувань зразків ІДФ-2, ІДФ-3 наведені на рис. 5. Для зразка марки ІДФ-1 схема розташування приладів була аналогічною.

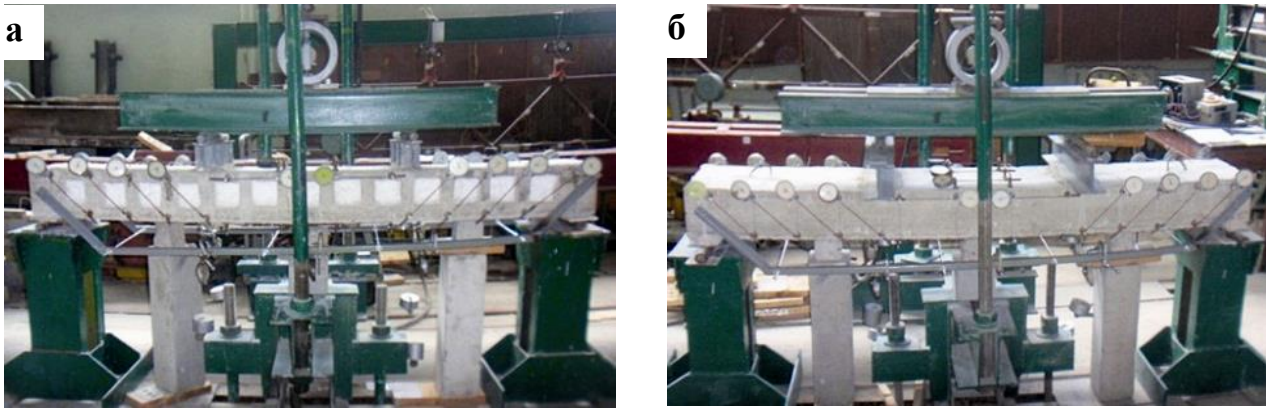


Рис. 5 – Загальні вигляди випробувань дослідних зразків серії I

Результати випробувань дослідних зразків за схемою I. Несуча здатність. Суцільний залізобетонний зразок зруйнувався внаслідок дрібнення бетону в зоні чистого згину з подальшим значним видовженням стержнів поздовжньої робочої арматури. Повне вичерпання несучої здатності зразка ІДФ-1 сталося за навантаження $F = 55$ кН. Дослідний зразок ІДФ-2 з поперечним розташуванням вставок зруйнувався за навантаження $F = 35$ кН. Остаточній втраті несучої здатності передувало тріщиноутворення внаслідок значних деформацій, особливо у вертикальних ребрах і верхній полиці припорних ділянок. Фрагмент ІДФ-3 з поздовжнім розташуванням

вставок зруйнувався в нормальному перерізі. Особливості його руйнування були аналогічними до особливостей руйнування цілого зразка. Остаточне руйнування дослідного фрагмента ІДФ-3 відбулося за навантаження $F = 45$ кН. Порівняно з фрагментом ІДФ-2 несуча здатність фрагмента ІДФ-3 є більшою на 28,6 %.

Деформативність дослідних зразків подана у дисертації у вигляді графіків деформацій нормальних і похилих перерізів, а також прогинів. В нормальних перерізах деформації стиснутого бетону відрізняються незначно. Однак у деформаціях арматури різниця є більшою: вони найменші для зразка ІДФ-1 і найбільші для зразка ІДФ-2 (рис. 6).

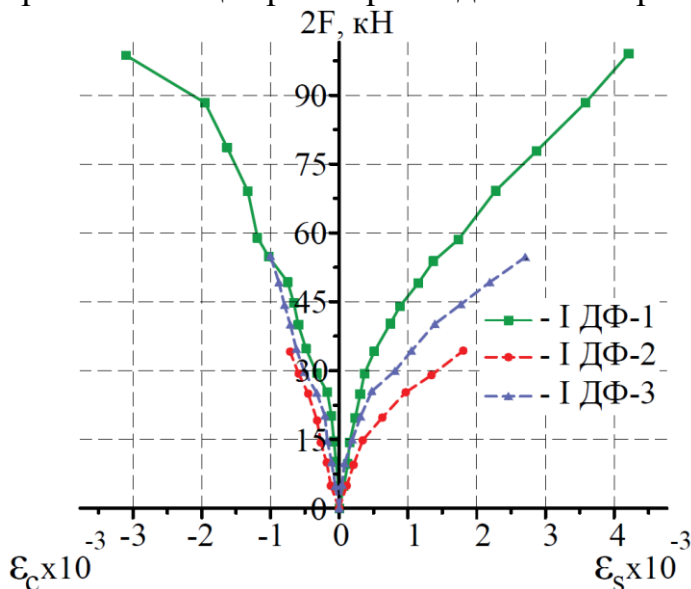


Рис. 6 – Графіки впливу навантаження на деформації бетону та арматури нормальних перерізів дослідних зразків серії I

Деформації похилих перерізів обчислені як середні значення показів чотирьох приладів у кожному з похилих перерізів I-I, II-II, III-III, IV-IV. На відміну від нормальних перерізів, деформації похилих перерізів дослідних зразків відрізняються істотноше (рис. 7). Найменші деформації зафіксовані в зразку ІДФ-1, порівняно більші – у зразку ІДФ-3. Однак найінтенсивніше наростали деформації в похилих перерізах зразка ІДФ-2. Така тенденція спостерігалася у всіх чотирьох похилих перерізах: I-I біля опор, біля сил F в перерізах IV-IV і в проміжних похилих перерізах II-II, III-III. Вибірково графіки деформацій подані на рис. 7 для перерізів II-II і IV-IV.

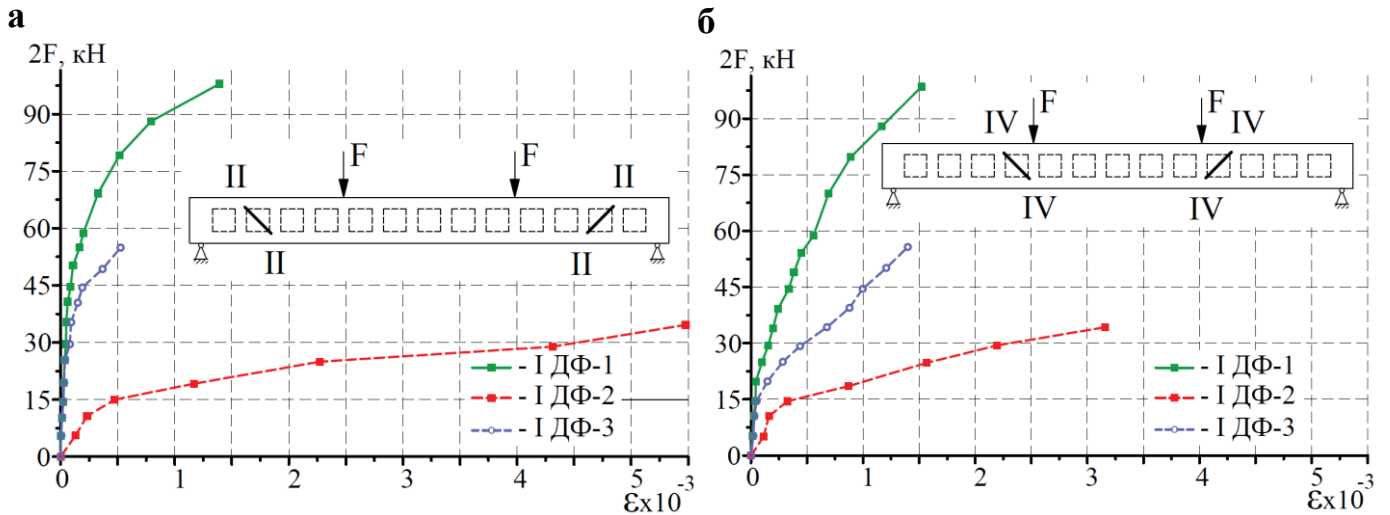


Рис. 7 – Графіки впливу навантаження на деформації в похилих перерізах II-II (а), IV-IV (б) дослідних зразків серії I

Деформації нормальних і похилих перерізів дослідних зразків відобразилися на їхніх прогинах як інтегральній величині деформацій (рис. 8). Найбільшу жорсткість мав цілісний фрагмент, дещо меншу – фрагмент з поздовжнім розташуванням вставок. Жорсткість фрагмента з поперечним розташуванням вставок значно менша. Зокрема, за навантаженням $F = 15$ кН прогин фрагмента ІДФ-1 був в 1,9 більшим від прогину фрагмента ІДФ-2. Очевидно, що така істотна різниця прогинів спричинена в основному деформаціями похилих перерізів дослідних зразків.

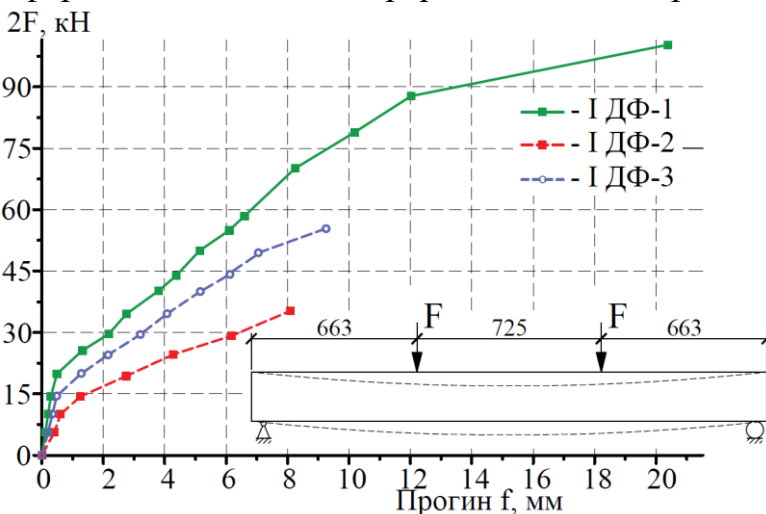


Рис. 8 – Графіки впливу навантаження на прогини дослідних зразків серії I посередині прольоту передувало тріщиноутворення внаслідок значних деформацій, особливо у

Результати випробувань дослідних зразків за схемою II.

Несуча здатність. Зразок ІДФ-1 зруйнувався внаслідок дрібнення бетону в зоні чистого згину з подальшим значним видовженням стержнів поздовжньої робочої арматури. Повне вичерпання його несучої здатності сталося за навантаження $F=71,1$ кН. Зразок ІДФ-2 зруйнувався за навантаження $F=31,9$ кН в похилому перерізі. Остаточному вичерпання його несучої здатності

вертикальних ребрах і верхній полиці приопорних ділянок. Зразок ПДФ-3 також зруйнувався в похилому перерізі, проте вид руйнування відрізнявся від руйнування зразка ПДФ-2 і більше відповідав класичній схемі руйнування залізобетонних згинаних елементів. Похила тріщина розповсюджувалася від зосередженої сили F до опори, а остаточне руйнування сталося за навантаження $F=49,05$ кН, що на 53,8 % більше від руйнівного навантаження фрагмента ПДФ-2.

Жорсткість. Характер зміни деформацій нормальних і похилих перерізів зразків серії II був аналогічним до характеру зміни деформацій зразків серії I, що відповідно відобразилося на розвитку прогинів. Згідно з отриманими результатами, найменшу деформативність мав цільний фрагмент, дещо більшу - фрагмент з поздовжнім розташуванням вставок. Жорсткість фрагмента з поперечним розташуванням вставок була в декілька разів меншою від попередніх двох фрагментів і мала тенденцію до зменшення, особливо після утворення тріщин.

Тріщиностійкість. Перші тріщини в дослідному фрагменті ПДФ-1 виникли в нормальних перерізах за навантаження $F=20$ кН. За навантаження $F=30$ кН виникли перші похилі тріщини. Найбільше розкриття перед початком руйнування мали нормальні тріщини (до 0,5...0,6 мм). Перші нормальні тріщини у фрагменті ПДФ-2 зафіксовані за навантаження $F=20$ кН, похилі – за навантаження $F=17$ кН. У фрагменті ПДФ-3 перші тріщини в нижній частині виникли в нормальних і в похилих перерізах за навантаження $F=20$ кН. За подальшого навантаження появилися тріщини в ребрах у верхній частині перерізу за зоною чистого згину. Перед руйнуванням похилі тріщини мали значне розкриття – до 3-5 мм.

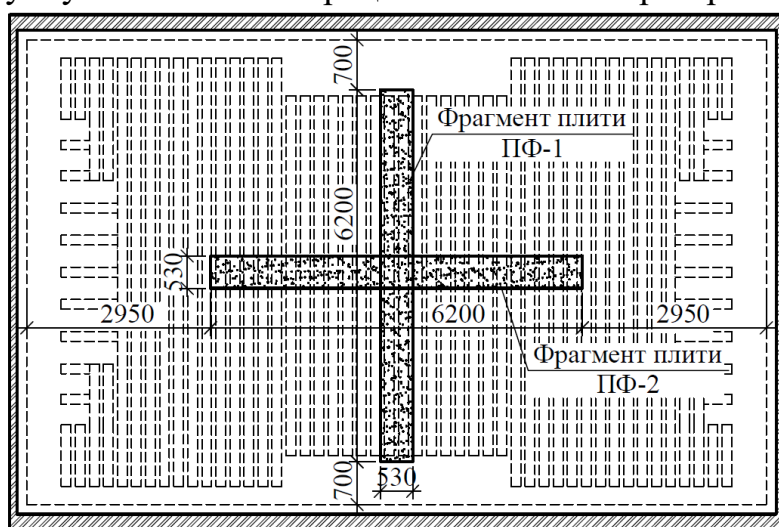


Рис. 9 – План розташування вставок у перекритті та вихідна конструкція фрагментів плит ПДФ-1 та ПДФ-2

Дослідження фрагментів перекриття марки ПФ. Конструкція дослідних зразків і методика експериментальних досліджень. Для експериментальних досліджень було виготовлені два дослідні зразки – фрагменти плити, умовно «вирізані» з прямокутного у плані перекриття з однонапрямленим розташуванням пінополістирольних вставок квадратного перерізу (рис. 9). Таке перекриття було улаштоване при реконструкції будівлі в смт. В. Любінь

Львівської області. Ширина фрагментів – 0,53 м. Висота перерізу, розміри вставок і відстані між ними (товщина ребер) були такими самими, як в натурному перекритті (рис. 10).

Робоча поздовжня арматура в дослідних зразках однакова – по 5 стержнів класу А500С діаметром 12 мм з такими фактичними характеристиками: $\sigma_y = 553$ МПа, $\sigma_u = 663$ МПа, $\delta = 14,1$ %. Для виготовлення дослідних зразків використовували важкий

бетон проектного класу С20/25 з фактичною кубиковою міцністю 29,1 МПа і модулем пружності 28340 МПа.

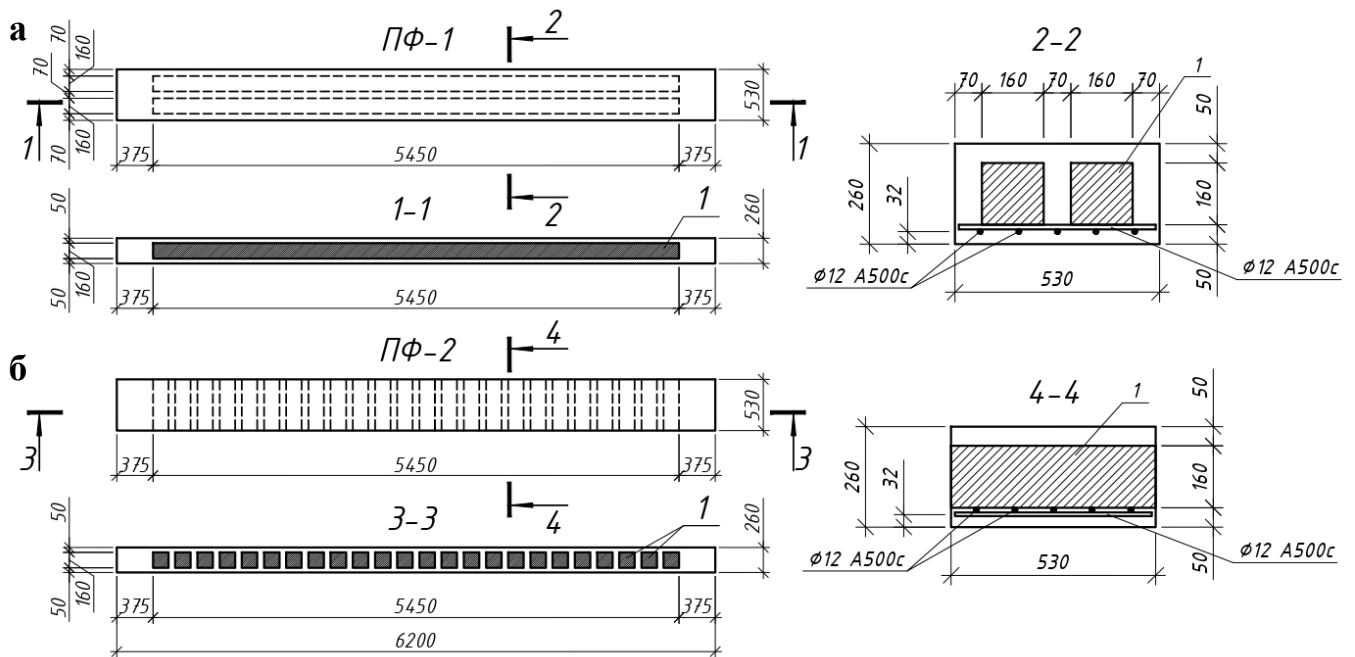


Рис. 10 – Конструкція та армування фрагментів плит: а – марки ПФ-1, б - марки ПФ-2

Плити навантажували бетонними блоками масою 300 кгс, які рівномірно розкладали по верхній грані плит (рис. 11).



Рис. 11 – Загальні вигляди випробувань плити ПФ-1 (а) і плити ПФ-2 (б)

Результати досліджень. Несуча здатність. У зразку ПФ-1 після досягнення в розтягнутій арматурі межі текучості подальше навантаження спричиняло значний приріст деформацій арматури та бетону, прогинів і розкриття тріщин. Внаслідок цього відбувалося зменшення висоти стиснутої зони з подальшим дробленням бетону. Експериментальні величини згинальних моментів під час руйнування зразка ПФ-1 становили 60,9 кН/м, що відповідало еквівалентному рівномірно розподіленому навантаженню 24,7 кН/м². Іншим був характер руйнування фрагмента плити ПФ-2, який зруйнувався внаслідок відшарування нижньої полиці від ребер на приопорній зоні. Величина руйнівного навантаження при цьому становила 9,11кН/м² ($M_u = 19,4$ кН·м).

Деформативність. Плита ПФ-1 зруйнувалася за значно більшого навантаження, ніж плита ПФ-2. Тому деформації плити ПФ-1 були заміряні за вищих, порівняно з

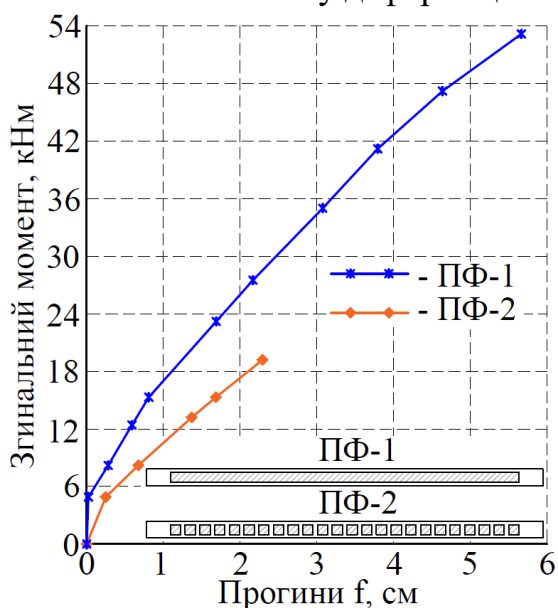


Рис. 12 – Графіки впливу навантаження на прогини плит ПФ-1 і ПФ-2 посередині прольоту

Трещиностійкість. Перші видимі нормальні тріщини виникли в середній частині прольоту за навантаження $5,1 \text{ кН/м}^2$ у плиті ПФ-1 і $2,02 \text{ кН/м}^2$ у плиті ПФ-2. Ширина розкриття тріщин за навантаження $5,1 \text{ кН/м}^2$ ($M = 11,75 \text{ кНм}$) у плиті ПФ-1 становила $0,05 \text{ мм}$, у плиті ПФ-2 – $0,25 \text{ мм}$; за навантаження $9,6 \text{ кН/м}^2$ ($M = 23,2 \text{ кНм}$) відповідно $0,2 \text{ мм}$ і $0,35 \text{ мм}$.

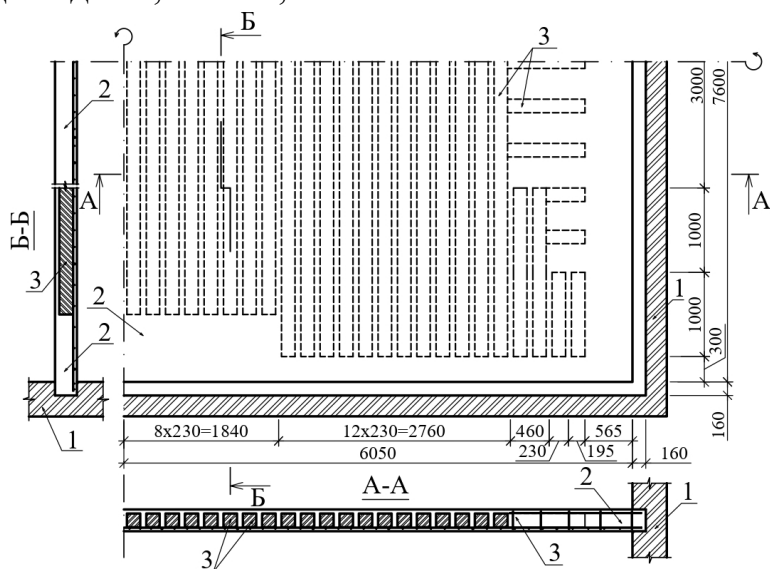


Рис. 13 – Фрагмент чверті загальної конструкції перекриття з вставками: 1 – муровані стіни; 2 – монолітний залізобетон; 3 – вставки

вертикальні ребра і вставки (рис. 13, переріз А-А). Розташування вставок і армування прийняті з урахуванням статичного розрахунку перекриття. У поздовжньому напрямку конструкція перекриття, на відміну від поперечного, є неоднорідною (переріз Б-Б). Армування нижньої зони – стержні $\text{Ø}12 \text{ мм}$ класу А 500С з кроком 200 мм .

плитою ПФ-2, рівнів навантаження. В дисертаційній роботі подані порівняльні графіки деформацій дослідних зразків фрагментів плит в нормальних і похилих перерізах. Характер їх зміни в принципі є аналогічним до плит попередніх марок і підтверджує суттєву різницю між дослідними зразками з поперечним і поздовжнім розташуванням вставок. Відповідно прогини плити ПФ-2 є значно більшими порівняно з прогинами плити ПФ-1 (рис. 12). Ця різниця спостерігалася уже на початкових етапах навантаження і була більшою в середній частині прольоту плит та меншою на приопорних ділянках. За згинального моменту $18,9 \text{ кНм}$ прогин плити ПФ-2 був на $79,2 \%$ більший, ніж прогин плити ПФ-1.

Натурні випробування монолітного плоского перекриття. Конструкція і методика випробувань. Загальна висота перерізу перекриття $h = 260 \text{ мм}$ прийнята насамперед з умов жорсткості. У середній частині перекриття вставки з пінополістиролу розмірами перерізу $160 \times 160 \text{ мм}$ розташовані в поперечному напрямку з відстанню між ними в плані 70 мм . У результаті у цьому напрямку отримали часторебристу конструкцію, в якій почергово розташовані

Випробування проводили з використанням попередньо зважених цеглин і піску. Вантажі розкладали у кількох смугах, розташованих переважно у середній частині прольоту для створення більшого згинального моменту (рис. 14). Це дало можливість



Рис. 14 – Загальний вигляд випробування перекриття

розкласти вантажі вручну, і забезпечити доступ до приладів для вимірювання деформацій.

Навантажували перекриття поетапно з доведенням до максимального рівня $3,40 \text{ кН/м}^2$, що на 13 % перевищує характеристичне навантаження, прийняте для розрахунку і проектування плит. Розвантажуючи, створювали можливе несиметричне і нерівномірне розподілене навантаження на перекриття (рис. 15).



Рис. 15 – Схеми розташування вантажних площ при розвантаженні

Несуча здатність. Згідно з завданням замовника, перекриття розраховане на проектне характеристичне навантаження $3,0 \text{ кН/м}^2$. На основі цього визначали величину випробувального навантаження. Його прикладали поетапно, рівномірно розподіляючи вантажі по зазначеній вище площі. Величина довантаження на кожному етапі становила $\sim 0,3\text{--}0,5 \text{ кН/м}^2$. Під час навантаження на кожному етапі стежили за загальною поведінкою перекриття, показами приладів тощо. Жодних характерних ознак (зокрема стрімкого наростання деформацій, прогинів) на було виявлено, у т.ч. за досягнення рівня $v = 3,4 \text{ кН/м}^2$, яке майже відповідало величині розрахункового корисного навантаження. Загальна величина навантаження з урахуванням власної ваги перекриття становила $8,6 \text{ кН/м}^2$.

Деформативність. Графіки окремих прогинів та епюри прогинів у серединних перерізах коротшого і довшого прольотів при поетапному навантаженні подані на рис. 16.

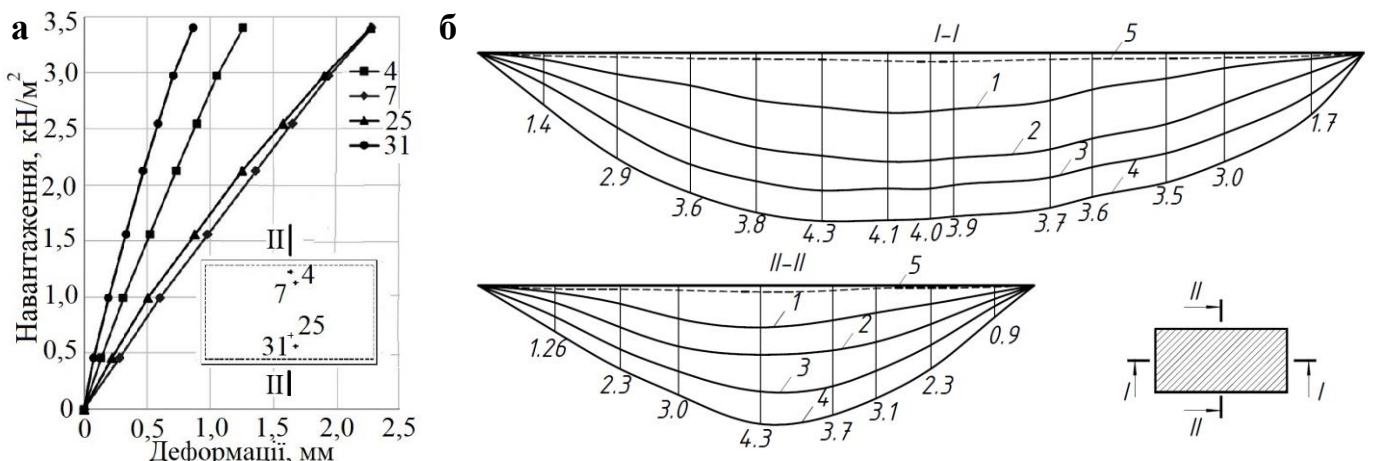


Рис. 16 – Графіки (а) та епюри (б) експериментальних прогинів перекриття: 1 – $v = 1,5 \text{ кН/м}^2$; 2 – $v = 2,1 \text{ кН/м}^2$; 3 – $v = 2,8 \text{ кН/м}^2$; 4 – $v = 3,4 \text{ кН/м}^2$; 5 – після розвантаження

Найбільші прогини були зафіксовані у середній частині плити. За максимального навантаження $v = 3,4 \text{ кН/м}^2$ вони становили 4,3 мм або $1/1617$ і $1/2574$ відносно короткого і довгого прольотів плити, що свідчило про її значну жорсткість. Під час розвантаження перекриття за кожною з п'яти несиметричних схем не виявили істотного впливу на зміну особливостей прогинів, що підтвердило значну жорсткість перекриття в обидвох напрямках і його значну крутну жорсткість.

Тріщиностійкість. Перші видимі нормальні тріщини виникли в середній частині прольоту перекриття за навантаження $1,1 \text{ кН/м}^2$. Вони були орієнтовані перпендикулярно до коротких сторін перекриття. Максимальні значення ширини розкриття тріщин у середній частині перекриття за навантаження $3,4 \text{ кН/м}^2$ становили 0,25–0,3 мм.

Дослідження верхньої полиці на продавлювання. Для експериментальних досліджень верхньої полиці на продавлювання виготовлено два дослідні зразки загальною довжиною 1,22 м, шириною 0,53 м, висотою перерізу 0,26 м, тобто за загальною конструкцією вони були аналогічними до зразків марки ПФ. Верхню полицю дослідних зразків не армували. Фактична міцність бетону на час випробувань становила 19,1–20,9 МПа, модуль пружності $3,21 \cdot 10^3 \text{ МПа}$. Верхню полицю над кожною порожниною розрізали в поперечному напрямку на 5 частин, почергово навантажуючи через штамп $3 \times 5 \text{ см}$ (рис. 17). Загалом випробувано 30 фрагментів верхньої бетонної полиці різної товщини. Руйнівне навантаження залежно від товщини полиці t і змінювалося від 5 кН до 31 кН (рис. 18).



Рис. 17 – Загальний вигляд випробування верхньої полиці на продавлювання

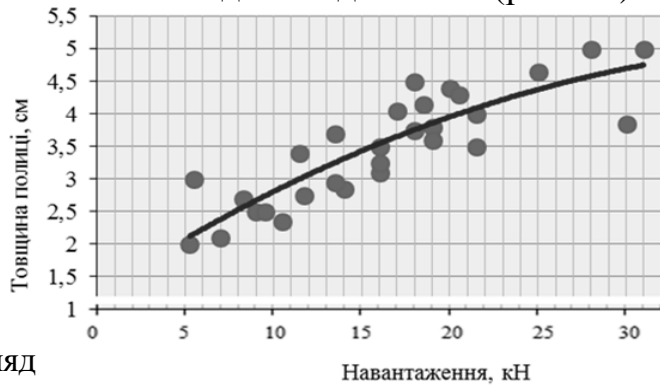


Рис. 18 – Графік впливу навантаження на продавлювальну силу полиці

плитних конструкцій з однонапрямленими порожнинами. На прикладі перекриття визначено циліндричні жорсткі плитних конструкцій з однонапрямленими вставками круглого, квадратного і прямокутного перерізів, які найчастіше використовують в практиці будівництва (рис. 19).

Оскільки лінійні розміри перекриттів у плані є на порядок більшими від її товщини ($h/l < 1/10$), для розробки методики розрахунку використана теорія згину пластин. Вихідна система рівнянь рівноваги конструкційно-ортотропної пластини, яка моделює залізобетонну плиту з однонапрямленими порожнинами:

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} - \frac{\partial Q_y}{\partial y} + q = 0, \quad \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial M_y}{\partial y} + Q_y = 0; \quad \frac{\partial M_{yx}}{\partial y} - \frac{\partial M_x}{\partial x} - Q_x = 0; \quad (1)$$

де q – інтенсивність зовнішнього навантаження в напрямку OZ ; M_x, M_y – згинальні та $M_{xy} = -M_{yx}$ – крутні моменти; Q_x, Q_y – перерізуючі зусилля.

У четвертому розділі подані пропозиції щодо розрахунку плитних залізобетонних конструкцій з одно- і дво-напрямленими порожнинами.

Пропозиції щодо розрахунку

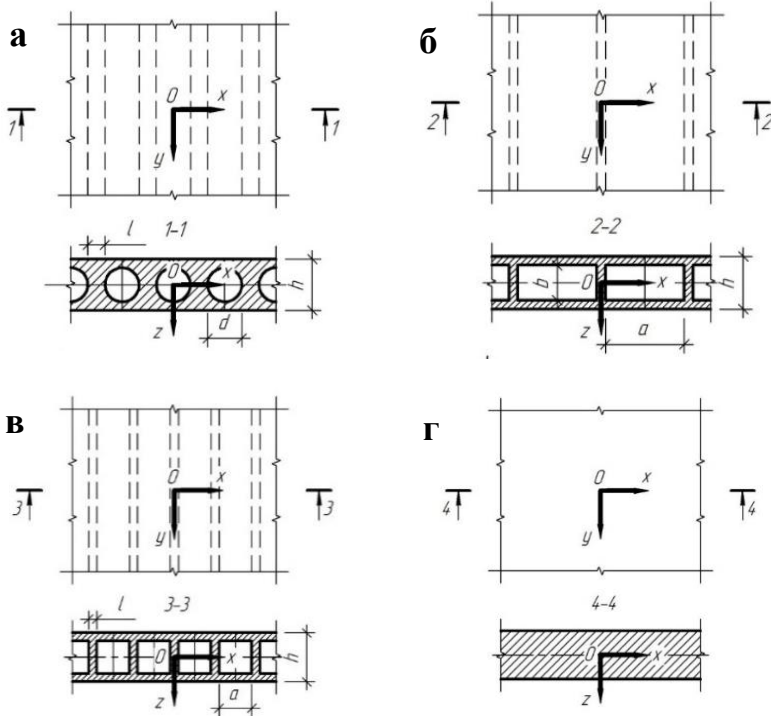


Рис. 19 – Фактичні (а, б, в) і розрахунковий (г) перерізи монолітного перекриття

Компоненти деформацій серединної поверхні плити χ_{11} , χ_{22} , τ виражаються через прогин w так:

$$\left. \begin{aligned} \chi_x &= -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \\ \chi_y &= -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}; \\ \tau &= -\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{aligned} \right\} (2)$$

Рівняння стану, які зв'язують моменти M_x , M_y , M_{xy} та M_{yx} , з кривизною серединної поверхні χ_{11} , χ_{22} , τ плити, записуємо у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} M_x(x, y) &= D_x^* \chi_x(x, y) + D_y'^* \chi_y(x, y); & M_y(x, y) &= D_y^* \chi_y(x, y) + D_x'^* \chi_x(x, y); \\ M_{xy}(x, y) &= 2D_{xy}^* \tau(x, y); & M_{yx}(x, y) &= -2D_{yx}^* \tau(x, y), \end{aligned} \right\} (3)$$

Тут D_x^* , D_y^* , $D_x'^*$, $D_y'^*$, D_{xy}^* , D_{yx}^* – перехідні циліндричні жорсткості на згин та на кручення у відповідних напрямках. Їх можна подати у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} D_x^* &= c_x \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}; & D_y^* &= c_y \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}; & D_x'^* &= \nu c_x' \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}; \\ D_y'^* &= \nu c_y' \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}; & D_{xy}^* &= c_{xy} \frac{Gh^3}{12}; & D_{yx}^* &= c_{yx} \frac{Gh^3}{12}, \end{aligned} \right\} (4)$$

де h – товщина перекриття; c_x , c_y , c_x' , c_y' , c_{xy} та c_{yx} – коефіцієнти, що залежать від конструкційної особливості залізобетонного перекриття. Значення цих коефіцієнтів характеризують зменшення циліндричних жорсткостей порівняно з такими ж величинами для суцільної залізобетонної плити товщиною h .

З використанням МСЕ, залежно від прикладеного навантаження встановлено прогини w порожнистого перекриття, на основі яких розраховано кривизни серединної поверхні χ_x , χ_y , χ_{xy} . Відтак зі співвідношень (3), маючи задані моменти M_x , M_y , M_{xy} , а також встановлені кривизни χ_x , χ_y , χ_{xy} , визначено відповідні циліндричні жорсткості (5). Для таких елементів виконуються співвідношення:

$$\left. \begin{aligned} D_x^* \chi_x^{(A)} + D_y'^* \chi_y^{(A)} &= M_x; & D_y^* \chi_y^{(A)} + D_x'^* \chi_x^{(A)} &= 0; & D_x^* \chi_x^{(B)} + D_y'^* \chi_y^{(B)} &= 0; \\ D_y^* \chi_y^{(B)} + D_x'^* \chi_x^{(B)} &= M_y; & 2D_{xy}^* \chi_{xy}^{(C)} &= M_{xy}, \end{aligned} \right\} (5)$$

які утворюють систему лінійних алгебраїчних рівнянь для визначення невідомих жорсткостей. Тут індекс A відповідає прикладеному згинальному моменту M_x (рис. 20, а), B – згинальному моменту M_y (рис. 20, б) та C – крутному моменту M_{xy} (рис. 20, в), що показано на прикладі перекриття з квадратними вставками.

З отриманих даних для прогинів w середньої поверхні залізобетонного пластинчастого елемента визначені відповідні кривизни $\chi_x^{(A)}$, $\chi_y^{(A)}$, $\chi_x^{(B)}$, $\chi_y^{(B)}$ та $\chi_{xy}^{(C)}$, що входять у систему рівнянь (5). Розв'язуючи її, отримані циліндричні та крутні жорсткості залізобетонного перекриття з порожнинами квадратної форми заданих розмірів.

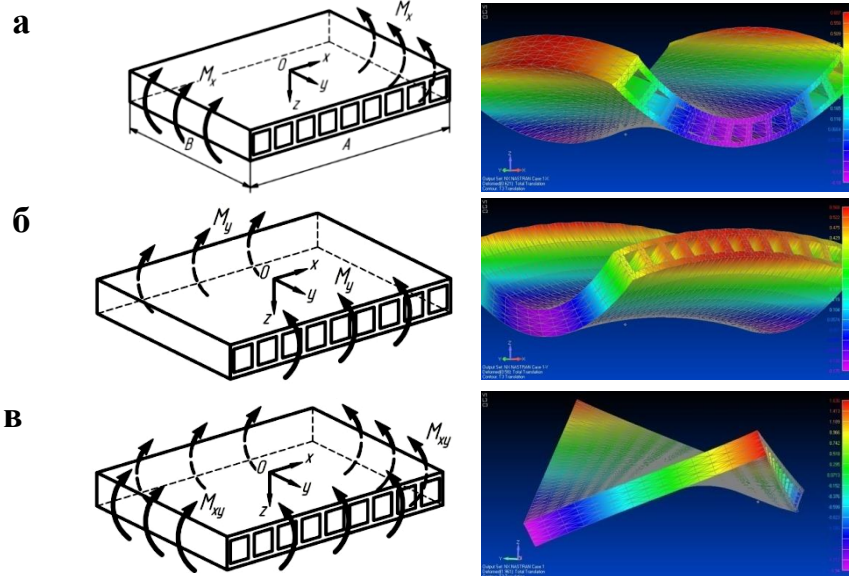
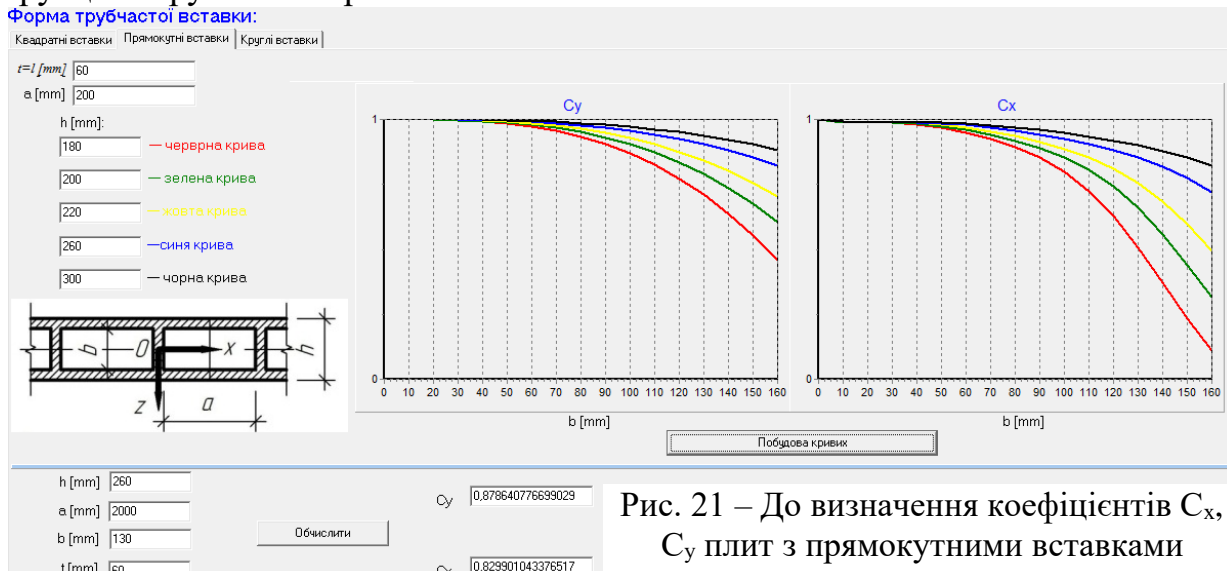


Рис. 20 – Схема завантаження та деформування залізобетонного перекриття з квадратними порожнинами: а – моментом M_x ; б – моментом M_y ; в – моментом M_{xy}

Змінюючи геометричні розміри порожнин квадратної форми, на основі запропонованого алгоритму встановлено циліндричні жорсткості D_x^* , D_y^* для відповідних залізобетонних перекриттів та відповідні коефіцієнти C_x та C_y . Застосовуючи вище викладений підхід, промодельовано роботу фрагментів монолітних перекриттів з круглими, квадратними і прямокутними порожнинами з різними геометричними параметрами поперечних перерізів.

Ці параметри були прийняті в діапазоні, прив'язаному до розмірів перекриттів та інших плитних конструкцій, які можуть використовуватися на практиці. Результати моделювання отримані у вигляді комп'ютерної програми (алгоритму), що дає змогу, задаючи геометричні параметри плит з вставками, отримати відповідні коефіцієнти C_x , C_y . Для наглядності вони виводяться на дисплей у графічному вигляді з одночасним поданням числових значень параметрів C_x , C_y .

На рис. 21 показано роздрок із зображенням графіків зміни коефіцієнтів C_x , C_y і значеннями цих коефіцієнтів за вказаних на рисунках геометричних параметрів для плит з прямокутними порожнинами. В дисертаційній роботі вони подані також для плитних конструкцій з круглими порожнинами.



На рис. 22 подано порівняльні графіки експериментальних і теоретичних значень прогинів посередині натурального перекриття. Теоретичні значення прогинів отримані за результатами розрахунку в ПК ЛПА, моделюючи роботу плити з використанням пластинчастих елементів КЄ 241 з врахуванням фізичної нелінійності. Розрахунки проводили за двома варіантами – без врахування і з врахуванням коефіцієнтів c_x , c_y . Врахування в розрахунках цих коефіцієнтів дало задовільну збіжність з експериментальними значеннями прогинів.

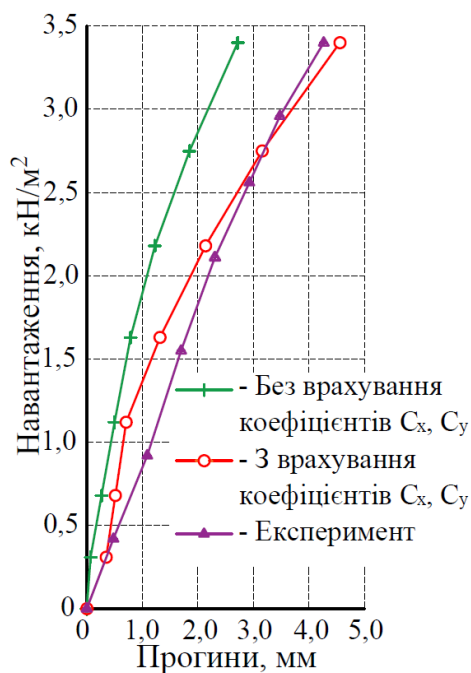


Рис. 22 – Вплив навантаження на зміну прогинів натурального перекриття

В дисертаційній роботі за результатами експериментально-теоретичних досліджень показано, що розрахунок несучої здатності нормальних перерізів фрагментів монолітних залізобетонних перекриттів з однонапрямленими порожнинами круглого і квадратного перерізу за деформаційним методом згідно з ДСТУ Б.В.2.6-156:2010 достатньо добре відображає модельований процес як кількісно, так і якісно.

Розроблена також методика розрахунку прогинів фрагментів залізобетонного перекриття з однонапрямленими порожнинами при моделюванні НДС з врахуванням нелінійності деформування стиснутого бетону згідно з ДБН В.2.6-98:2009 і розтягнутого бетону. При цьому залежність між розтягуючими напруженнями і деформаціями бетону прийнята за структурою формули (3.4) зазначених норм, яка стосується стиснутого бетону, але з використанням параметрів, встановлених для розтягнутого бетону. Отримані значення прогинів дали задовільну збіжність з експериментальними прогинами дослідних зразків типу ПФ (див. розділ 3).

Пропозиції щодо розрахунку плитних залізобетонних конструкцій з двонапрямленими порожнинами. Обґрунтування розрахункових схем. У більшості конструктивних вирішень залізобетонних плит з порожнинаутворювальними вставками маємо квадратні чи прямокутні в плані їх обриси з відповідним взаємно перпендикулярним внутрішнім розташуванням проміжних балок - ребер. В їх розрахунковій схемі необхідно врахувати і проаналізувати вплив загальних і місцевих силових факторів.

Розглянемо це на прикладі перекриття з прямокутними вставками, фрагмент якого подано на рис. 23. У загальній конструкції плити в околі перерізу балок маємо двотаврові перерізи в кожному з напрямів (напрямки X і Y) – надалі бітаврові перерізи. Розраховуючи тріщиноутворення, використовуємо двотавровий переріз (рис. 23а), при розрахунку за несучою здатністю – умовно тавровий переріз (рис. 23б).

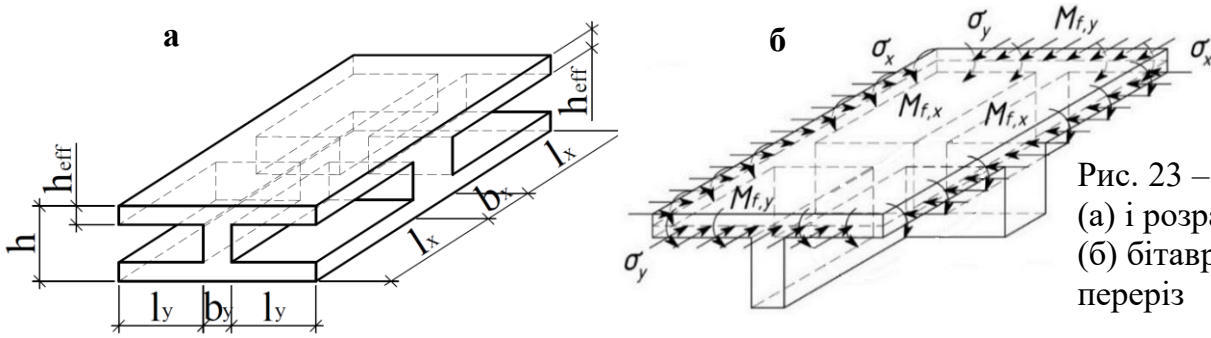


Рис. 23 – Фактичний (а) і розрахунковий (б) бітавровий переріз

У верхній полиці перекриття в середній (міжбалковій) частині діють згинальні моменти, що розтягують нижні волокна полиці, стискаючи верхню зону. Біля балок і над балками в полиці виникають моменти протилежного напрямку (знаку), які спричиняють зусилля розтягу верхніх волокон полиці і, відповідно, стиск нижньої її зони. Проте зусилля розтягу в арматурі в напрямку Х на одиницю довжини N_{s1}^x полиці з умов рівноваги дорівнює аналогічному стискаючому зусиллю в бетоні N_{b1}^x , в напрямку Y аналогічно: $N_{s1}^y = N_{b1}^y$. Тому ці пари зусиль взаємно врівноважуються і в проекції на горизонтальні осі дорівнюють нулю. Таким чином, в розрахунковій схемі верхніх полиць залишаються стискаючі напруження σ_y і σ_x від дії загальних моментів M_x, M_y . Відношення товщини полиці h_{eff} до робочої висоти всього перерізу в перекриттях та інших плитних конструкціях з вставками знаходиться в межах від $\sim 0,2$ до $0,3$. Тому від дії загального згинального моменту M_z вся полиця є стиснутою як в напрямі Х, так і в напрямі Y. Таким чином, верхня частина перекриття (полиця разом з балками) працює в умовах двовісного стиску.

Розрахункові залежності. Комплексні дослідження стиснутого в обидвох напрямках бетону, проведені в НДІБК, показали, що за двовісного стиску спостерігається позитивний вплив на граничні міцнісні та деформативні властивості бетону – відповідно на 16...30% (рис. 24а) і 23...56% (рис. 24б) в залежності від рівня другої складової напружень в бетоні σ_{b2} .

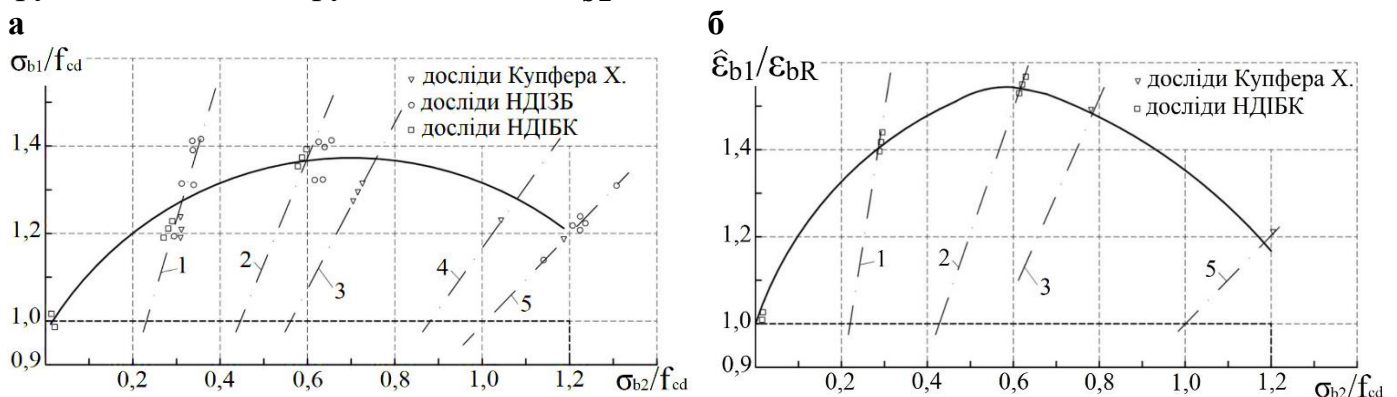


Рис. 24. Граничні криві міцності (а) та деформативності (б) бетону при двовісному стиску: 1 – $\sigma_{b1}=0,2\sigma_{b1}$; 2 – $\sigma_{b2}=0,4\sigma_{b1}$; 3 – $\sigma_{b2}=\sigma_{b1}$; 4 – $\sigma_2=0,8\sigma_{b1}$; 5 – $\sigma_{b1}=\sigma_{b2}$

За результатами експериментальних досліджень, у т.ч. з врахуваннями досліджень інших авторів отримано наступні залежності:

$$\frac{\hat{\sigma}_{b1}}{f_{cd}} = 1 + 1,38 \frac{\sigma_{b2}}{f_{cd}} - 1,15 \left(\frac{\sigma_{b2}}{f_{cd}} \right)^2 \quad (6)$$

$$\frac{\hat{\varepsilon}_{b1}}{\varepsilon_{bR}} = 1 + 2,15 \frac{\sigma_{b2}}{f_{cd}} - 1,95 \left(\frac{\sigma_{b2}}{f_{cd}} \right)^2, \quad (7)$$

у котрих $\hat{\sigma}_{b1} = f_{cd}$ та $\hat{\varepsilon}_{b1} = \varepsilon_{bR}$ при $\sigma_{b2}/f_{cd} = 0$; $\hat{\sigma}_{b1} = 1,3f_{cd}$ та $\hat{\varepsilon}_{b1} = 1,56\varepsilon_{bR}$ при $\sigma_{b2}/f_{cd} = 0,4$; $\sigma_{b1} = 1,15f_{cd}$ та $\hat{\varepsilon}_{b1} = 1,23\varepsilon_{bR}$ при $\sigma_{b2}/f_{cd} = 1,0$.

У цих залежностях: $\hat{\sigma}_{b1}$ – граничні значення головного (більшого) стискаючого напруження σ_{b1} ; f_{cd} – розрахункове значення міцності бетону на стиск; $\hat{\varepsilon}_{b1}$ – деформації бетону, що відповідають його максимальним напруженням по напрямку більшого стискаючого зусилля (граничні значення відносних деформацій бетону за напруження $\hat{\sigma}_{b1}$); ε_{bR} – граничні деформації бетону за одновісного стиску; σ_{b2} – поперечне (перпендикулярне) до σ_{b1} стискаюче напруження (друга складова напружень). Ці залежності прийняті за основу в чинних нормативних документах, проте в них використовується не характеристична (нормативна), а розрахункова міцність бетону на стиск.

Розроблено алгоритм розрахунку плитних конструкцій з двонапрямленими порожнинами. Подано приклад розрахунку за цією методикою натурального перекриття з вставками, який показав, що врахування двовісного НДС бетону суттєво збільшує міцність бетону і жорсткість перекриття. Для розглянутого в дисертації перекриття з вставками загальними розмірами в плані 5,8 x 6,9 м товщиною 20 см міцність бетону і жорсткість перекриття збільшилися відповідно на 28,3 і 19,3 %.

Розрахунок верхньої полиці плити на продавлювання. Несуча здатність верхньої неармованої полиці плити на продавлювання розраховувалась за схемами і розрахунковими залежностями різних будівельних норм. Крім визначення продавлювальної сили за різної товщини полиці за розрахунковими залежностями цих норм, обчислювали також її значення з використанням програмного комплексу «Ліра», який дав найкращу збіжність з експериментальними значеннями. Згідно з отриманими результатами, величину продавлювальної сили, розраховану за ДСТУ Б В.2.6-156:2010, рекомендується збільшувати множенням на коефіцієнт $K = 1,3-1,5$ залежно від товщини полиці.

П'ятий розділ містить результати досліджень натурних бетонних порожнистих блоків та їх малогабаритних моделей.

Натурні випробування. Програма і методика випробувань. Для проведення досліджень були розроблені і виготовлені основні дослідні натурні взірці блоків 4-х типів (рис. 25), додатково порожнисті половинчасті блоки, також суцільні блоки для випробувань основних взірців в складі фрагментів стін підвалу. Загальні (габаритні) розміри основних експериментальних взірців відповідали блоку номінальними розмірами 2,4x0,6x0,4 м (марки ФБС 24.4.6 за ДСТУ Б.В.2.6-108:2010), який найчастіше використовують в будівництві.

Згідно з завданнями досліджень, при випробуваннях визначали фактичну несучу здатність порожнистих блоків як стінових конструктивних елементів за різних умов навантаження і взаємного розташування блоків.

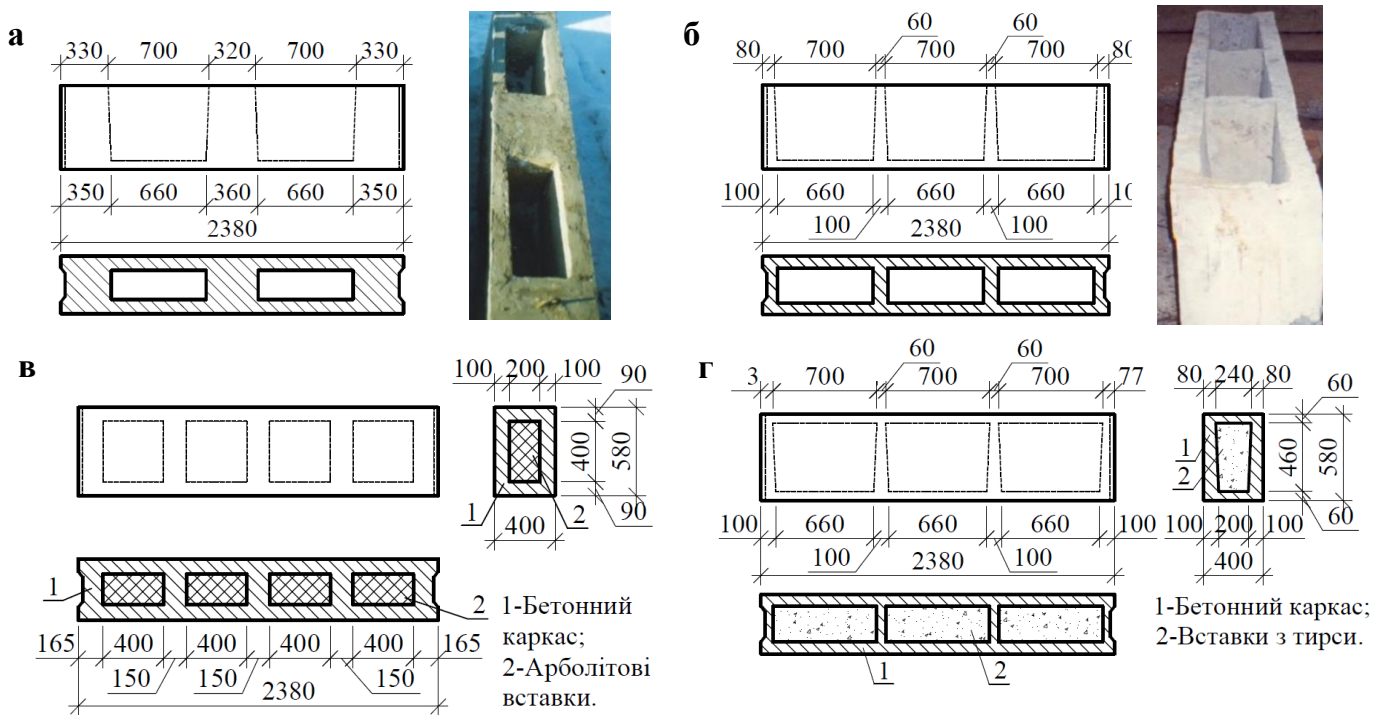


Рис. 25 – Конструкція основних натурних порожнистих блоків: а – марки 2ФБП; б – марки 3ФБП; в – марки ФБА; г – марки ФБС

Для цього було розроблено 9-ть схем (конструкцій фрагментів стіни і навантаження – рис. 26) і виготовлено основні та допоміжні блоки у кількості: марки 2ФБП - 4 шт; марки 3ФБП - 1 шт; марки 1ФБП - 9 шт; марки ФБТ – 3 шт; марки ФБС – 1 шт; цільні марки ФБС - 12 шт. Кожна схема передбачала три ряди блоків. Основні експериментальні блоки розташовували у 2-му ряді.

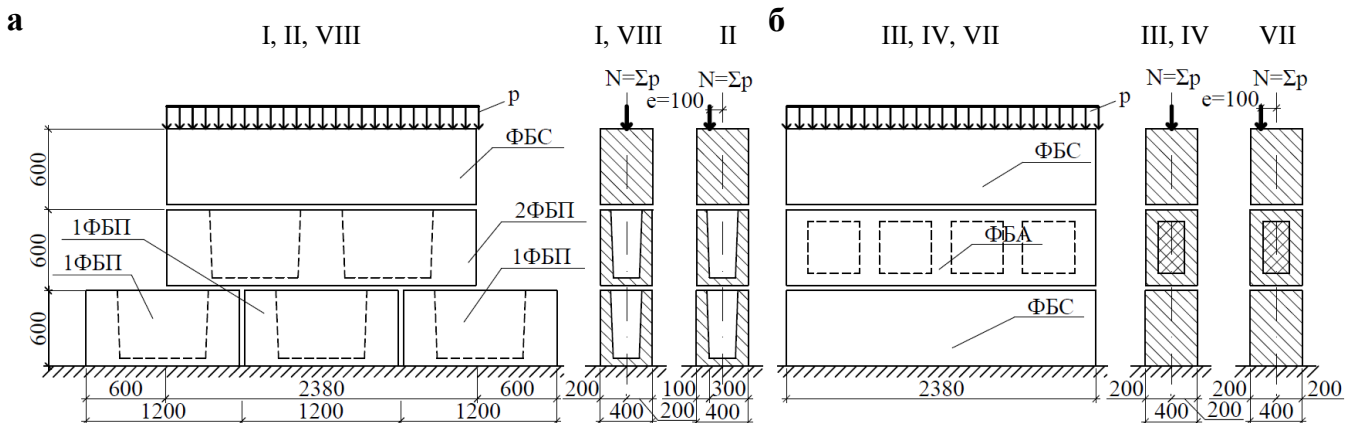


Рис. 26 – Конструкція фрагментів стіни і завантаження порожнистих блоків: а – за схемами I, II, VIII; б – за схемами III, IV, VII

Загальні схеми випробувань V, VI були аналогічними до схем випробувань III і IV, тобто порожнисті блоки знаходилися у середньому ряді між верхніми та нижніми цільними блоками. В схемах I, III – VI, VIII, IX навантаження прикладали центрально, що є близьким до дійсної роботи крайніх фундаментних стін в будівлях середньої і високої поверховості та середніх стін усіх будівель. Схеми II і VII передбачали позакентрове прикладання

навантаження з ексцентриситетом 10 см, характерним для зовнішніх стін малоповерхових будівель. Загальні вигляди випробувань за різних схем навантаження подані на рис. 27.

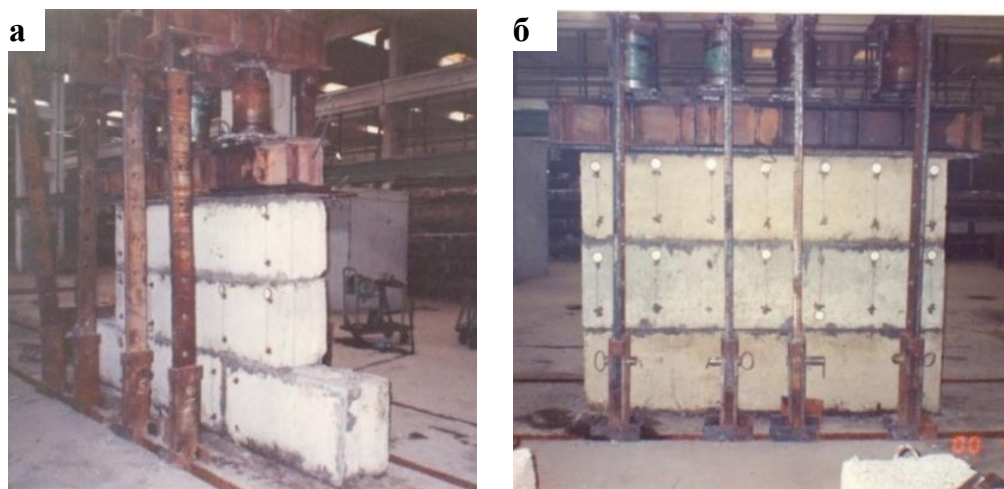


Рис. 27 – Загальні вигляди випробувань блоків: а – за схемами I, II, VIII; б – за схемами III-VII, IX

Несуча здатність і тріщиностійкість. Руйнування порожнистих блоків настало за рівня напружень в бетоні, які є меншими на 12...38% від його призмової міцності. Найбільше використання міцності бетону на стиск досягнуто в блоках із замкнутими порожнинами. Руйнуванню блоків передувало утворення, як правило, вертикально орієнтованих тріщин. Їх виникнення зафіксовано за досить високих рівнів навантаження – 73...91 % від руйнівного. Тривала витримка під цим навантаженням не призводила до повного вичерпання несучої здатності блоків і вони зруйнувалися лише після додатково прикладеного навантаження. Тому за критерії оцінки несучої здатності експериментальних блоків були прийняті навантаження, за яких утворилися вертикальні тріщини, і навантаження, яке відповідає остаточному руйнуванню блоків. За цими двома критеріями визначили розрахункову несучу здатність, виходячи з якої була обчислена допустима поверховість типових секцій житлових будівель: для блоків марки 2ФБП – 7 поверхів; марки 3ФБП – 5 поверхів; марки ФБА – 10 поверхів; марки ФБТ – 6 поверхів. Підвищуючи проектну міцність бетону з 10 МПа до 15 МПа, поверховість можна збільшити на 37-40 %, тобто щонайменше на третину. Найбільшу несучу здатність мають блоки із замкнутими порожнинами, особливо блоки з арболітовими вставками. Експериментальні значення несучої здатності кожної з 9-ти схем подані в табл. 1.

Деформативність. За результатами заміру відносних деформацій крайніх фібр бетону блоків в поздовжньому (відносно дії навантаження) напрямку отримано дані щодо їх деформативності, які представлені в роботі у вигляді графіків залежності відносних деформацій бетону ϵ від сумарної величини прикладеного навантаження N . Зокрема, на рис. 28 зображено характер деформування зовнішніх фібр бетону порожнистих блоків, випробуваних за схемою I.

В дисертаційній роботі подані графіки деформацій дослідних зразків для всіх схем. За рівнів навантаження від 0 до 0,4...0,5 від руйнівного спостерігалася майже прямо пропорційна залежність деформацій від навантаження, тобто пружна робота бетону, а при вищих рівнях - відхилення від лінійної залежності, причому як в бік збільшення, так і в бік зменшення. Як правило, зміна деформацій поперечних стінок (ребер) була аналогічною до зміни поздовжніх деформацій призм при їх завантаженні осьовою силою, тобто з поступовим викривленням графіка деформацій в бік ϵ внаслідок прояву пластичних

деформацій бетону. По іншому деформувалися крайні фібри бетону поздовжніх стінок-ребер. За окремими винятками, приріст деформацій в них був суттєво меншим, а в деяких блоках спостерігали зміну кривизни на графіках деформацій, тобто їх зменшення.

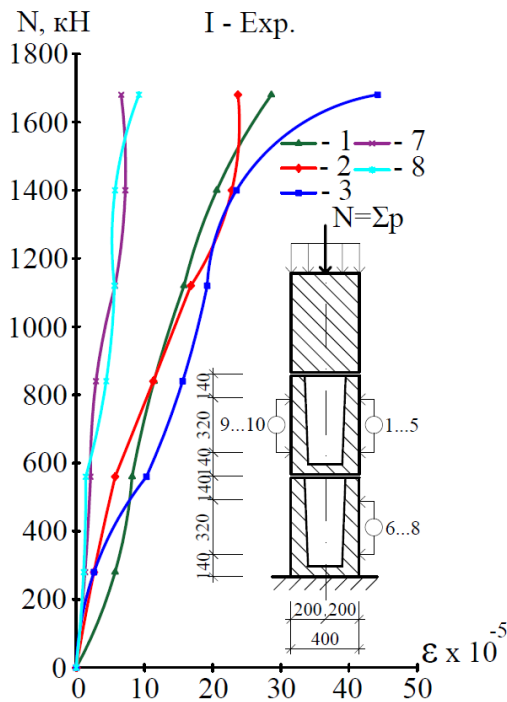


Рис. 28 – Вплив поетапного навантаження на вертикальні деформації блоків (схема I)

експериментальних досліджень. Нижче вони подані для схеми I (рис. 29). У дисертаційній роботі представлені експериментальні і теоретичні графіки деформацій блоків для всіх 9-х схем. З порівняння з експериментальними значеннями

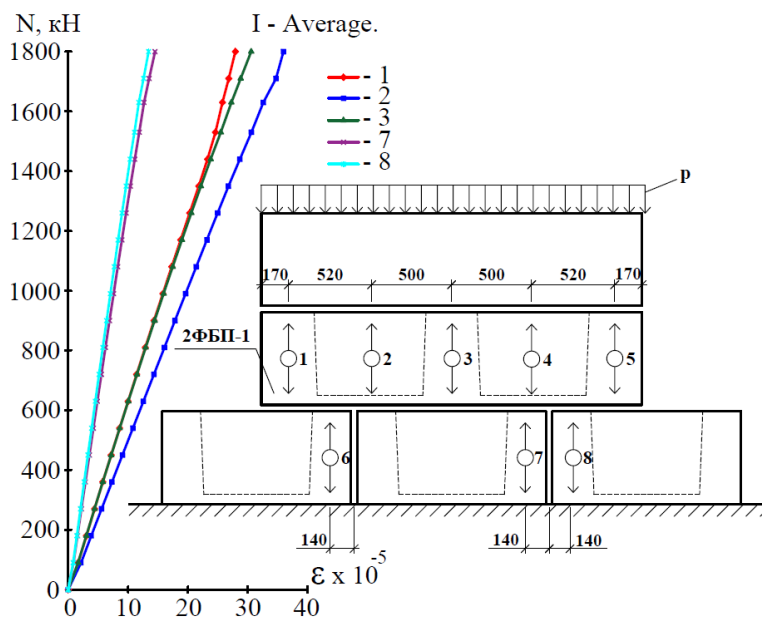


Рис. 29 – Характер зміни вертикальних деформацій блоків за ПК ANSYS (схема I)

бетону. В дисертаційній роботі для всіх 9-х

Моделювання роботи натурних порожнистих блоків в програмному комплексі ANSYS.

В ПК ANSYS для розрахунку порожнистих бетонних блоків була змодельована їх робота в складі стін за схемами, прийнятими при натурних випробуваннях. При цьому використовували прямокутні об'ємні елементи розмірами 5x5 см. Величина навантаження на останньому 20-у етапі відповідала «руйнівному» навантаженню.

Несуча здатність. Величина «руйнівного» навантаження N_u для кожної з 9-ти схем «навантаження» в ПК ANSYS визначалася за характером зміни графіків експериментальних деформацій і напружень. Отримані значення N_u подані в табл. 1.

Деформативність. Для прямого співставлення з експериментальним значенням деформацій в програмному комплексі ANSYS обчислені вертикальні деформації в тих перерізах (місцях), в яких вони замірялися при проведенні

експериментальних досліджень. Нижче вони подані для схеми I (рис. 29). У дисертаційній роботі представлені експериментальні і теоретичні графіки деформацій блоків для всіх 9-х схем. З порівняння з експериментальними значеннями деформацій можна зробити висновок, що ПК ANSYS в принципі задовільно відображає характер деформування блоків як кількісно, так і якісно.

Моделювання роботи натурних порожнистих блоків в програмному комплексі ЛІРА.

Крім програмного комплексу ANSYS, роботу порожнистих натурних блоків моделювали також в ПК ЛІРА. Для моделювання дослідних блоків в складі стінок використовували пластинчасті елементи з розбивкою на квадрати з розмірами сторін 30-40 мм і 25 закон нелінійного деформування

характерних чинників напружено-деформованого стану дослідних зразків блоків: деформацій в напрямках x , y , z ; напружень σ_x , σ_y , τ_{xy} ; головних напружень і зображення характеру руйнування. За ізоплями головних напружень визначено тріщиноутворення в дослідних зразках порожнистих блоків. Для всіх схем величина навантаження, при якому утворилися тріщини, становить $\sim 80-90\%$ від «руйнівного» теоретичного навантаження N_u^{th} . Отримані значення N_u^{th} подані в табл. 1.

Розрахунок несучої здатності і тріщиностійкості блоків за позацентрового навантаження. Теоретичні значення несучої здатності і тріщиностійкості позацентровано стиснутих блоків визначали за деформаційним методом. Фактичні перерізи порожнистих перерізів були приведені до розрахункового двотаврового перерізу (рис. 30). В розрахунках враховували експериментально визначені основні фактичні механічні характеристики бетону. Ці дані використані для аналітичного опису діаграм деформування бетону за стиску у вигляді поліномів п'ятого ступеня, коефіцієнти a_k якого визначали за формулами, поданими у ДБН В. 2.6-98:2009. Діаграми деформування бетону за розтягу в ДБН В. 2.6-98:2009 не нормовані, тому їх у першому наближенні приймали також у вигляді полінома з такими ж коефіцієнтами, як за стиску. Деформації, що відповідають піковій точці діаграми деформування, приймали згідно з нормами: $\varepsilon_{ct1} = 2f_{ct}/E_c$. Спадна вітка діаграми деформування за розтягу не бралася до уваги, оскільки за таких деформацій бетон фактично руйнується.

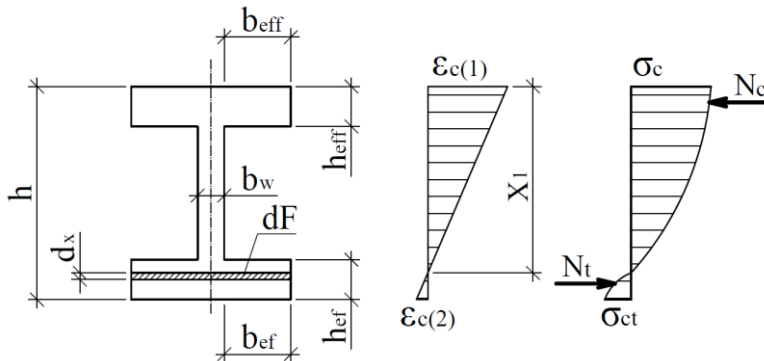


Рис. 30 – Розрахунковий переріз та епюри відносних деформацій і напружень позацентровано стиснутих порожнистих блоків

Розрахунки показали, що частина нижньої полиці є розтягнутою і за збільшення навантаження в ній утворюються тріщини.

Зусилля в розтягнутій зоні нижньої полиці до утворення тріщин:

$$N_t = \int_F \sigma_{ct} dF = f_{ct}(2b_{ef} + b_w) \sum \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varkappa}{\varepsilon_{ct1}} \right)^k \left(h - \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varkappa} \right)^{k+1}, \quad (11)$$

де $x_1 = \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varkappa}$ – висота стиснутої зони бетону; $\varkappa = \frac{\varepsilon_{c(1)} + \varepsilon_{c(2)}}{h}$ – кривизна поздовжньої осі.

Згинальний момент від цього зусилля:

$$M_t = \int_F \sigma_{ct} x dF = f_{ct}(2b_{ef} + b_w) \sum \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\varkappa}{\varepsilon_{ct1}} \right)^k \left(h - \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varkappa} \right)^{k+2} \quad (12)$$

Стискаюче зусилля у верхній полиці, ребрі і частині нижньої полиці до утворення тріщин:

$$\left. \begin{aligned} N_c = \int_F \sigma_c dF = f_c(2b_{eff} + b_w) \sum \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varkappa}{\varepsilon_{c1}} \right)^k \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varkappa} \right)^{k+1} - \\ f_c 2b_{eff} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varkappa}{\varepsilon_{c1}} \right)^k \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varkappa} - h_{eff} \right)^{k+1} + f_c 2b_{ef} \sum \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varkappa}{\varepsilon_{c1}} \right)^k \left(h_{ef} + \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\varkappa} - h \right)^{k+1} \end{aligned} \right\} (13)$$

Згинальний момент від цього зусилля:

$$M_c = \int_F \sigma_c x dF = f_c (2b_{eff} + b_w) \sum \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\kappa}{\varepsilon_{c1}}\right)^k \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\kappa}\right)^{k+2} - \left. \begin{aligned} & f_c 2b_{eff} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\kappa}{\varepsilon_{c1}}\right)^k \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}}{\kappa} - h_{eff}\right)^{k+2} + f_c 2b_{ef} \sum \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\kappa}{\varepsilon_{c1}}\right)^k \left(h_{ef} + \frac{\varepsilon_{c(1)}}{\kappa} - h\right)^{k+2} \end{aligned} \right\} (14)$$

Після утворення тріщин необхідно враховувати поступове виключення з роботи частини розтягнутої полиці з граничними деформаціями бетону на розтяг на вершині тріщини. Тоді рівняння (11) матиме вигляд:

$$N_t = \int_F \sigma_{ct} dF = f_{ct} (2b_{ef} + b_w) \sum \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\kappa}{\varepsilon_{ct1}}\right)^k \left(\frac{\varepsilon_{ct1}}{\kappa}\right)^{k+1}, \quad (15)$$

де $x_t = \frac{\varepsilon_{ct1}}{\kappa}$ – висота розтягнутої зони нижньої полиці над вершиною тріщини.

Відповідний внутрішній момент:

$$M_t = \int_F \sigma_{ct} x dF = f_{ct} (2b_{ef} + b_w) \sum \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\kappa}{\varepsilon_{ct1}}\right)^k \left(\frac{\varepsilon_{ct1}}{\kappa}\right)^{k+2} \quad (16)$$

Рівняння рівноваги внутрішніх і зовнішніх сил:

$$N_t - N_c + N = 0 \quad (17)$$

Рівняння рівноваги моментів:

$$M_t - M_c + M = 0 \quad (18)$$

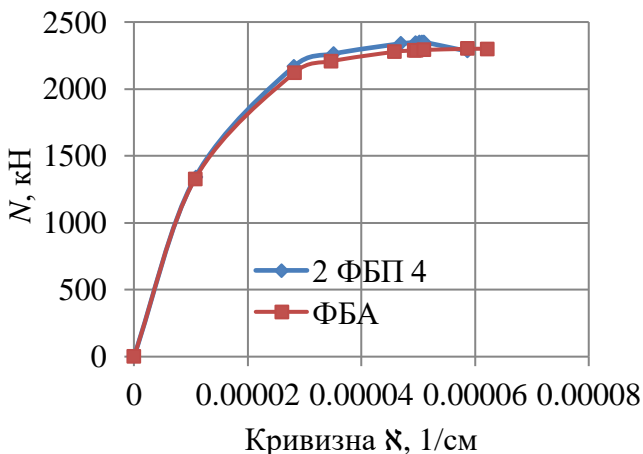


Рис. 31 – Залежність сили N від кривизни

Таблиця 1 – Експериментальна і теоретична несуча здатність натурних блоків

Схема	Несуча здатність, кН			Відношення	
	N_u^{exp}	$N_{u,1}^{th}$	$N_{u,2}^{th}$	$\frac{N_u^{exp}}{N_{u,1}^{th}}$	$\frac{N_u^{exp}}{N_{u,2}^{th}}$
I	1716	1710	1655	1,01	1,04
II	2075	1690	2130	1,23	0,97
III	4326	3650	3704	1,19	1,17
IV	-	10930	8716	-	-
V	2652	2610	2150	1,02	1,23
VI	3150	2910	2680	1,08	1,18
VII	2286	1970	2402	1,16	0,95
VIII	3052	2900	2620	1,05	1,16
IX	2523	2420	2195	1,04	1,15

В рівняннях (17), (18): N – зовнішнє стискаюче зусилля, $M = Ne_0$.

За результатами розрахунків за формулами (11) – (18) отримано дані про НДС блоків від початку навантаження до руйнування. Критерієм руйнування є втрата рівноваги внутрішніх і зовнішніх сил, що характеризується максимумами на графіку «сила-кривизна» (рис. 31). Теоретично досліджені показники тріщиностійкості і несучої здатності мають перевищення над експериментальними значеннями: для блока марки 2ФБП-4 – від 12% до 14%, для блока марки ФБА – до 7%.

В табл. 1 подано експериментальні і теоретичні значення несучої здатності дослідних зразків, випробуваних і промодельованих за 9-ма схемами завантаження в програмних комплексах ANSYS ($N_{u,1}^{th}$) і Ліра ($N_{u,2}^{th}$). Для більшості схем отримали задовільну збіжність експериментальних і теоретичних значень несучої здатності.

Експериментальні дослідження моделей бетонних блоків з відкритими порожнинами. За базовий був прийнятий

блок марки БП-1 загальними габаритними розмірами 380x200x290 мм: товщина бокових

стінок 40 мм, днища – 45 мм. Такі розміри блока прийняті як для частини (фрагмента) вздовж порожнистого натурального бетонного блока марки 2ФБП в масштабі ~ 1:2. Половинчастий блок марки БП-2 по довжині у два рази менший від базового блока БП-1. Всі решта геометричні розміри блока БП-2 аналогічні блоку БП-1. Програма експериментальних досліджень передбачала випробування 3-х серій блоків: серія I – блоків марки БП-1 (3 шт); серія II – блоків марки БП-2 (3 шт); серія III – блоків БП-1 і БП-2 у складі стінки (3 стінки). Для цього було виготовлено 6 блоків марки БП-1 і 9 блоків марки БП-2. Блоки випробовували на центрово прикладене навантаження, яке через плити преса рівномірно розподілялося по всій площі (рис. 32).

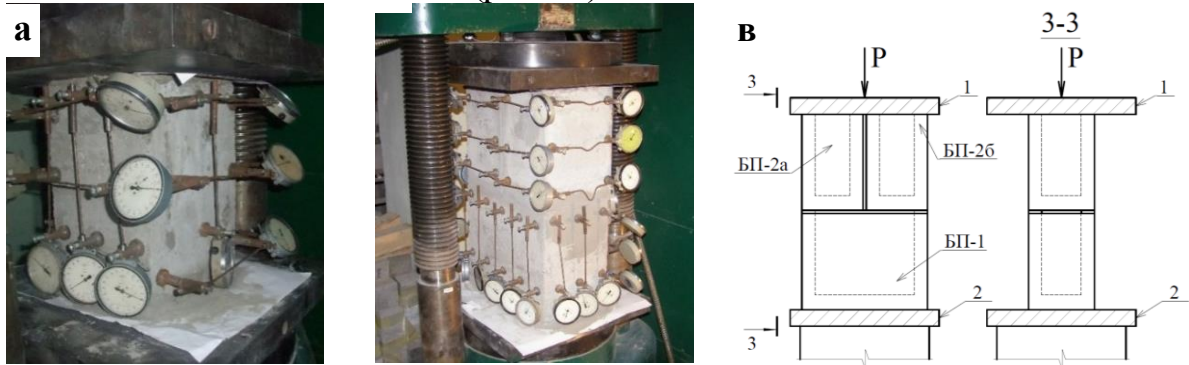


Рис. 32 – Загальний вигляд і схема випробувань дослідних зразків: а - блока БП-1; б, в - стінки БПС-1 з блоків БП-1, БП-2

Роботу дослідних зразків серій I, II, III було промодельовано також в програмних комплексах. Теоретичні величини руйнування дослідних зразків, визначені за ПК ЛІРА при моделюванні об'ємними елементами, дещо перевищують експериментальні значення руйнівних навантажень (табл. 2).

Таблиця 2 – Тріщиностійкість і несуча здатність дослідних зразків моделей блоків

Сер.	Марка	Ескіз	$R_{сгс}^{exp}$, кН	R_u^{exp} , кН	$\frac{R_{сгс}^{exp}}{R_u^{exp}}$	R_u^{th} , кН	$\frac{R_u^{exp}}{R_u^{th}}$
I	БП-1а		125,3	187,0	0,67	203,3	0,92
	БП-1б		117,6	180,9	0,65	203,3	0,89
	БП-1в		125,8	185,0	0,68	203,3	0,91
II	БП-2а		80,2	112,9	0,71	121,4	0,93
	БП-2б		85,1	116,5	0,73	121,4	0,96
	БП-2в		83,0	115,3	0,72	121,4	0,95
III	БПС-1а		96,0	139,1	0,69	158,1	0,88
	БПС-1б		98,1	134,4	0,73	158,1	0,85
	БПС-1в		96,5	135,9	0,74	158,1	0,86

Позначення до табл. 2: R_u^{exp} – експериментальне руйнівне навантаження; $R_{сгс}^{exp}$ – експериментальне навантаження утворення тріщин; R_u – теоретичне навантаження «руйнування».

і розроблені рекомендації щодо їх використання для мало- і середньоповерхового будівництва.

За моделювання в програмному комплексі FEMAP розрахунки виконували з врахуванням пластичних деформацій бетону за результатами випробувань призм. Згідно з отриманими результатами, ПК FEMAP у принципі задовільно відобразив характер зміни деформацій як вертикальних, так і горизонтальних.

За результатами експериментально-теоретичних досліджень визначена розрахункова несуча здатність порожнистих бетонних блоків запропонованої конструкції

В розділі 6 подано технологічні та експлуатаційні особливості плитних порожнистих залізобетонних конструкцій, бетонних порожнистих фундаментних блоків, їх техніко-економічна ефективність. Розглянуто матеріали і форми вставок з різних матеріалів, методику та результати проведених експериментальних досліджень арболітових вставок.

Дослідження арболітових вставок. Одним з найприйнятніших матеріалів для вставок є композитна суміш на основі відходів деревини, які у значній кількості є у деревообробному виробництві. Вони є основою для виготовлення арболіту. Параметри конструкційного і теплоізоляційного арболіту регламентуються ДСТУ Б В.2.7-271:2011, який визначає загальні вимоги до нього і передбачає клас за міцністю на стиск. Проте в цьому стандарті не подано технологічні особливості приготування арболітної суміші, тим більше такої специфічної, яка потрібна для вставок. Вимоги до матеріалу арболітових вставок наступні: порівняно мала міцність (достатня для структуроутворення і сприймання тиску від свіжоформованого бетону); економічність і довговічність (стійкість до загнивання). З метою пошуку такого матеріалу були проведені цілеспрямовані експериментальні дослідження кількох складів суміші на основі відходів деревини, у принципі близькою за складом до арболіту за ДСТУ Б В.2.7-271:2011, тому надалі вони також умовно названі арболітом. На відміну від ДСТУ Б В.2.7-271:2011, підібрані суміші передбачали використання інших відходів промисловості, зокрема золи виносу. Наявність лужного середовища сприяє їхній стійкості проти загнивання. Залежно від виду компонентів та їхнього співвідношення, досліджено три склади арболіту. Окремі результати дослідження впливу різних факторів на технологічні властивості одержаних арболітів наведені на рис. 33. Зростання дерево-цементного відношення Д/Ц закономірно призводить до зменшення середньої густини арболіту і механічної міцності. Для надання арболіту достатньої конструктивної міцності Д/Ц повинно знаходитись у межах 0,45–0,55, середня густина арболіту становити 420–500 кг/м³. На основі одержаних експериментальних даних розроблені склади легкого арболіту, в яких частина цементу замінювалась золою виносу Бурштинської ТЕЦ, а як мінералізатор використовували рідке скло виробництва Стебниківського хімічного комбінату з густиною 1,3 г/см³. Під час формування взірців арболіту розмірами 10×10×10 см використовувався метод неповного ущільнення: тирсу після оброблення водою з

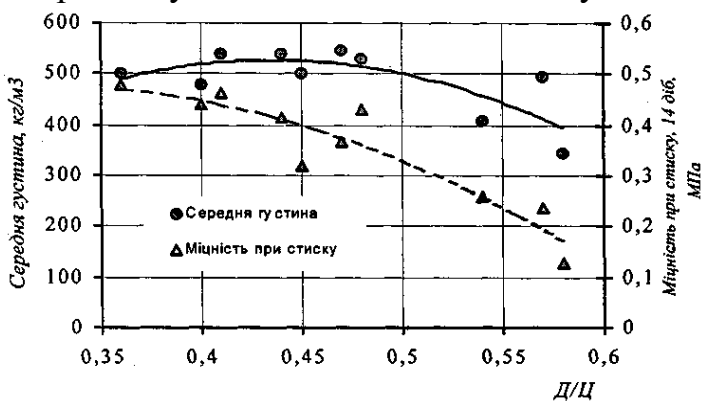


Рис. 33 – Вплив дерева-цементного відношення на середню густина і міцність легкого арболіту

воді (рис. 34). Ця характеристика є важливою для використання його як вставок для бетонних і залізобетонних конструкцій. Такий легкий арболіт поглинає основну масу

рідким склом і перемішування з цементом та золою, уклали шарами в форму і ущільнювали ручним штикуванням. Згідно з результатами досліджень, водопоглинання легкого арболіту зростає зі зменшенням витрат портландцементу на 1 м³ бетону і зростанням кількості золи та вапна. Незалежно від складу, найбільша швидкість водопоглинання арболіту була в перші дві години витримки у

води до початку тужавіння цементу і в подальшому віддає її під час тепловологого оброблення бетону чи витримці його в нормальних умовах твердіння. У процесі тепловологісного оброблення на експериментальних блоках не виявлено негативного впливу вставок за їх можливого збільшення в об'ємі внаслідок вологості і зменшення в

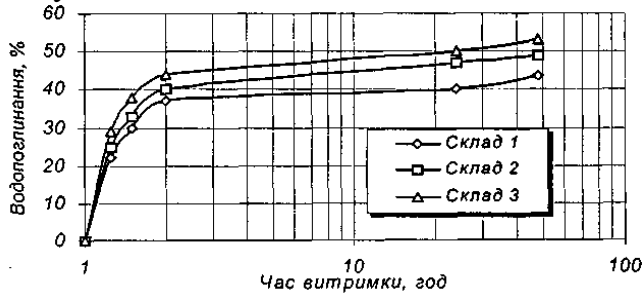


Рис. 34 – Кінетика водопоглинання арболіту різного складу

об'ємі бетону внаслідок усадки. Отже, арболіт і тирса є сумісними з бетоном матеріалами і їх доцільно використовувати як ефективні вставки. Розроблено технологічну схему і пропозиції щодо запровадження у виробництво арболітових вставок, які можна масово використовувати, зокрема, при

виготовленні бетонних блоків стін підвалів.

Суттєвими **технологічними чинниками** для збереження проектних параметрів порожнистих плитних конструкцій і забезпечення їх якості є *фіксація вставок, етапність виконання робіт, розподіл на захватки, бетонування за мінусових температур*. Вони подані на прикладі об'єктів з власного досвіду проектування і практики улаштування плитних конструкцій.

Важливим експлуатаційним чинником є також **сейсмічні впливи**, особливо на багатоповерхові будівлі. В програмному комплексі ЛПРА змодельовано роботу залізобетонного каркасу 6-поверхової будівлі на сейсмічні навантаження у двох варіантах: з суцільними монолітними перекриттями і порожнистими перекриттями, полегшеними на 32,5 % пінополістирольними вставками. Ефект полегшуючих вставок є суттєвим: в перекриттях згинальні моменти зменшилися на 7,8...9,7%, крутні моменти на 10,0...10,7%, прогини на 5,6...6,4%, армування на 17,7...19,0%. Суттєвим є також зменшення зусиль у вертикальних несучих конструкціях будівлі – від 3,3% до 28,6%.

Техніко-економічні показники перекриттів з вставками подані на прикладі декількох об'єктів з власного досвіду проектування. Вони показали ефективність використання вставок, насамперед за рахунок суттєвого зменшення витрати бетону (від 25% до 47%), а відтак власної ваги і кількості арматури (до 7÷12%), що підтверджено актами і довідками про впровадження.

В **розділі 7** на прикладі окремих будівель наведено досвід проектування і використання на практиці численних порожнистих залізобетонних і бетонних виробів, при розрахунку і конструюванні яких використані результати проведених експериментально-теоретичних досліджень (понад 30 об'єктів).

Насамперед це монолітні залізобетонні перекриття, які широко використовують при зведенні багатоповерхових каркасних споруд і при малоповерховому будівництві. Вибірково подано конструкцію монолітних перекриттів з однонапрямленим, двонапрямленим і комбінованим розташуванням вставок різних форм та перекриттів складної конфігурації в плані.

Наведено приклади використання порожниноутворювальних вставок в збірно-монолітних перекриттях, в збірних залізобетонних плитах, в монолітних фундаментних плитах різної конфігурації в плані, в монолітних залізобетонних

прогонових будовах мостів. В дисертаційній роботі вони проілюстровані кресленням і фотографіями.

Перелік об'єктів, на яких впроваджені результати досліджень, подано вище. На рис. 35 зображені загальні вигляди улаштування плитних конструкцій на б-х з цих об'єктів з вставками різних розмірів і з різних матеріалів.

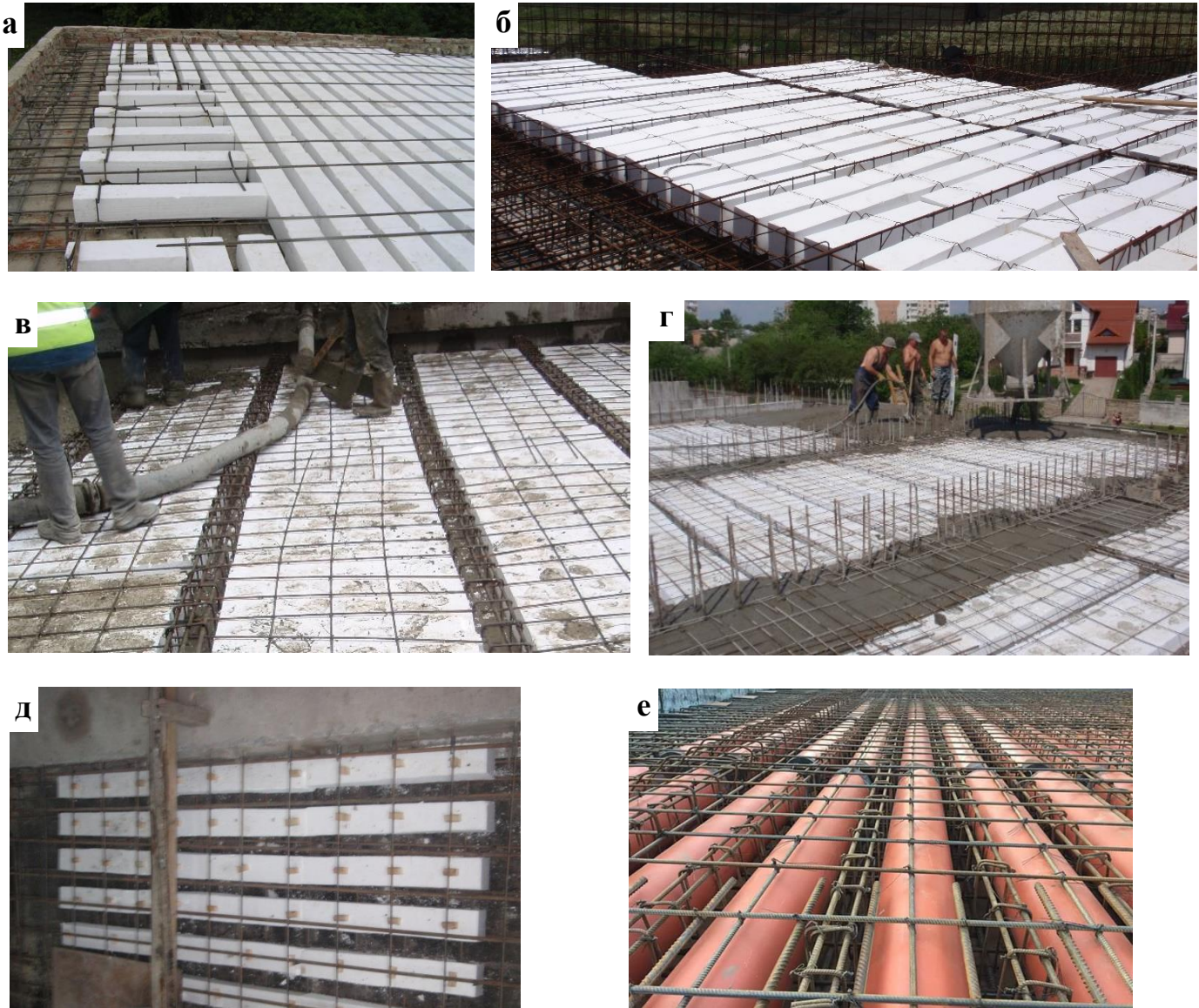


Рис. 35 – Загальні вигляди улаштування плитних конструкцій з вставками: а – перекриття будівлі в смт. В. Любінь Львівської області; б – перекриття на кутових ділянках будівлі стадіону Арена-Львів; в – перекриття паркінгу по вул. Роксоляни у м. Львові; г – перекриття типового поверху будинку по вул. Білогірській у м. Тернополі; д – фундаментальної плити при реконструкції будівлі по вул. Лемківській у м. Львові; е – моста у Свалявському р-ні Закарпатської обл.

Розроблено загальні конструктивні вирішення і рекомендації щодо використання досліджуваних 4-х типів порожнистих блоків для малоповерхового і середньоповерхового будівництва.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертації за результатами проведених експериментально-теоретичних досліджень вирішено важливу **науково-технічну** проблему вдосконалення і надання більш

раціональних форм залізобетонним і бетонним конструкціям масового виготовлення через порожниноутворення та розширення сфери їх використання на практиці і пов'язану з актуальними проблемами матеріало-, ресурсо- і енергозбереження, а також в значній мірі екологічної безпеки. Одержані нові наукові і практичні результати, які дозволяють розробляти нові конструктивні форми порожнистих бетонних і залізобетонних конструкцій та підвищувати їх ефективність і економічність.

Основні висновки і результати роботи такі:

1. На основі аналізу проведених патентних та інформаційно-методологічних досліджень вдосконалено існуючі і розроблено нові конструктивно-технологічні вирішення порожнистих бетонних і залізобетонних конструкцій, які мають широке використання в будівництві.
2. Проведено натурні випробування монолітного залізобетонного перекриття з порожниноутворювальними вставками і комплексні експериментальні дослідження трьох серій фрагментів монолітних залізобетонних перекриттів: довгомірних ($l=5$ м) з круглими трубчастими вставками, випробуваних рівномірно розподіленим навантаженням; довгомірних ($l=6,2$ м) з квадратними пінополістирольними вставками, випробуваних рівномірно розподіленим навантаженням; коротких ($l=2,05$ м) з квадратними пінополістирольними вставками і суцільного перерізу, випробуваних зосередженими силами за двома схемами чистого згину.
3. За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено суттєво різну деформативність фрагментів монолітних залізобетонних перекриттів з поперечним і поздовжнім розташуванням порожниноутворювальних вставок, що необхідно враховувати під час загального статичного розрахунку перекриттів з однонапрямленими порожнинами. Несуча здатність фрагментів з поперечним розташуванням порожниноутворювальних вставок є на 24,4...63,0 % меншою від несучої здатності фрагментів з поздовжнім розташуванням вставок. Тому при розрахунку міцності перекриттів з однонапрямленими порожнинами несучу здатність необхідно визначати без врахування роботи в поперечному до вставок напрямку.
4. Натурні випробування плоского монолітного залізобетонного перекриття розмірами в плані $7,6 \times 12,1$ м з порожниноутворювальними вставками показали, що воно є жорсткою і загалом надійною конструктивною системою як при симетричних, так і при несиметричних та кососиметричних навантаженнях.
5. З позицій рівнянь теорії пружності розроблено методику визначення жорсткостей на згин в обох напрямках монолітних залізобетонних плитних конструкцій з однонапрямленими порожнинами. За результатами числового моделювання отримано коефіцієнти C_x , C_y зменшення циліндричних жорсткостей таких конструкцій з порожниноутворювальними вставками квадратної, прямокутної та круглої форм. Розроблена комп'ютерна програма визначення коефіцієнтів C_x , C_y в залежності від зміни геометричних параметрів порожнистої плити.
6. Експериментально-теоретичними дослідженнями встановлено, що розрахунок несучої здатності дослідних зразків фрагментів плит з однонапрямленими порожнинами за деформаційним методом згідно з ДСТУ Б.В.2.6-156.2010 достатньо добре відображає модельований процес як якісно, так і кількісно - різниця становить від 1,6 % до 4,0 %.
7. Обґрунтовано розрахункові схеми і розроблено методику розрахунку плитних залізобетонних порожнистих конструкцій з двонапрямленими порожнинами з

врахуванням складного НДС бетону, верифікація якого виконана на основі експериментальних досліджень.

Подано приклад розрахунку за цією методикою бітаврових перерізів натурального перекриття з двонапрямленими порожнинами, який показав, що врахування двовісного НДС бетону суттєво збільшує міцність бетону і жорсткість перекриттів. Для розглянутого в прикладі порожнистого перекриття загальними розмірами в плані 5,8 x 6,9 м товщиною 20 см міцність бетону і жорсткість перекриття збільшилися відповідно на 28,3 і 19,3 %.

8. За результатами комплексних натурних випробувань 4-х типів порожнистих блоків в складі фрагментів 3-хрядної стіни (дев'ять схем) та їх малогабаритних моделей отримано експериментальні дані щодо фактичної міцності і тріщиностійкості та обґрунтовано критерії визначення розрахункової несучої здатності.

Моделювання роботи натурних бетонних порожнистих блоків об'ємними елементами в складі фрагментів стіни в ПК ANSYS в принципі дало задовільні результати за критеріями несучої здатності і деформативності. Несуча здатність, отримана в ПК ANSYS, є меншою від експериментальних значень від 1 % до 23 % в залежності від типу блока і схеми випробувань.

Для оцінки несучої здатності порожнистих блоків різних типорозмірів в складі стіни можна також використати ПК ЛПА з моделюванням блоків пластинчастими елементами, що суттєво спрощує розрахунок. Визначена в такий спосіб несуча здатність відрізняється від експериментальної несучою здатності в межах від +5% до -22%.

9. Розроблено методику розрахунку за деформаційним методом несучої здатності і тріщиностійкості позацентрово стиснутих бетонних порожнистих блоків з врахуванням розтягнутого бетону. При цьому залежність між розтягуючими напруженнями і деформаціями бетону прийнята за структурою формули (3.4) ДБН В.2.6-98:2009 для стиснутого бетону, але з використанням параметрів, встановлених в цих нормах для розтягнутого бетону. Отримані значення дають задовільну збіжність з експериментальними даними. Різниця за показниками несучої здатності і тріщиностійкості становить відповідно 1...12 % і 7...14 %. Аналогічно робота розтягнутого бетону була врахована також при розробленні методики розрахунку прогинів фрагментів залізобетонного перекриття з однонапрямленими вставками.

10. Розроблено і експериментально досліджено раціональні за витратою матеріалів легкі арболітові вставки з відходів деревини та розроблено технологічну лінію для їх серійного виготовлення. Використання таких вставок є доцільним, зокрема, в бетонних блоках стін підвалів, фундаментних плитах, підвищуючи теплотехнічні характеристики.

Застосування пінополістирольних вставок покращує звуко- і теплотехнічні характеристики плитних конструкцій, зменшує витрати тепла за потреби прогрівання бетону в холодний період року або кількість протиморозних добавок.

Розглянуто і проаналізовано технологічні та експлуатаційні особливості порожнистих залізобетонних плитних конструкцій.

11. Економічна ефективність плитних залізобетонних конструкцій з порожниноутворювальними вставками досягається за рахунок суттєвого зменшення витрати бетону – від 24 до 47 %. Зменшення власної ваги перекриттів дає економію робочої арматури в них до 7–13 %.

Запропоновані і досліджені конструкції бетонних блоків з відкритими і замкнутими порожнинами зменшують витрату бетону від 23,6% до 43%.

Суттєве зниження витрат бетону і арматури сприяє зменшенню викидів CO₂, що відповідає європейській і світовій стратегії низьковуглицевого розвитку.

12. Результати досліджень впроваджені на багаточисельних будівлях різного призначення (понад 30 об'єктів), зокрема при розрахунку і проектуванні плоских залізобетонних перекриттів на нових об'єктах і при реконструкції будівель: з одно- і двонапрямленим розташуванням вставок; з круглими картонними і пластмасовими вставками та з пінополістирольними вставками квадратних і прямокутних перерізів.

Використання порожниноутворювальних вставок у фундаментних монолітних плитах, в збірно-монолітних перекриттях, в прогонових будовах мостів та в окремих плитних конструкціях також підтвердило їх ефективність як при реконструкції, так і при новому будівництві.

Виготовлення і експериментальне застосування розроблених чотирьох типів конструкцій порожнистих фундаментних блоків на базі типового блока номінальною шириною 40 см показало їх ефективність і можливість використання на практиці для мало- і середньоповерхового будівництва (від 5 до 10 поверхів).

Доцільним є використання порожниноутворювальних вставок в залізобетонних басейнах, резервуарах, в стінах і підлогово-фундаментних плитах ангарів, в інших окремих та комплексних залізобетонних конструкціях, на які розроблено принципові (загальні) конструктивні вирішення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія:

1. Мельник І. В., Сорохтей В. М., Приставський Т. В. Плоскі залізобетонні плитні конструкції з ефективними вставками : монографія. Львів : Вид-во Львів. політехніки. 2018. 272 с.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав та у виданнях України, які включено до міжнародних наукометричних баз:

2. Mel'nik I. V., Sorokhтей V. M., Konstrujuvannja ih doslihdzhennja monolihtnikh ploskikh zalihzobetonnikh perekrittihv z effektivnimi vstavkami. *Zeszyty naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inzynieria Srodowiska*. 2009. Z. 55. S. 27–36. (Розробка програми і методики досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

3. Mel'nyk I.V. (2014) Analysis of the Stiffnesses of Reinforced-Concrete Plane Monolithic Floors with Tubular Inserts. *Materials Science*, 50(4), 564-570. <https://doi.org/10.1007/s11003-015-9754-7> (Scopus, Web of Science)

4. Мельник И.В., Сорохтей В.М., Приставський Т.В. Экспериментальные исследования деформативности фрагментов монолитного плоского железобетонного перекрытия с пенополистирольными вкладышами. *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2015. №4. С.103-112. (Розробка програми і методики досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

5. Mel'nyk I.V. (2016) Stress-Strain State of the Fragments of Armored Monolithic Floors with Tubular Inserts. *Materials Science*, 52(2). P. 269-279. DOI: 10.1007/s11003-016-9954-9 (Scopus, Web of Science)

6. Мельник И.В. Сорохтей В.М. Приставський Т.В. Экспериментально-теоретические исследования продавливания верхней полки монолитной железобетонной плиты с пустотообразующими вкладышами. *Вестник Белорусско-Российского*

університета. 2016. №3. С. 169-178. (Розробка програми і методики досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

7. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Приставський Т.В., Грушка Р.І. Монолітні плоскі залізобетонні фундаментні плити з ефективними вставками. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва.* 2017. № 877. С.144-150. (Розробка програми і методики досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

8. Бамбура А. М., Мельник І. В., Білозір В. В., Сорохтей В. М. Розрахунок несучої здатності фрагментів монолітного залізобетонного перекриття з трубчастими вставками за деформаційним методом. *Наука та будівництво.* 2018. Вип. 1 (15). С. 4–11.

9. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Приставський Т.В., Партута В.П. Дослідження порожнистих бетонних блоків. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва.* 2019. № 912. С.114-124. (Розробка програми і методики досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

10. Мельник І. В., Сорохтей В. М., Приставський Т. В., Партута В. П. Моделирование работы фрагментов монолитных пустотелых плитных железобетонных конструкций в программном комплексе «ЛИРА». *Вестник Белорусско-Российского университета.* 2019. №3(64). С. 139-146. (Розробка програми і методики експериментально-теоретичних досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

11. Mel'nyk I.V. (2019) Stiffness of Monolithic Reinforced-Concrete Slab Structures. *Materials Science*, 55(3). P. 367-373. DOI: 10.1007/s11003-019-00311-1 (Scopus, Web of Science)

12. A. Bambura, I. Mel'nyk, V. Bilozir, V. Sorokhтей, T. Prystavskyi, V. Partuta (2020) The stressed-deformed state of slab reinforcedconcrete hollow structures considering the biaxial compression of concrete. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* № 1/7(103) (2020). P. 34-42. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.194145 (Scopus) (Обґрунтування розрахункових схем і методики розрахунку. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

Статті у наукових фахових виданнях України:

13. Мельник І.В., Паньків М.І. Бетонні блоки стін підвалів з арболітовими вставками. *Вісник Державного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва.* 1998. № 360. С. 144-148. (Розробка конструкції арболітових вставок і загальної конструкції блоків з вставками. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

14. Мельник І.В., Паньків М.І. Ефективні блоки стін підвалів. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди: зб.наук.пр.* Рівне, 1999. Вип. 3. С. 212-217. (Розробка конструкції бетонних блоків з відкритими порожнинами і вставками. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

15. Мельник І.В. Пропозиції щодо улаштування монолітної плоскої порожнистої плити при реконструкції перекриттів. *Вісник Львівського державного аграрного університету. Архітектура і сільськогосподарське будівництво.* 2000. №1. С.166-169.

16. Мельник І.В. Плоскі залізобетонні монолітні перекриття з ефективними вставками. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва.* 2000. № 409. С. 141-145.

17. Мельник І.В., Паньків М.І. Дослідження блоків стін підвалів з арболітовими вставками. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди: зб.наук.пр. Рівне, 2000. Вип. 5. С. 211-215. (Розробка програми і методики натурних випробувань блоків. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

18. Мельник І.В., Паньків М.І. Міцність і деформативність бетонних блоків стін підвалів з відкритими порожнинами при центральному навантаженні. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди: зб.наук.пр. Рівне, 2002. Вип. 6. С. 198-202. (Аналіз результатів випробувань. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

19. Мельник І.В., Паньків М.І. Експериментальні дослідження бетонних блоків з відкритими порожнинами. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. 2002. №441. С.137-142. (Аналіз результатів досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

20. Мельник І.В. Залізобетонні монолітні плоскі перекриття з трубчастими вставками. Вісник Львівського національного аграрного університету. Архітектура і сільськогосподарське будівництво. 2006. С. 133-140.

21. Мельник І.В., Сорохтей В.М. Конструктивні рішення плоских монолітних залізобетонних перекриттів з ефективними вставками і експериментальне дослідження їх фрагментів. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб.наук.пр. Рівне, 2006. Вип. 14. С. 253-260. (Розробка принципів конструктивних рішень перекриттів з вставками. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

22. Мельник І.В., Царинник О.Ю., Сорохтей В.М. Конструювання і дослідження плоских монолітних перекриттів з ефективними вставками. Будівельні конструкції: зб.наук.пр. Київ, 2007. вип. 67. С.794-801. (Розробка принципів конструктивних рішень перекриттів з вставками. Розробка програми і методики досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

23. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Яремко Б.В. Монолітні залізобетонні перекриття складної конфігурації в плані. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. 2007. №600. С.230-235. (Розробка конструктивних рішень полегшених плоских перекриттів складної конфігурації в плані. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

24. Мельник І.В. Конструктивні вирішення і особливості напружено-деформованого стану бетонних і залізобетонних елементів з порожнинами. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. 2007. №600. С.220-229.

25. Мельник І.В., Якимечко Я.Б. Дослідження властивостей арболітових вставок для бетонних і залізобетонних конструкцій та їх взаємодії з бетоном. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб.наук.пр. Рівне, 2008. Вип. 18. С.74-81. (Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

26. Мельник І.В., Сорохтей В.М. Зменшення власної ваги плоских монолітних залізобетонних перекриттів улаштуванням ефективних вставок. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб.наук.пр. Рівне, 2009. Вип. 19. С.206-211. (Розробка принципів конструктивних рішень перекриттів з вставками. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

27. Мельник І.В. Міцність порожнистих фундаментних бетонних блоків при різних схемах випробувань. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб.наук.пр.* Рівне, 2009. Вип. 19. С.198-205.

28. Мельник І.В., Сорохтей В.М. Конструювання плоских монолітних залізобетонних перекриттів з використанням ефективних вставок різних форм. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва.* 2009. №655. С.190-199. (Розробка принципів конструктивних рішень перекриттів з вставками. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

29. Мельник І.В., Сорохтей В.М. Використання ефективних вставок в монолітних і збірно-монолітних перекриттях при реконструкції будівлі оздоровчого відділення санаторію. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва.* 2010. №664. С.114-119. (Розробка конструктивних рішень монолітних і збірно-монолітних перекриттів з пінополістирольними вставками. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

30. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Мурин А.Я. Експериментальні дослідження плоского монолітного залізобетонного перекриття розмірами в плані 7,6x12,1 м з пінополістирольними вставками. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб.наук.пр.* Рівне, 2010. Вип. 20. С.258-264. (Розробка програми і методики натурних випробувань перекриття. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

31. Мельник І.В. Експериментальні дослідження міцності ефективних фундаментних бетонних блоків за різних схем завантаження. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва.* 2009. №655. С. 183-190.

32. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Пелех А.Б., Приставський Т.В. Використання ефективних вставок в плоских монолітних залізобетонних перекриттях південно-східної частини стадіону по вул. Стрийська-Кільцева у м. Львові. *Будівельні конструкції: зб.наук.пр.* Київ, 2011. Вип. 74, книга 2. С. 97-105. (Розробка загальних конструктивних вирішень в монолітних ділянках перекриття будівлі довкола стадіону. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

33. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Приставський Т.В., Крет В.О. Підсилення фундаментів будівлі залізобетонною монолітною плитою з пінополістирольними вставками. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Архітектура і сільськогосподарське будівництво.* 2012. №13. С. 59-64. (Розробка конструкції підсилення фундаментів з використанням фундаментної плити з вставками. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

34. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Приставський Т.В., Давидовський Н.Б., Крет В.О. Деформативність фрагментів монолітного залізобетонного плоского перекриття з поздовжнім і поперечним розташуванням прямокутних вставок. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб.наук.пр.* Рівне, 2012. Вип. 23. С.312-320. (Розробка конструкції дослідних зразків, методики і програми досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

35. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Приставський Т.В., Давидовський Н.Б., Крет В.О. Випробування фрагментів монолітного плоского залізобетонного перекриття з однонаправленим розташуванням пінополістирольних вставок. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва.* 2012. №742. С. 131-

138. (Розробка програми і методики досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

36. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Приставський Т.В., Бачкай О.С., Грушка Р.І., Барщик П.С. Порівняльні експериментальні дослідження фрагментів монолітного перекриття з трубчастими вставками і суцільного перекриття. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб.наук.пр.* Рівне, 2014. Вип. 29. С.259-265. (Розробка програми і методики досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

37. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Приставський Т.В., Козак М.І. Експериментальні дослідження верхньої полиці монолітної залізобетонної порожнистої плити на продавлювання. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Архітектура і сільськогосподарське будівництво.* 2014. №15. С. 88-94. (Розробка програми і методики досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

38. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Приставський Т.В., Грушка Р.І., Барщик П.С. Експериментальні дослідження деформативності фрагментів монолітного перекриття з трубчастими вставками і суцільного перекриття. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва.* 2015. №823 [56]. С. 236-243. (Розробка програми і методики досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

39. Мельник І.В., Бачкай О.С. Принципові конструктивні вирішення монолітних плоских залізобетонних прогонових будов мостів з полегшуючими вставками. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва.* 2015. №823 [56]. С. 229-235. (Розробка принципів конструктивних вирішень прогонових будов з вставками. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

40. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Приставський Т.В., Грушка Р.І. Технологічні особливості улаштування монолітних плоских залізобетонних перекриттів з вставками. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб.наук.пр.* Рівне, 2017. Вип. 34. С.143-150. (Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

41. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Приставський Т.В., Партута В. Техніко-економічна ефективність монолітних залізобетонних перекриттів з вставками. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр.* Рівне, 2018. Вип. 36. С. 142–150. (Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

42. Melnyk I., Bilozir V., Bidenko I., Shulyar R., Partuta V. Load bearing capacity and cracking resistance to off-center compression of hollow concrete blocks. *Theory and Building Practice.* 2020. Vol. 2, № 2. P. 119–126. (Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

43. Мельник І.В., Паньків М.І. Бетонні порожнисті фундаментні блоки. Збірник тез доповідей і повідомлень науково-практичної конференції «Проблеми винахідництва та раціоналізаторства в Україні». Львів, 2001. С. 6-8. (Розробка конструкції порожнистих бетонних блоків різного типу. Загальне компонування, редагування і написання тексту тез конференції.)

44. Мельник І.В., Паньків М.І. Бетонні порожнисті блоки стін підвалів. Збірник матеріалів Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми бетону та його технологій». Київ, 2002. Вип. 56. С. 351-357. (Розробка конструкції порожнистих

бетонних блоків різного типу. Загальне компонування, редагування і написання тексту тез конференції.)

45. Мельник І.В., Сорохтей В.М. Експериментальні дослідження і використання на практиці плоских монолітних залізобетонних перекриттів з ефективними вставками. *Вісник Донбаської національної академії будівництва та архітектури*. 2011. Вип. 2011-4 (90). С. 121-129. (Розробка принципів конструктивних рішень перекриттів з вставками. Розробка програми і методики досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

46. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Лундяк В.С., Крет В.О. Залізобетонне монолітне перекриття з порожниноутворюючими вставками і металевим профнастилом. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб.наук.пр.* Рівне, 2011. Вип. 22. С.427-432. (Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

47. Мельник І.В., Демчина Б.Г., Сорохтей В.М., Приставський Т.В., Петейчук М.В. Випробування на вогнестійкість фрагментів монолітного залізобетонного перекриття з пінополістирольними вставками. Збірник наукових праць «*Будівельні конструкції. Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону*». Київ, 2013. Вип. 78, книга 1. С. 362-370. (Загальне компонування, редагування і написання тексту тез конференції.)

48. Мельник І.В. Визначення жорсткостей монолітних плоских залізобетонних перекриттів з трубчастими вставками квадратної форми. Збірник наук. пр. 5-ої міжнар. конф. «*Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій*». 2014. С. 491-498.

Патенти:

49. Мельник І.В. Спосіб виготовлення пустотілих бетонних і залізобетонних виробів: патент на винахід №31506 А Україна. №98094908; заявл. 18.09.1998; опубл. 15.12.2000, Бюл. №7-П.

50. Мельник І.В. Бетонний порожнистий блок: патент на винахід №34358 А. Україна. №99063669; заявл. 30.06.1999; опубл. 15.02.2001, Бюл. №1-П.

51. Білозір В.В., Мацик О.Я., Мельник І.В. Сталефібробетонна балка коробчастого перерізу: патент на корисну модель №111523 Україна. №u201605553; заявл. 23.05.2016; опубл. 10.11.2016, Бюл. №21. (Участь в розробці загальної конструкції балки.)

У виданнях, які додатково відображають матеріали дисертації:

52. Мельник І. В. Оптимізація залізобетонних конструкцій з допомогою ефективних вставок. *Проблеми теорії і практики будівництва: зб. наук. ст.* Львів, 1997. Т. 4: Проектування, обстеження і експлуатація будівель і споруд. Основи і фундаменти. С. 89–90.

53. Мельник І. В. Конструктивно-технологічні особливості бетонних і залізобетонних конструкцій з ефективними вставками. *Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону: зб. наук. пр.* Київ, 1997. С. 164–171.

54. Мельник І. В., Сорохтей В. М., Мурин А. Я., Приставський Т. В., Давидовський Н. Б., Крет В. О. Дослідження міцності бетонних блоків з відкритими порожнинами. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: зб.наук. пр.* Львів: Каменярь, 2012. Вип. 9. С. 367–375. (Розробка програми і методики досліджень. Загальне компонування, редагування і написання тексту статті.)

55. Мельник І. В., Сорохтей В. М., Приставський Т. В. Дослідження на продавлювання верхньої полиці фрагментів монолітної залізобетонної плити з прямокутними порожнинами. *Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та*

конструкцій : зб. наук. пр. Львів: Каменяр, 2014. Вип. 10. С. 488–495. (Розробка програми і методики досліджень. Загальне компоунвання, редагування і написання тексту статті.)

АНОТАЦІЯ

Мельник І.В. Напружно-деформований стан та експериментальне впровадження порожнистих бетонних і залізобетонних конструкцій. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» (19 – «Архітектура та будівництво»). – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2021.

В дисертації за результатами проведених експериментально-теоретичних досліджень вирішено важливу **наукову-технічну** проблему вдосконалення і надання більш раціональних форм залізобетонним і бетонним конструкціям масового виготовлення через порожниноутворення та розширення сфери їх використання на практиці і пов'язану з актуальними проблемами матеріало-, ресурсо- і енергозбереження, а також в значній мірі екологічної безпеки.

Розроблено методику визначення жорсткостей на згин в обох напрямках монолітного залізобетонного перекриття з однонапрямленими вставками. Обґрунтовано розрахункові схеми і запропоновано методику розрахунку плитних залізобетонних порожнистих конструкцій з двонапрямленими порожниноутворювальними вставками з врахуванням складного НДС бетону. За результатами комплексних натурних випробувань порожнистих блоків та їх малогабаритних моделей отримано експериментальні дані щодо їх фактичної міцності, деформативності і тріщиностійкості та обґрунтовано критерії визначення розрахункової несучої здатності з врахуванням комп'ютерного моделювання в різних сучасних програмних комплексах.

Ключові слова: бетонні і залізобетонні конструкції, порожнини, порожниноутворювальні вставки, напружено-деформований стан, експериментально-теоретичні дослідження, впровадження.

АННОТАЦИЯ

Мельник И.В. Напряженно-деформированное состояние и экспериментальное внедрение пустотных бетонных и железобетонных конструкций. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.01 - «Строительные конструкции, здания и сооружения» (19 - «Архитектура и строительство»). - Национальный университет «Львовская политехника» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2021.

В диссертации по результатам проведенных экспериментально-теоретических исследований решена важная **научно-техническая** проблема совершенствования и предоставления более рациональных форм железобетонным и бетонным конструкциям массового изготовления путем пустотообразования и расширения сферы их использования на практике и связанную с актуальными проблемами

материало-, ресурсо- и энергосбережения, а также в значительной степени экологической безопасности.

Разработана методика определения жесткостей на изгиб в обоих направлениях монолитного железобетонного перекрытия с однонаправленными вкладышами. Обоснованы расчетные схемы и предложена методика расчета плитных железобетонных пустотелых конструкций с двухнаправленными вкладышами с учетом сложного НДС бетона. По результатам комплексных натуральных испытаний пустотных блоков и их малогабаритных моделей получены экспериментальные данные по их фактической прочности, деформативности и трещиностойкости и обоснованы критерии определения расчетной несущей способности с учетом компьютерного моделирования в различных современных программных комплексах.

Ключевые слова: бетонные и железобетонные конструкции, пустоты, пустотообразующие вкладыши, напряженно-деформированное состояние, экспериментально-теоретические исследования, внедрение.

ABSTRACT

Melnyk I.V. Deflected mode end experimental implementation of hollow concrete and ferroconcrete constructions. – Qualifying scientific work published as a manuscript. Thesis for the degree of Doctor of Technical Science in specialty 05.23.01 – Building structures, houses and buildings (19 – “Architecture and building”). – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2020.

In the **Introduction**, the choice of the research theme is substantiated, the aim and the tasks of the research are formulated as well as the topicality and practical value of the work.

In **Chapter 1**, the solutions to the construction of the monolithic, precast and composite ceilings, monolithic slab ferroconcrete foundations, ferroconcrete small and medium roadway bearers and hollow concrete foundation blocks are provided, as well as the review of studies and computing methods on the topic. As a result of the review and analysis of existing ferroconcrete and concrete constructions, the tasks of the research have been formulated with the aim of improving these constructions by making them hollow.

In **Chapter 2** of the thesis, according to the thorough literature and patent studies, the main methods of lessening material and power consumption and labor expenditures for concrete and ferroconcrete constructions are determined. Developed action charts are given for the following ferroconcrete hollow constructions: monolithic ceilings, precast monolithic ceilings, single slab constructions, monolithic slab foundations; ferroconcrete and composite bridge span bearers.

Chapter 3 contains the technique and the results of experimental investigations of several types of fragments of monolithic ferroconcrete ceilings and the results of environmental tests of the monolithic ferroconcrete ceiling with foam polystyrene inserts. Experimental investigations have showed that regardless of the kind of prototype units and the way of their loading, their strength and deformability are different.

The results of the environmental tests of a large flat monolithic ceiling with the dimensions 7,6x12,1x0,26 m and with prismatic foam polystyrene inserts of a cross-section of 16x16 cm in its middle part are given.

In **Chapter 4**, the developed proposals for the calculation of hardness of ceilings with square, rectangular and round inserts are described. The ceiling with above mentioned shapes of unidirectional inserts was modeled as an orthotropic slab with the use of a finite element method. Design models were substantiated, and the technique for calculating the slab ferroconcrete constructions with bidirectional hollow-forming inserts taking into account plane deflected mode of concrete was proposed. The algorithm of calculating has been developed and an example of calculations given according to the proposed technique for a monolithic ferroconcrete ceiling.

In **Chapter 5**, the results of theoretical and experimental investigations of hollow concrete blocks are described. Carried out environmental tests of hollow foundation blocks with the nominal dimensions 0,4x0,6x2,4 m in the structure of 9 constructions of a three-tier wall made it possible to reveal the peculiarities of their deflected mode and the criteria of their loading capability under the different loading conditions. The satisfactory convergence of the real loading capability of hollow blocks in the structure of 9 walls with theoretical one determined by the simulation in the ANSYS and Lira software facilities was obtained.

In **Chapter 6**, the technological and operational integrity of slab ferroconcrete hollow constructions, concrete hollow foundation blocks is given, as well as their techno-economic efficiency. Techno-economic characteristics of hollow ceilings confirm the efficiency of the use of inserts, since they cause the considerable decrease in concrete consumption and, correspondingly, in their weight and the amount of reinforcement. A process flow-sheet and the proposals for the manufacturing application of wood concrete inserts which can be widely used in the process of making concrete blocks for cellar walls has been developed.

In **Chapter 7**, using the example of particular buildings, the experience of designing and implementing numerous hollow ferroconcrete and concrete products is shown, whose calculations and design was conducted with the use of the results of carried out theoretical and experimental investigations. First of all, they are monolithic ferroconcrete ceilings widely used at the construction of multistorey skeleton constructions, as well as low-rise buildings. These lightweight ceilings were used in the construction of 28 objects with the concrete saving and proper weight decrease from 18% to 47%. General construction solutions and recommendations for the use of four investigated kinds of hollow blocks for low-rise and mid-rise buildings have been developed.

Key words: concrete and ferroconcrete constructions, hollows, hollow-forming inserts, deflected mode, theoretical and experimental investigations, implementation.