

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет “Львівська політехніка”

**ВОЗНЮК ЛЕОНІД ІВАНОВИЧ**



УДК 624.012.4 : 624.012.35

**НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ  
БАГАТОШАРОВИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Національному університеті “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Демчина Богдан Григорович,**  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
професор кафедри “Будівельні конструкції  
та мости”

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Шмуклер Валерій Самуїлович,**  
Харківський національний університет міського  
господарства ім. О. М. Бекетова,  
завідувач кафедри будівельних конструкцій

кандидат технічних наук, доцент  
**Фамуляк Юрій Євгенович,**  
Львівський національний аграрний університет,  
завідувач кафедри технології та організації  
будівництва.

Захист відбудеться “15” червня 2018 р. о 10:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.17 у Національному університеті “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Карпінського, 6, II навч. корпус, ауд. 212.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розіслано “11” травня 2018 р.

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



П.Ф. Холод

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У сучасному будівництві з монолітного чи збірного залізобетону до 70% усіх навантажень складає власна вага конструкцій. Зменшуючи цю складову постійного навантаження ми полегшуємо споруду та робимо будівлю більш економічно доцільною і ефективною.

Використання в конструкціях перекриття легких бетонів та ефективних вставок може значно зменшити власну вагу конструкцій, що призведе до економії ресурсів, матеріалів та ефективності будівлі в цілому. У результаті застосування таких проектних рішень зменшуються навантаження на основні несучі елементи будівлі – фундаменти, колони, стіни, перекриття, значно зменшується вплив сейсмічної складової навантаження.

Важливим питанням будівельної галузі є раціоналізація параметрів конструкцій перекриття для того щоб досягати мінімізації витрат матеріалів та будівельно-монтажних робіт. При раціональному виборі складу різних шарів з легких бетонів по висоті плити перекриття, а також при влаштуванні пустотоутворюючих вставок можуть бути створені ефективні перекриття з відмінними конструктивними властивостями.

Навадене вище підтверджує актуальність питання створення ефективних полегшених плит перекриття і дослідження їх несучої здатності та деформативності від дії навантаження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри будівельних конструкцій та мостів Національного університету “Львівська політехніка”. Дисертація виконана в межах науково-дослідної роботи “Теоретичні та експериментальні дослідження звичайних та попередньо напружених залізобетонних, металевих, дерев'яних та інших конструкцій будівель, споруд, мостів і фундаментів та методів їх підсилення” (номер державної реєстрації 0117U007366, замовник – Міністерство освіти і науки України, 2017—2022 рр.).

**Мета роботи** – розробка і дослідження несучої здатності та деформативності ефективних багатошарових залізобетонних плит перекриття із середнім шаром з легкого бетону та ефективних монококових керамзитобетонних плит перекриття.

### **Задачі дослідження:**

-на базі послідовного аналізу розробити принципи конструювання та виготовлення складних багатошарових і керамзитобетонних монококових плит перекриття з використанням ефективних матеріалів;

-на основі 2D і 3D ідеології сформувати скінченно-елементні моделі досліджуваних багатошарових плит перекриття із середнім шаром з легкого бетону, а також монококових керамзитобетонних плит та провести аналіз напружено-деформованого стану (НДС) і виконати оцінку їх несучої здатності;

-на основі проведених експериментально-теоретичних досліджень розробити та дослідити конструкцію керамзитобетонної плити монококового типу;

- виконати експериментальне підтвердження (верифікацію) запропонованих скінченно-елементних розрахункових моделей багатошарових і керамзитобетонних монококових плит;

- оцінити ефективність досліджуваних конструкцій та встановити найбільш ефективні з них;

- створити інженерну методику розрахунку багатошарових залізобетонних плит перекриття із середнім шаром з легкого бетону та монококових керамзитобетонних плит.

*Об'єкт дослідження* – напружено-деформований стан багатошарових залізобетонних плит перекриття із середнім шаром з легкого бетону та монококових керамзитобетонних плит.

*Предмет дослідження* – несуча здатність та деформативність залізобетонних багатошарових плит перекриття із середнім шаром з легкого бетону та монококових керамзитобетонних плит, які працюють на згин.

**Методи дослідження** – чисельні та аналітичні методи механіки деформованого тіла і, зокрема, метод скінченних елементів; сучасні методи експериментальних досліджень, що базуються на новітніх системах навантаження та вимірювання.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

*Вперше отримано:*

- на базі послідовного аналізу, принципи формування нової ефективної конструкції монококової керамзитобетонної плити перекриття;

- також на базі послідовного аналізу, експериментальні дані про несучу здатність та деформативність багатошарових залізобетонних плит перекриття з середнім шаром із легкого бетону, а також монококових керамзитобетонних плит.

*Дістало подальший розвиток:*

- скінченно-елементні нелінійні моделі розрахунку та аналізу конструкцій багатошарових плит перекриття, із середнім шаром з легкого бетону, та монококових керамзитобетонних плит перекриття;

- підхід до оцінки несучої здатності багатошарових та суцільних залізобетонних плит, при їх опиранні на чотири кути, з використанням нелінійної деформаційної моделі, як для смуг, в зоні дії максимальних згинальних моментів.

*Удосконалено:*

- нелінійні моделі та підхід, з отриманням результатів дослідження на згин, багатошарових залізобетонних та монококових керамзитобетонних плит перекриття.

### **Практичне значення отриманих результатів:**

- розроблено методику дослідження на згин багатошарових залізобетонних та монококових керамзитобетонних плит перекриття, при їх опиранні за балочною схемою та при їх опиранні на чотири кути;

- запропоновано підхід до оцінки несучої здатності суцільних та багатошарових залізобетонних плит, при їх опиранні на чотири кути, з

використанням нелінійної деформаційної моделі як для смуг в зоні дії максимальних згинальних моментів;

- на базі розроблених принципів створена нова монококова керамзитобетонна конструкція плити перекриття;

- запропоновано використовувати коефіцієнт ефективності для вибору найбільш ефективного типу конструкції перекриття.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові результати дослідження дисертаційної роботи отримані автором особисто.

В роботах, які опубліковані у співавторстві, здобувачеві належить: [1] – виготовлення дослідних зразків, розробка методики випробувань; [2] – огляд літератури, дослідження багатошарових конструкцій при їх опиранні за балочною схемою; [3] – підготовка експериментального стенду, аналіз отриманих результатів; [4] – формування 3D скінченно-елементних нелінійних моделей плит перекриття в середовищі програмного комплексу «ЛІРА-САПР»; [5] – розробка проектних рішень багатошарових плит перекриття при їх опиранні на чотири кути та виконання експериментальних досліджень; [6] – аналіз чисельних даних на основі проведеного розрахунку, який враховував нелінійні властивості матеріалів плит; [7] – розробка ефективною конструкції керамзитобетонної плити перекриття із порожнистими вставками монококового типу та виконання її експериментального дослідження; [8] – реалізація експериментальної верифікації отриманих результатів, аналіз напружено-деформованого стану та виконання оцінки несучої здатності; [9] – запропоновано конструктивне рішення перекриття будинку; [10] – патентний пошук, проектування багатошарової плити перекриття.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи представлені та обговорені на VI-й міжнародній науково-практичній конференції “Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології” (Макіївка, 2007 рр.), на Всеукраїнській науково-практичній конференції “Сучасні проблеми та перспективи розвитку житлово-комунального господарства України” (Запоріжжя, 2013 р.), на XVII-му міжнародному науково-практичному форумі "Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій" (Дубляни, 2016 р.), на семінарах кафедри “Будівельні конструкції та мости” Національного університету “Львівська політехніка” (2007 – 2017 рр.).

**Публікації.** Основні положення дисертації та результати досліджень опубліковані у 10-ти друкованих працях, із них: 7 статей у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, 2 патенти України на корисну модель.

**Структура та об’єм роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Повний об’єм дисертації 190 сторінок (основна частина –120 ст.). Дисертація містить 17 таблиць, 90 рисунків, 152 найменування використаної літератури, а також 6 додатків на 33 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, показано зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету, задачі, об'єкт, предмет і методи дослідження, вказано наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, впровадження та апробацію результатів роботи, зазначено структуру та об'єм дисертації.

У першому розділі проведено огляд застосування багат шарових конструкцій у практиці будівництва в Україні та за кордоном, виконано аналіз досліджень багат шарових плит перекриття. Представлено аналіз архітектурно-будівельних систем та рішень дисків перекриття з раціональними параметрами, з використанням легких бетонів. Ці рішення дозволяють значно зменшити власну вагу конструкцій перекриття, що призводить до суттєвого економічного ефекту при розрахунку як окремих елементів, так і цілої споруди у комплексі.

Дослідження і розробка багат шарових та полегшених плит перекриття представлені у роботах – Х.А. Акрамова, С. Альбрехта, А.Я. Барашикова, В.М. Бондаренка, О.Л. Болдара, С.А. Бугаєвського, Н.І. Глушакова, Б.Г. Демчини, Ю.І. Димитренка, В.І. Євстаф'єва, Ш.С. Жолдибаєва, В.Н. Кобелева, А.А. Кудрявцева, О.Я. Литвиняк, В.Ф. Майбороди, В.І. Майорова, І.В. Мельника, А.І. Оглоблі, В.Т. Чемодурова, К. Штамма, Х. Вітте, В.С. Шмуклера та ін..

У зв'язку із постійним підвищенням вартості матеріалів суттєво підвищуються вимоги до конструктивних рішень щодо зменшення власної ваги конструкцій, що призводить до зменшення вартості монолітних перекриттів та будівельно-монтажних робіт в цілому.

У другому розділі висвітлено об'єм експериментальних досліджень, матеріали і конструкцію дослідних зразків. Подано методику дослідження балочних плит та квадратних плит опертих на чотири кути на згин від дії короткочасного навантаження. Згідно з програмою досліджень було випробувано 3 серії плит загальною кількістю 14 шт.

Серія 1 – шість балочних багат шарових плит з середнім шаром із керамзитобетону, котрі опиралися під час випробувань на дві сторони та працювали за балочною схемою. Серія 2 – шість квадратних плит, з яких дві багат шарові з середнім шаром із керамзитобетону, дві багат шарові з середнім шаром із газобетону та дві суцільні із важкого бетону. Серія 3 – дві квадратні монококові плити з керамзитобетону

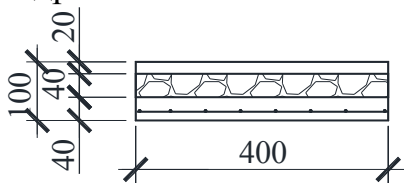


Рис. 1 Конструкція дослідних зразків плит серії 1

Багат шарові плити серії 1 прямокутні в плані, розмірами 800 x 400 мм, товщиною 100 мм (рис. 1). Робоча арматура в нижньому шарі прийнята Вр-1 (ДСТУ 3760:2006) - діаметром 4 мм у вигляді сітки з коміркою 95x120 мм, верхній та нижній шари балочних плит із важкого бетону класу С25/30, середній шар із керамзитобетону класу LC8/9. Товщина нижнього та середнього шарів плити складала 40 мм, а верхнього 20 мм. На рис. 1 показано конструкцію балочних плит серії 1.

Багатошарові плити серії 2 квадратні в плані, розмірами 2000 x 2000 мм, товщиною 100 мм. Повздовжня арматура в нижньому шарі прийнята класом Вр-1 (ДСТУ 3760:2006) діаметром 5 мм з коміркою 200x200мм, із захисним шаром бетону 15 мм. Плити марки П-2.1...П-2.4 тришарові із середнім шаром з керамзитобетону та газобетону. Верхній та нижній шари із важкого бетону класу С25/30, товщина внутрішнього шару плит прийнята 40 мм, верхнього та нижнього шарів 30 мм. Середній шар у плитах марки П-2.1 та П-2.2 (рис. 2, а) був виконаний із керамзитобетону класу LC8/9, а у плитах марки П-2.3 та П-2.4 (рис. 2, б) із газобетону марки D800. Плити марки П-2.5 та П-2.6 (рис. 2, в) були виконані суцільними із важкого бетону класу С25/30.

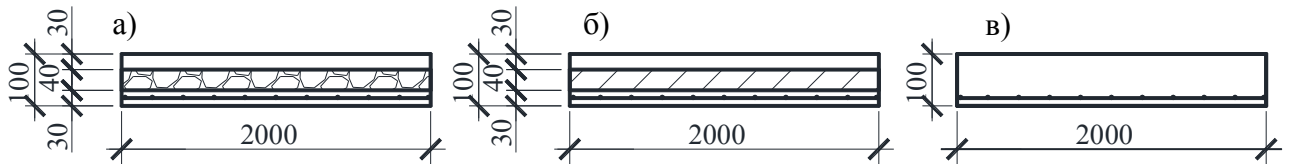


Рис. 2 Конструкція дослідних зразків плит серії 2:  
П-2.1, П-2.2 (а); П-2.3, П-2.4 (б); П-2.5, П-2.6 (в);

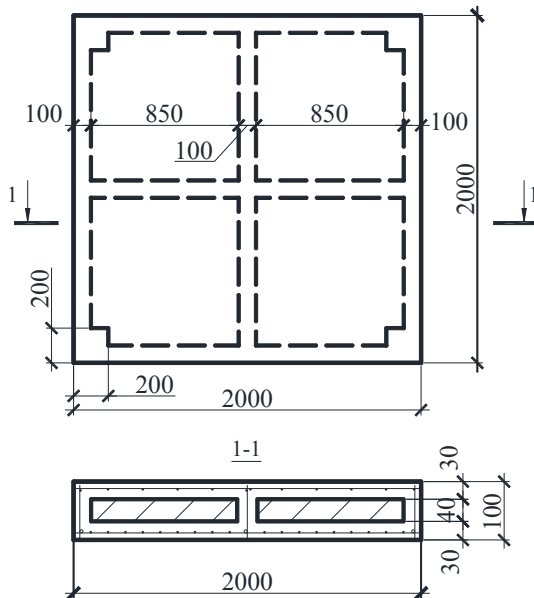


Рис. 3 Конструкція дослідних зразків плит серії 3

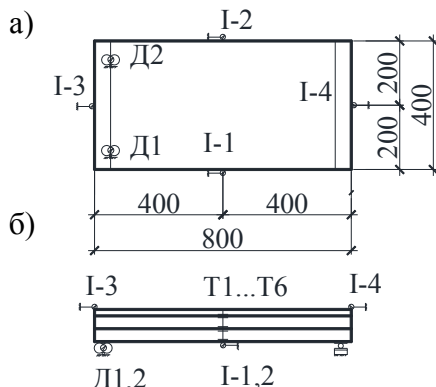


Рис. 4 Схема розміщення приладів при випробуванні плит серії 1, вид зверху (а) та збоку (б)

Дослідні зразки монококових плит серії 3 із керамзитобетону класу LC20/22 з пустотоутворюючими вставками із пінополістиролу. Верхній та нижній шари керамзитобетону були товщиною 30 мм. По периметру плити та по середині були виконані ребра з керамзитобетону шириною 100 мм, в яких розміщувалися арматурні каркаси. Нижня арматура каркасу була прийнята  $\varnothing 8$  А500С, верхня –  $\varnothing 4$  Вр-1, а поперечна –  $\varnothing 3$  Вр-1, з кроком 200. Нижній шар керамзитобетону крім каркасів був додатково армований сіткою із арматури  $\varnothing 3$  Вр-1 з коміркою 100x100 мм, а верхній шар армований сіткою із арматури  $\varnothing 3$  Вр-1 з коміркою 200x200 мм. Розміри і конструкцію монококових плит перекриття серії 3 зображено на рис. 3.

Дослідні зразки серій 2 та 3 виготовлялися на заводі залізобетонних виробів ЗБВ №2 у м.Львові.

Завантаження плит серії 1 відбувалося рівномірно розподіленим навантаженням, прикладеним по верхній поверхні плити. Для цього було розроблено систему розподільчих траверс (рис.6 а) через які навантаження від гідравлічного домкрату передавалося на плиту через сталеві

пластини розміром 100 х 100 мм. Розміщення вимірювальних приладів на експериментальних балочних плитах показано на рис. 3. Значення несучої здатності балочних плит експериментально визначалося при досягненні робочою арматурою деформацій, що відповідали межі текучості арматури.

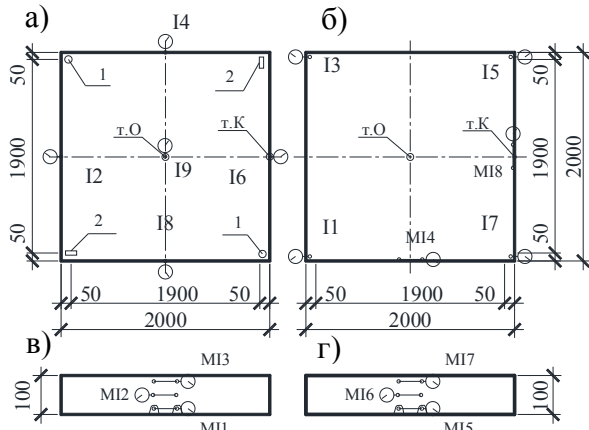


Рис. 5 Схема розміщення приладів при випробуванні плит серії 3, вид знизу (а), зверху (б) і бокових граней (в та г)

прикладання навантаження в процесі випробування плит серій 1, 2 та 3 на згин подано на рис. 6.

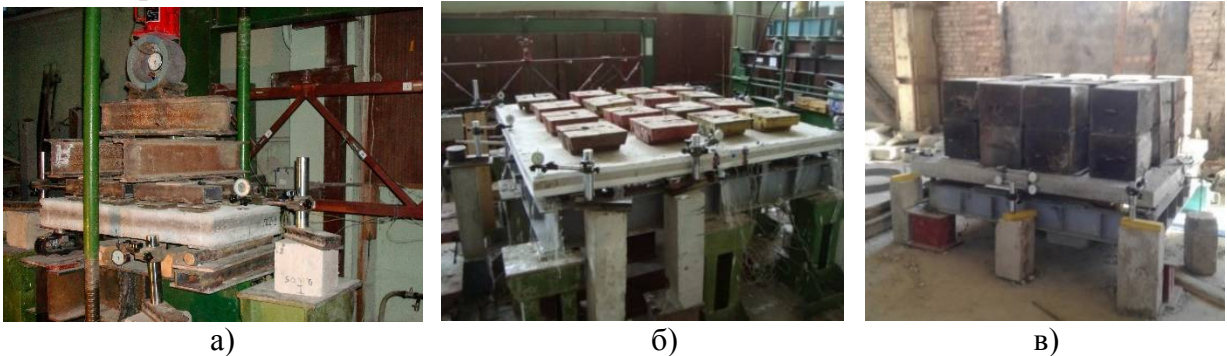


Рис. 6 Загальний вигляд стендів для випробування плит серій 1 (а), 2 (б) та 3 (в)

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень балочних плит серії 1 та квадратних плит, опертих на чотири кути серій 2 та 3.

Відповідно до розробленої програми та методики досліджень у процесі випробувань багатошарових балочних плит серії 1, а саме БП-1.1...БП-1.6 фіксували розвиток деформацій на бокових гранях по висоті перерізу, а також на верхній і нижній гранях та розтягнутій арматурі.

В результаті досліджень отримані значення критичного навантаження  $q_{cr}^{exp}$ , яке відповідало втраті несучої здатності нормальних перерізів плит внаслідок досягнення робочою арматурою границі текучості.



Рис. 7 Вигляд дослідної плити БП-1.1 після руйнування

Руйнування усіх дослідних зразків балочних плит відбулося внаслідок розриву арматури у нижньому шарі плити по середині прольоту. Вигляд дослідної багатошарової плити БП-1.1 після руйнування показано на рис. 7.

У результаті експериментальних досліджень багатошарових балочних плит побудовані графіки змін відносних повздовжніх деформацій на бокових



гранях по висоті дослідних зразків у середині прольоту, які показані на прикладі плити марки БП-1.1 на рис. 8.

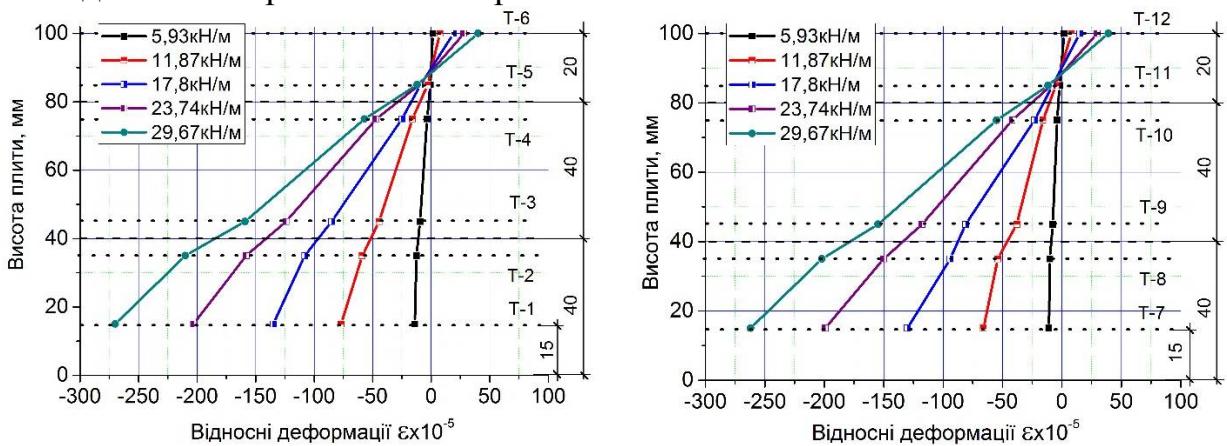


Рис. 8 Відносні деформації на гранях плити БП-1.1

Як видно із графіків відносних деформацій стиснута зона бетону в процесі усього експерименту знаходилася у верхньому шарі із важкого бетону. Аналізуючи графічні залежності по висоті поперечного перерізу спостерігається лінійний розподіл деформацій.

При проведенні випробувань зразків серії 2, а саме багат шарових плит марок П-2.1...П-2.4 та суцільних залізобетонних плит марок П-2.5 та П-2.6 на дію рівномірно розподіленого навантаження, фіксували розвиток деформацій бетону на бокових гранях по висоті і на верхній і нижній гранях по центру плити, а також деформації арматури, заміряли прогини плит і встановлювали характер розвитку тріщин на кожному етапі експериментальних досліджень згідно прийнятої методики досліджень. Метою було визначити несучу здатність та деформативність дослідних зразків в процесі досліджень. Отримані також значення критичного навантаження  $q_{cr}^{exp}$ .

Вигляд дослідних плит після руйнування показано на прикладі плит П-2.2 та П-2.3 на рис. 9.

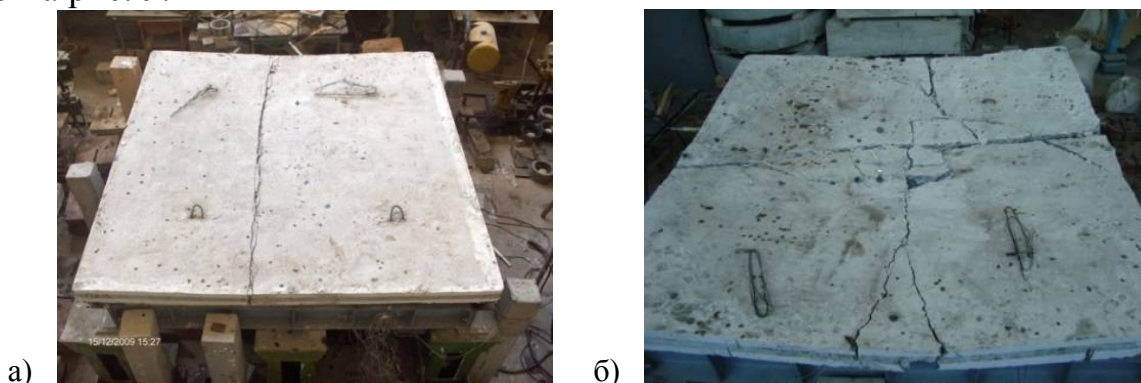


Рис. 9 Характер руйнування плит серії 2 марок П-2.2 (а), П-2.3 (б)

За критерій досягнення несучої здатності плит було прийнято текучість арматури у т. К (рис. 5). Оскільки розрахунковий момент  $M_K$  у т. К є більшим від моменту  $M_0$  у т. О, а саме  $M_K > M_0$ .

За результатами експериментальних досліджень плит серії 2 були побудовані графіки відносних деформацій бетону на гранях по висоті дослідних зразків плит у середині прольоту (рис. 10).

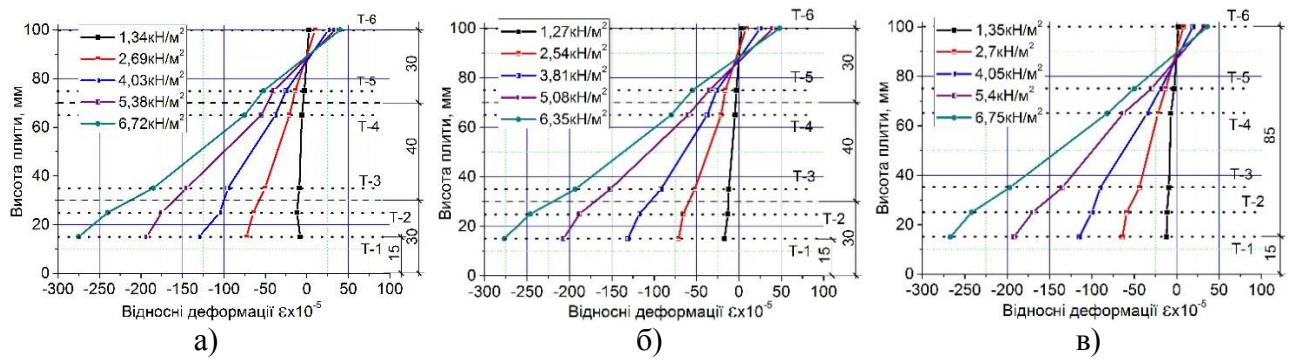


Рис. 10 Відносні деформації на гранях плит П-2.1 (а), П-2.3 (б) та П-2.5 (в)

Наведені графічні залежності відносних деформацій показують, що стиснута зона бетону в багатошарових плитах серії 2 знаходилася в межах верхнього шару із важкого бетону.

Під час проведення експериментальних досліджень плит серії 3, а саме монококових керамзитобетонних плит перекриття із пустототворюючими вставками марок П-3.1 та П-3.2, які опиралися по чотирьох кутах на дію рівномірно розподіленого навантаження, проводили фіксацію розвитку деформацій бетону на їх бокових гранях по висоті і на верхній та нижній гранях по центру плити, а також деформації арматури в крайніх ребрах.

У результаті проведених досліджень отримано значення граничних навантажень  $q_u^{exp}$ , які відповідали досягненню текучості арматури у крайніх ребрах монококової керамзитобетонної плити із пустототворюючими вставками (т. К), а також значення критичних навантажень  $q_{cr}^{exp}$ , при яких плити досягали гранично-допустимих прогинів у т. О.

Руйнування експериментальних плит відбувалося від розриву арматури в крайньому ребрі у т. К. За критичне приймали навантаження  $q_{cr,0}^{exp}$ , при якому досягався максимально допустимий прогин  $f_{u0}^{exp}$  у т. О, але навантаження продовжували прикладати до повного руйнування експериментального зразка. Характер утворення тріщин по нижній поверхні плит показаний на рис. 11.

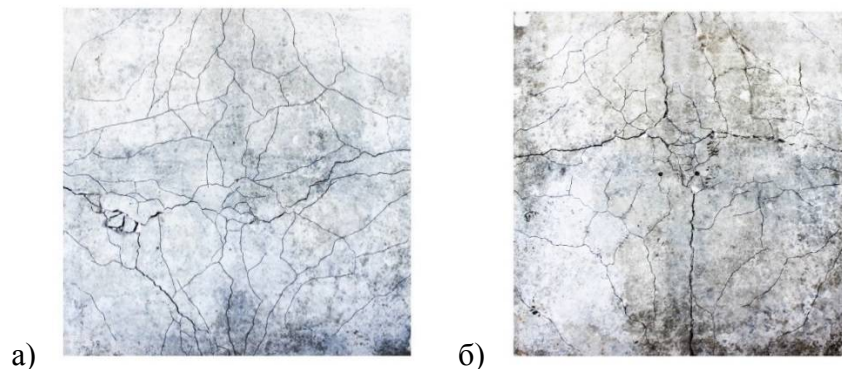


Рис. 11 Характер руйнування плит 3-ї серії П-3.1 (а) та П-3.2 (б)

На основі результатів експериментальних досліджень на згин монококових керамзитобетонних плит перекриття з пустототворюючими вставками марок П-3.1 та П-3.2 серії 3 були побудовані графіки відносних деформацій бетону на бокових гранях по висоті дослідних плит по середині прольоту (рис. 12).

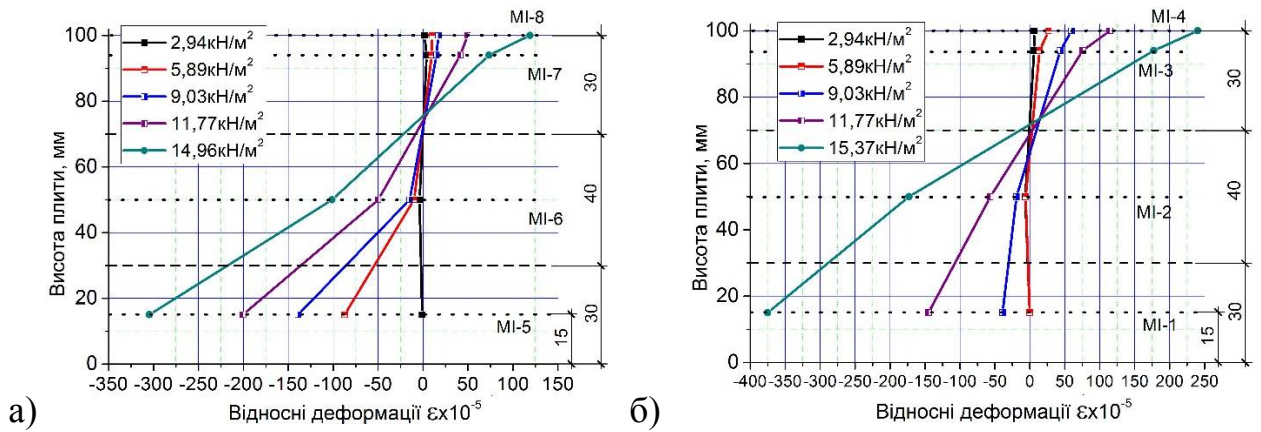


Рис. 12 Відносні деформації на гранях плит П-3.1 (а) та П-3.2 (б)

Висота стиснутої зони на останньому етапі завантаження монококових керамзитобетонних плит складала в середньому  $x_i = 27,2$  мм та знаходилася у верхній полиці плити від початку випробувань до початку текучості нижньої робочої арматури.

Перші тріщини у дослідних монококових керамзитобетонних плитах були зафіксовані по нижній поверхні у місцях розташування пінополістирольних вставок. У процесі збільшення навантаження тріщини з'явилися і по бокових гранях дослідних зразків.

Після випробувань було проведено огляд зруйнованої конструкції плити у розрізі. Розшарувань на стику полиці і ребер не було помічено, пінополістирольна вставка була щільно зчеплена з керамзитобетоном, що свідчило про цілісність конструкції дослідної плити та про її роботу як суцільної монококової конструкції.

**У четвертому розділі** описано методики розрахунку балочних багат шарових плит та квадратних багат шарових і монококових керамзитобетонних плит із пустотоутворюючими вставками при їх опиранні на чотири кути. Виконано порівняльний аналіз результатів досліджень. Проведено оцінку ефективності розглянутих плит перекриття. Надано пропозиції щодо проектування та виготовлення.

Для виконання інженерного розрахунку, в якому була використана нелінійна деформаційна модель, були задіяні наступні нормативні документи і літературні джерела – ДБН В.2.6-98:2009 та ДСТУ Б В.2.6-156:2010.

За умов рівноваги внутрішніх зусиль та зовнішніх сил в розрахунковому перерізі елемента, виконувалося визначення характеристик напружено-деформованого стану нормального перерізу залізобетонного елемента, а саме розподілу напружень, деформацій і переміщень, при дії згинальних моментів на основі нелінійної деформаційної моделі.

Значення моментів плит серій 1 та 2 визначалися як для другої форми рівноваги, враховуючи, що у прямокутному перерізі була зона розтягу. Несуча здатність плит серії 2 визначалася як для смуг в зоні дії максимальних згинальних моментів. Для розрахунку несучої здатності плит серії 3 використані підходи діючих норм, як для двотаврового перерізу та четвертої форми рівноваги.

Моделювання фізичної нелінійності матеріалів конструкції проводилося у ПК “ЛІРА-САПР” за допомогою фізично нелінійних скінченних елементів. Розрахункові моделі склалися із скінченних елементів (СЕ) та вузлів. Моделювання проводилося за допомогою СЕ-241 та СЕ-231. Жорсткість верхнього та нижнього шарів із важкого бетону задавалася за допомогою СЕ-241, який призначений для визначення напружено-деформованого стану прямокутних у плані оболонок.

Оболонка розглядалася як біматеріальна система з ізотропних фізично-нелінійних матеріалів. Вузол скінченного елемента мав шість ступенів свободи. Жорсткість середнього шару багат шарових плит перекриття та жорсткість ребер монококових плит з пустотоутворюючими вставками моделювалася за допомогою СЕ-231, який призначався для вирішення просторових задач теорії пружності та для визначення напружено-деформованого стану просторових конструкцій в постановці фізично-нелінійної теорії пружності.

Для визначення нелінійної жорсткості використовувалася експотенційна залежність між напруженнями та деформаціями для врахування реальних характеристик бетону та закону ламаної типу “деформація-напруження” для арматури.

Жорсткість кожного шару задавалася окремо згідно реальних фізико-механічних властивостей матеріалів бетону та арматури, отриманих на експериментальних зразках матеріалів, використаних для виготовлення дослідних плит.

Програмний комплекс “ЛІРА-САПР” дозволяв вирішувати фізично-нелінійні задачі із відтворенням поведінки конструкції під навантаженням з кроковим її завантаженням згідно з проведеними експериментами.

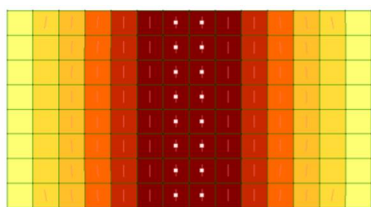


Рис. 13 Характер розвитку тріщин по нижній грані балочних багат шарових плит серії 1

**Розрахункова модель для плит серії 1** складалася із 945-ти вузлів та із 896-ти скінченних елементів.

Верхній та нижній шари моделювалися за допомогою 224-ьох прямокутних елементів оболонки СЕ-241, розмірами у плані 50x50 мм і висотою 40 мм для нижнього шару та 20 мм для верхнього. Середній шар із керамзитобетону моделювався об’ємними скінченними елементами СЕ-231, яких було 672 штуки з розмірами у плані 50x50 мм і висотою 10 мм. Опирання виконувалося шарнірно як для балочної плити опертої на дві сторони. Розрахункове тріщиноутворення по нижній грані подано на рис. 13.

**Розрахунок для плит серії 2** складалася із 8405-ти вузлів та із 9600 скінченних елементів.

У верхньому та нижньому шарах приймалося разом 3200 прямокутних елементи оболонки СЕ-241 розмірами у плані 50 x 50 мм і висотою 30 мм. Середній шар із легкого бетону моделювався з використанням 3200 об’ємних скінченних елементів СЕ-231, із розмірами у плані 50 x 50 мм та висотою 10 мм. Опирання виконувалося шарнірним по чотирьох кутах. Характер тріщин у нижньому шарі багат шарової плити серії 2 зображено на рис. 14.

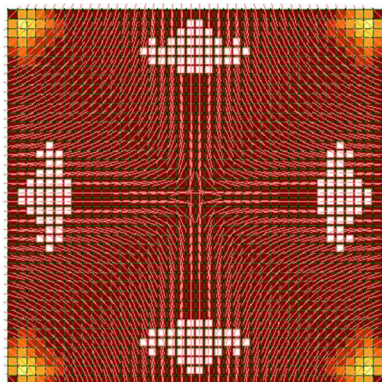


Рис. 14 Розвиток тріщин по нижній грані багат шарової плити серії 2

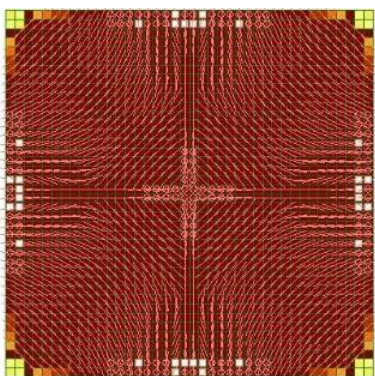


Рис. 15 Розвиток тріщин по нижній грані монококової плити серії 3

**Розрахункова модель серії 3** була виконана за допомогою 5381-го вузла та з 5040-ка скінченних елементів. Верхня та нижня полиці виконувалися з використанням прямокутних елементів оболонки, а саме SE-241, розмірами у плані 50x50 мм із висотою 30 мм у кількості 3200 шт, а ребра плит моделювалися об'ємними елементами – SE-231 у кількості 1840 шт, розмірами у плані 50x50 мм і товщиною 10 мм.

Після виконання розрахунку отримано характер розвитку тріщин у нижній зоні монококової керамзитобетонної плити серії 3 (рис. 15).

Аналіз результатів розрахунку підтвердив, що втрата несучої здатності балочних багат шарових плит серії 1 відбувалося внаслідок текучості робочої арматури за першою групою граничних станів, що збігалось з експериментальними дослідженнями.

Згідно результатів розрахунку залізобетонних багат шарових плит перекриття із середнім шаром з легкого бетону серії 2 та керамзитобетонних монококових плит перекриття серії 3 втрата несучої здатності відбулася у т. К, внаслідок текучості арматури у нижній зоні відповідно до експерименту.

У результаті розрахунків багат шарових балочних плит серії 1 за запропонованими методиками виконано порівняння експериментальних і теоретичних параметрів (табл. 1).

Таблиця 1

### Критичні навантаження плит серії 1

№	Марка	Величини навантажень		$q_{cr}^{exp} / q_{cr1}$	$q_{cr}^{exp} / q_{cr2}$	
		Експериментальні	Розрахункові			
		$q_{cr}^{exp}$ , кН/м	$q_{cr1}$ , кН/м			$q_{cr2}$ , кН/м
1	БП-1.1	29.67	26.45	27.59	1,12	1,08
2	БП-1.2	29.47			1,11	1,07
3	БП-1.3	28.39			1,07	1,03
4	БП-1.4	29.21			1,10	1,06
5	БП-1.5	28.67			1,08	1,04
6	БП-1.6	29.21			1,10	1,06

У результаті порівняння експериментальних  $q_{cr}^{exp}$  та розрахункових  $q_{cr1}$  (ПК “ЛІРА-САПР”) і  $q_{cr2}$  (ДСТУ Б В.2.6-156:2010) навантажень в серії 1 було отримано задовільну збіжність результатів. Відхилення склало 7-12%, згідно ПК “ЛІРА-САПР” та 3-8%, згідно діючих норм в сторону завищення експериментальних величин у порівнянні з теоретичними.

Графічне порівняння розрахункових та теоретичних значень прогинів балочних плит серії 1 по середині прольотів зображено на рис. 16.

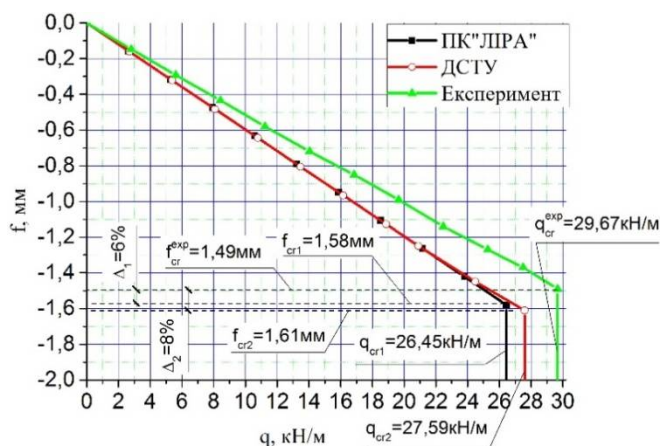


Рис. 16. Залежність “навантаження (q) – прогин (f)” плити БП-1.1

Експериментальні величини критичних прогинів плит  $f_{cr}^{exp}$  та їх розрахункові значення, отримані згідно ПК “ЛІРА-САПР”  $f_{cr1}$  і за деформативною методикою  $f_{cr2}$ , подані в табл. 2.

Таблиця 2

### Критичні прогини балочних плит серії 1

№	Марка	Величина прогинів			$f_{cr1}/f_{cr}^{exp}$	$f_{cr2}/f_{cr}^{exp}$
		$f_{cr}^{exp}$ , мм	Розрахункові, мм			
			$f_{cr1}$ , мм	$f_{cr2}$ , мм		
1	БП-1.1	1,49	1,58	1,61	1,06	1,08
2	БП-1.2	1,57			1,01	1,03
3	БП-1.3	1,52			1,04	1,06
4	БП-1.4	1,51			1,05	1,07
5	БП-1.5	1,53			1,03	1,05
6	БП-1.6	1,50			1,05	1,07

При порівнянні величин експериментальних та розрахункових величин прогинів багат шарових балочних плит серії 1 було отримано задовільну збіжність результатів. Відхилення експериментальних значень прогинів в сторону запасу склало 1 – 6 %, згідно ПК “ЛІРА-САПР” та 3-8 %, згідно ДСТУ. Це підтвердило, що методики розрахунків дають можливість з достатньою точністю визначити прогини дослідних багат шарових балочних плит.

За результатами розрахунку багат шарових плит серії 2 виконано порівняння експериментальних і теоретичних контрольних параметрів у табл. 3.

Таблиця 3

### Критичні навантаження плит серії 2

№	Марка	Величини навантажень			$q_{cr}^{exp}/q_{cr1}$	$q_{cr}^{exp}/q_{cr2}$
		Експериментальні	Розрахункові			
			$q_{cr}^{exp}$ , кН/м <sup>2</sup>	$q_{cr1}$ , кН/м <sup>2</sup>		
1	П-2.1	6,72	6,1	6,27	1,10	1,07
2	П-2.2	6,67			1,09	1,06
3	П-2.3	6,35	6,1	6,27	1,04	1,01
4	П-2.4	6,52			1,07	1,04
5	П-2.5	6,75	6,25	6,53	1,11	1,04
6	П-2.6	6,52			1,07	0,99

Співставляючи експериментальні  $q_{cr}^{exp}$  та розрахункові  $q_{cr1}$  (ПК "ЛІРА-САПР") і  $q_{cr2}$  (ДСТУ БВ.2.6-156:2010) значення критичних навантажень багат шарових плит серії 2 марок П-2.1...П-2.4 та суцільних залізобетонних плит марок П-2.5, П-2.6 було отримано задовільну збіжність результатів.

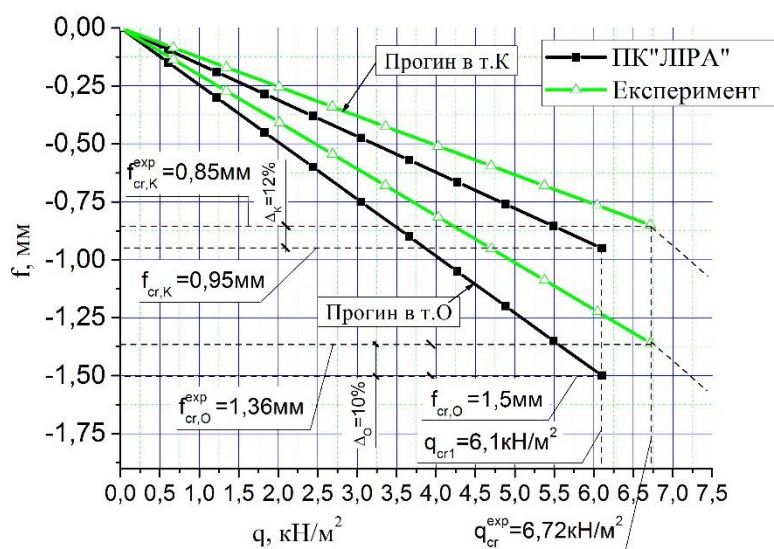


Рис. 17 Залежність “навантаження ( $q$ ) – прогин ( $f$ )” плити П-2.1

Відхилення результатів складо 4-11% при розрахунку у ПК “ЛІРА-САПР” та 1-7% згідно розрахунку за деформативною методикою, згідно діючих норм. Графічне порівняння значень прогинів на прикладі багат шарової плити П-2.1 зображено на рис. 17.

У табл. 4 показано порівняння величини критичних розрахункових  $f_{cr}$  та експериментальних  $f_{cr}^{exp}$  величин прогинів.

Таблиця 4

### Критичні прогини плит серії 2

№	Марка	Величина прогинів				$f_{cr}/f_{cr}^{exp}$	
		Експериментальні		Розрахункові			
		$f_{cr}^{exp}$ , мм		$f_{cr}$ , мм		т.К	т.О
		т. К	т. О	т. К	т. О		
1	П-2.1	0,85	1,36	0,95	1,5	1,12	1,10
2	П-2.2	0,90	1,35			1,06	1,11
3	П-2.3	0,90	1,41	1,0	1,6	1,11	1,13
4	П-2.4	0,88	1,37			1,14	1,15
5	П- 2.5	0,65	0,98	0,72	1,08	1,10	1,10
6	П- 2.6	0,62	0,95			1,15	1,14

Виконавши порівняння експериментальних  $f_{cr}^{exp}$  і розрахункових  $f_{cr}$ , величин критичних прогинів багат шарових плит марок П-2.1...П-2.4 та залізобетонних суцільних плит марок П-2.5, П-2.6, які опиралися у чотирьох кутах, отримано задовільну збіжність результатів у межах 6...15%, що свідчить про можливість застосування створених розрахункових скінченно-елементних моделей у ПК “ЛІРА-САПР”.

На основі виконаного розрахунку монококових керамзитобетонних плит серії 3 проведено порівняння експериментальних і теоретичних значень критичних навантажень  $q_{cr}$ , при яких був досягнутий допустимий прогин у т.О  $[f_{cr,O}] = \frac{1}{146}L = 18,42$  мм, та граничних  $q_u$  навантажень, при яких відбулася текучість арматури, що відображено у табл. 5.

## Критичні та граничні навантаження плит серії 3

№	Марка	Величини навантажень							
		Критичні			Граничні				
		Експеримент	Розрахункове	$q_{cr}^{exp}/q_{cr1}$	Експеримент	Розрахункові		$q_u^{exp}/q_{u1}$	$q_u^{exp}/q_{u2}$
$q_{cr1}^{exp}$ , кН/м <sup>2</sup>	$q_{cr1}$	$q_u^{exp}$ , кН/м <sup>2</sup>	$q_{u1}$ , кН/м <sup>2</sup>		$q_{u2}$ , кН/м <sup>2</sup>				
1	П-3.1	13,42	13,35	1,01	14,96	14,72	14,47	1,02	1,03
2	П-3.2	13,59		1,02	15,37			1,04	1,06

Порівняння експериментальних  $q_{cr1}^{exp}$  та розрахункових  $q_{cr1}$  критичних навантажень, згідно ПК “ЛПА-САПР”, плит марок П-3.1...П-3.2 показало збіжність до 2%. Співставлення величин граничних експериментальних  $q_u^{exp}$  навантажень із граничними розрахунковими значеннями  $q_{u1}$  (ПК “ЛПА-САПР”) та  $q_{u2}$  (ДСТУ Б В.2.6-156:2010) показало збіжність 2-4% та 3-6% відповідно.

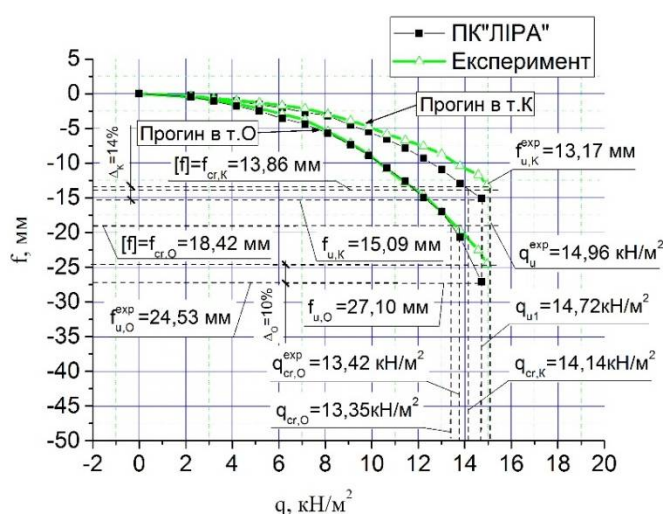


Рис. 18 Залежність “навантаження (q) – прогин (f)” плити П-3.1

прогини плити П-3.1 у т.О були досягнуті при дії навантаження 13,42 кН/м<sup>2</sup>, а у плиті П-3.2 при навантаженні 13,59 кН/м<sup>2</sup>. Прогин у т. К знаходився в допустимих межах. У табл. 6 відображені величини прогинів плит серії 3 в характерних місцях, а саме у т. О та т. К, та виконано їх порівняння.

Таблиця 6

## Граничні прогини плит серії 3

№	Марка	Величина прогинів				$f_u^{exp}/f_u$	
		$f_u^{exp}$ , мм		$f_u$ , мм		т.О	т.К
		т. О	т. К	т. О	т. К		
1	П-3.1	24,53	13,17	27,10	15,09	1,10	1,14
2	П-3.2	26,00	13,80			1,04	1,09

Різниця між теоретичними  $f_u$  та експериментальними  $f_u^{exp}$  величинами прогинів плит серії 3 знаходилася у задовільних межах, відхилення складало 4-10% у т. О та 9-14% у т. К в сторону завищення експериментальних значень.



### Визначення коефіцієнта ефективності $K_{ef}$ із урахуванням потенціальної енергії деформації

Згідно з положенням Г. В. Василькова – В. С. Шмуклера: для регульованих систем з постійним об'ємом матеріалу, числом зовнішніх і внутрішніх зв'язків під дією статичного зовнішнього навантаження – власної ваги, потенціальна енергія деформації після перебудови досягає нижньої грані на раціональному поєднанні величини геометричних параметрів:

$$U = \inf_{\alpha} (\alpha_k), \quad k = 1, 2, \dots, \infty \quad (1)$$

де  $U$  – потенціальна енергія деформації,  $k$  – номер варіанта порівняння;  $\alpha \in M$ ,  $M$  – область допустимих значень зовнішніх геометричних параметрів.

Зовнішні параметри визначають опірність системи без зміни загального обсягу матеріалу.

Якщо виконується цей критерій, то, як правило, маса конструкції буде мінімальною, частота основного тону коливань буде максимальною, а жорсткість буде максимальною із мінімальними прогинами.

У відповідності до теореми Клайперона робота зовнішніх сил є рівною подвійній потенціальній енергії деформації:

$$A = 2U \quad (2)$$

де  $A$  – робота зовнішніх сил на викликаних ними деформаціях. Таким чином замість (1) запишемо:

$$A \rightarrow \inf A \quad (3)$$

Методом скінченних елементів у ПК "ЛІРА-САПР" із використанням створених розрахункових моделей визначалося поле переміщень (рис. 19)  $W = W(x, y)$ ;  $x, y$  – координати декартової системи.

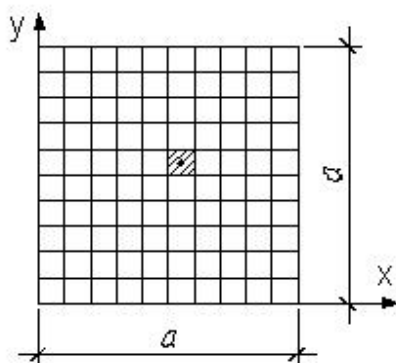


Рис. 19 Скінченного-елементна модель розглядуваної плити  
 $a$  – сторона плити;  $h_x = h_y$  – розмір скінченного елемента (СЕ)

Визначалося навантаження від власної ваги  $q_{(x,y)} = \frac{G}{a^2}$ ,  $G = const$

Визначали роботу зовнішніх сил:

$$A = \frac{G}{a^2} \int_0^a \int_0^a W(x, y) dx dy \quad (4)$$

Замінювали наближено (4) на вираз:

$$A = h^2 \delta_{red} \gamma \sum_{i=1}^N W_i \quad (5)$$

де  $h$  – ширина СЕ;  $\delta_{red}$  – приведена товщина плити,  $\gamma$  – об'ємна вага.

Результати визначення коефіцієнта  $K_{ef}$  наведені у табл. 7. Несуча здатність  $M$ , об'єм бетону  $V$ , умови опирання на чотири кути та розміри у плані плит приймалися однаковими для всіх зразків. Несуча здатність визначалися для моноковких керамзитобетонних плит експериментальним шляхом, згідно з результатами дослідження 3-ї серії, а для багатошарових та суцільних залізобетонних плит теоретично.

При визначенні коефіцієнту ефективності  $K_{ef}$  за еталон було прийнято залізобетонну суцільну плиту перекриття, для якої коефіцієнт  $K_{ef}$  приймався за одиницю. Значення коефіцієнта ефективності для усіх інших марок плит визначалося відношенням параметру  $A$  еталонних плит, який характеризує роботу зовнішніх сил, до значення цього параметру для інших плит.

Таблиця 7

### Визначення коефіцієнта ефективності $K_{ef}$

№ П/П	Поперечний переріз	$\delta_{red}$ , м	$V$ , м <sup>3</sup>	$M$ , кН*м	$m$ , т	$\sum_{i=1}^N W_i$ , м*10 <sup>-3</sup>	$A$ , т*м	$K_{ef}$	$f$ , Гц	$T$ , с
1	Важкий бетон	0,71	0,285	8,4	0,68	0,37	0,25	1	40,1	0,025
2	Важкий бетон Керамзитобетон Важкий бетон	0,71			0,57	0,31	0,177	1,4	43,5	0,023
3	Важкий бетон Газобетон Важкий бетон	0,71			0,53	0,29	0,154	1,6	44,1	0,022
4	Пінополістирол Керамзитобетон	0,1			0,51	0,23	0,12	2,1	52,9	0,019

Крім цього був проведений модальний аналіз власних коливань всіх плит та визначені частоти  $f$  і періоди  $T$  коливань. Варто відмітити, що із усіх розглянутих плит частота  $f$  основного тону коливань є найбільшою у моноковкій керамзитобетонній плиті, що свідчить про підвищену жорсткість таких плит та ефективність конструкції у порівнянні з іншими плитами.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено принципи конструювання та виготовлення складних багатошарових і монококових плит перекриття, з використанням ефективних матеріалів.

2. Сформовані 3D скінченно-елементні моделі багатошарових залізобетонних та монококових керамзитобетонних плит перекриття з використанням фізично-нелінійних скінченних елементів оболонки №241 та об'ємних елементів №231, які відображали реальні фізико-механічні характеристики матеріалів. Розроблені чисельні моделі придатні для застосування у реальному проектуванні розглянутих типів перекриття.

3. У результаті використання створених розрахункових моделей проведено аналіз напружено-деформованого стану та виконано оцінку несучої здатності багатошарових залізобетонних та монококових керамзитобетонних плит перекриття. Варто відмітити, що при їх однаковій несучій здатності та однакових умовах опирання, під дією статичного навантаження від власної ваги, частота основного тону коливань монококової плити є більшою у порівнянні із багатошаровою на 20...32%, а прогини є меншими на 26...35%, що свідчить про підвищену жорсткість монококової керамзитобетонної плити.

4. Розроблено та досліджено багатошарові залізобетонні плити перекриття із середнім шаром з легкого бетону (газобетон та керамзитобетон) на які отримано патени України №100525 та №100552. Відповідно до запропонованого у роботі коефіцієнту ефективності  $K_{ef}$  їх ефективність у 1,4...1,6 рази є більшою від класичних суцільних залізобетонних плит із важкого бетону.

5. Розроблено ефективну конструкцію монококової плити перекриття із керамзитобетону. За коефіцієнтом ефективності  $K_{ef}$  її ефективність у 2,1 рази є більшою від класичних суцільних залізобетонних плит із важкого бетону та у 1,3...1,5 разів від розроблених у даній роботі багатошарових залізобетонних плит перекриття із середнім шаром з легкого бетону.

6. Отримані у процесі експерименту результати мають задовільну збіжність у порівнянні із даними теоретичного моделювання, що підтверджує можливість використання запропонованих скінченно-елементних моделей у реальному проектуванні. Реалізована експериментальна верифікація отриманих теоретичних результатів. Розбіжність між експериментальними та теоретичними результатами складала: для плит серії 1 - 3...8%, для плит серії 2 - 4...15%, для плит серії 3 - 2...14%.

7. Створена інженерна методика розрахунку розглянутих багатошарових залізобетонних та монококових керамзитобетонних плит перекриття. Порівняння результатів експериментальних досліджень із цією методикою дало задовільну збіжність результатів з точністю до 8%.

8. Розроблені пропозиції з проектування полегшених залізобетонних багатошарових і монококових керамзитобетонних плит перекриття, які впроваджені в реальному проектуванні і будівництві.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ*****Статті у наукових фахових виданнях України:***

1. Вознюк Л.І. Проектування і дослідження багатошарових конструкцій / Л.І.Вознюк, І.З.Рутковська // Сборник научных трудов “Строительство, материаловедение, машиностроение”. – Дн-вск, ПГАСА. – 2007. – №628. – С. 100-104. *(Особистий внесок автора: виготовлення дослідних зразків, розробка методики випроувань).*
2. Рутковська І.З. Методика дослідження тришарових конструкцій / І.З.Рутковська, Л.І. Вознюк // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури “Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології”. – 2007. – Вип. 6(68). – С.88-92. *(Особистий внесок автора: огляд літератури, дослідження багатошарових конструкцій при їх опиранні за балочною схемою).*
3. Рутковська І.З. Експериментальні дослідження тришарових конструкцій / І.З.Рутковська, З.М. Рутковський, Л.І. Вознюк, А.Б.Марущак // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – 2008. – №627. – С. 179-182. *(Особистий внесок автора: підготовка експериментального стенду, аналіз отриманих результатів).*
4. Демчина Б.Г. Особливості розрахунку багатошарових плит перекриття на ПК "ЛІРА" / Б.Г. Демчина, Л.І.Вознюк, І.З.Рутковська // Журнал “Сучасне промислове та цивільне будівництво”. – Макіївка: ДонНАБА – 2009. - Том 5, №4. – С. 179-184. *(Особистий внесок автора: формування 3D скінченно-елементних нелінійних моделей плит перекриття в середовищі програмного комплексу “ЛІРА”).*
5. Рутковська І.З. Виготовлення та випробування тришарових плоских панелей перекриття розміром 2x2 м / І.З. Рутковська, Л.І. Вознюк // Науково-технічний збірник “Містобудування та територіальне планування”. – Київ: КНУБА – 2013. – Вип. 48. – С.384-389. *(Особистий внесок автора: розробка проектних рішень багатошарових плит перекриття при їх опиранні на чотири кути та виконання експериментальних досліджень).*
6. Вознюк Л.І. Дослідження трьохшарових балочних плит на згин / Л.І.Вознюк, Б.Г.Демчина, Д.І. Дубіжанський // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – Рівне: НУВГП – 2014. – № 4(68). – С. 232-238. *(Особистий внесок автора: аналіз чисельних даних на основі проведеного розрахунку, який враховував нелінійні властивості матеріалів плит).*
7. Вознюк Л.І. Випробування керамзитобетонних плит перекриття із ефективними вставками / Л.І. Вознюк, Б.Г. Демчина, Ю. Собчак-Пястка // Вісник Львівського національного аграрного університету: архітектура і сільськогосподарське будівництво. – 2016. – № 17. – С. 109-117. *(Особистий внесок автора: розробка ефективної конструкції керамзитобетонної плити перекриття із порожнистими вставками монококового типу та виконання її експериментального дослідження).*

**Стаття у науковому періодичному виданні іншої держави:**

8. Вознюк Л.И. Результаты исследования трехслойных плит перекрытия на изгиб / Л.И. Вознюк, Б.Г. Демчина, Д.И.Дубижанский // Вестник Брестского государственного технического университета – 2015. – № 1(91). – С. 28-32. *(Особистий внесок автора: реалізація експериментальної верифікації отриманих результатів, аналіз напружено-деформованого стану та виконання оцінки несучої здатності).*

**Патенти:**

9. Пат. № 100525 UA, МПК E04B 5/08; E04B 5/23, Перекрытия будинку / Вознюк Л.И., Рутковська І.З., Демчина Б.Г.; заявник і патентовласник НУ “Львівська політехніка” - опубл. 27.07.2015 бюл. № 14/2015. *(Особистий внесок автора: запропоновано конструктивне рішення перекриття будинку).*

10. Пат. № 100552 UA, МПК E04B 5/61; E04B 5/02, Залізобетонна шарова плита перекриття будинку / Вознюк Л.И., Демчина Б.Г. // заявник і патентовласник НУ «Львівська політехніка» - опубл. 27.07.2015 бюл. №14/2015. *(Особистий внесок автора: патентний пошук, проектування багат шарової плити перекриття).*

**АНОТАЦІЯ**

**Вознюк Л.И. Несуча здатність та деформативність багат шарових плит перекриття. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. Національний університет “Львівська політехніка”, Міністерство освіти і науки України, Львів, 2018.

Дисертація присвячена розробці і дослідженню несучої здатності та деформативності ефективних багат шарових залізобетонних плит перекриття із середнім шаром з легкого бетону та ефективних монококових керамзитобетонних плит перекриття.

У роботі розроблено принципи конструювання та сформовано 3D скінченно-елементні нелінійні розрахункові моделі плит із використанням ПК “ЛІРА-САПР” для всіх серій експериментальних зразків. Створено інженерну методику та запропоновано підхід до оцінки несучої здатності суцільних, багат шарових та монококових плит, при їх опиранні на чотири кути із урахуванням ДСТУ Б В.2.6-156:2010. На основі розроблених принципів створена нова монококова керамзитобетонна конструкція плити перекриття.

Експериментально досліджено багат шарові залізобетонні плити перекриття із середнім шаром з легкого бетону та монококові керамзитобетонні плити перекриття. Виконано порівняння результатів експериментальних і теоретичних досліджень та отримано задовільну збіжність.

Для усіх видів дослідних плит визначався коефіцієнт ефективності  $K_{ef}$  за допомогою якого можна порівняти різні конструктивні рішення перекриттів із

урахуванням потенціальної енергії деформації. Розроблена монококова керамзитобетонна плита перекриття у 2,1 рази ефективніша за класичні суцільні залізобетонні плити та у 1,3...1,5 рази за розроблені у даній роботі багатошарові плити.

Подані пропозиції щодо проектування та виготовлення багатошарових плит перекриття із середнім шаром з легких бетонів – керамзитобетону і газобетону та монококових керамзитобетонних плит перекриття із пустотоутворюючими вставками.

**Ключові слова:** напружено-деформований стан, несуча здатність, математичне моделювання, ефективність, багатошарова плита перекриття, монококова плита перекриття.

## АНОТАЦІЯ

**Вознюк Л.И. Несущая способность и деформативность многослойных плит перекрытия. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.23.01 - строительные конструкции, здания и сооружения. Национальный университет "Львовская политехника", Министерство образования и науки Украины, Львов, 2018.

Диссертация посвящена разработке и исследованию несущей способности и деформативности эффективных многослойных железобетонных плит перекрытия со средним слоем из легкого бетона и эффективных монококовых керамзитобетонных плит перекрытия.

В работе разработаны принципы конструирования и сформирован 3D конечно-элементные нелинейные расчетные модели с использованием ПК "ЛИРА-САПР" для всех серий экспериментальных образцов. Создано инженерную методику расчета. На основе разработанных принципов конструирования создана новая монококовая керамзитобетонная конструкция плиты перекрытия. Экспериментально исследованы многослойные железобетонные плиты перекрытия и монококовые керамзитобетонные плиты перекрытия.

Для всех видов плит определялся коэффициент эффективности  $K_{ef}$  с помощью которого можно сравнить различные конструктивные решения перекрытий с учетом потенциальной энергии деформации.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, несущая способность, математическое моделирование, эффективность, многослойная плита перекрытия, монококовая плита перекрытия.

## ABSTRACT

**Voznyuk L. I. Bearing capacity and deformation of multilayer slabs. – On the rights of manuscript.**

Thesis for a candidate degree of Technical Sciences (Ph.D.) specialty 05.23.01 - constructions and buildings. Lviv Polytechnic National University Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2018.

The thesis is devoted to the development and research of load bearing capacity and deformability of effective multilayer reinforced concrete slabs with an average layer of light concrete and effective monocoam keramzit concrete slabs.

In this work the principles of design are developed and 3D finite-element nonlinear calculation models with the use of PC "LIRA-SAPR" for all series of experimental samples are formed. As a result of the use of the created calculation models, an analysis of the stress-strain condition was performed and an assessment of the bearing capacity of the multilayer reinforced concrete and monocoam keramzite concrete slabs was performed. It is important that, with their identical bearing capacity and the same supporting conditions, under the action of a static load of their own weight, the frequency of the main tone of the oscillation of the monocoque plate is greater compared to the multilayer at 20 ... 32%, and the deflections are lower by 26 ... 35%, which indicates an increased rigidity of the monocoam keramzite slab.

An engineering methodology was developed and an approach to the assessment of the bearing capacity of solid, multilayer and monocoque slabs was proposed, with their support for four corners, taking into account DSTU B B.2.6-156: 2010. Comparison of the results of experimental studies with this technique gave a satisfactory convergence of results with an accuracy of up to 8%.

On the basis of the developed principles, a new monocoam keramzite-concrete construction of slab was created.

The multilayer reinforced concrete slabs with an average layer of light concrete and monocoam keramzite concrete slabs of overlap have been experimentally investigated. A comparison of the results of experimental and theoretical studies is performed and satisfactory convergence is obtained.

The results obtained during the experiment have satisfactory convergence in comparison with theoretical modeling, which confirms the possibility of using the proposed finite element models in real design. The difference between the experimental and theoretical results was: for slabs series 1 - 1 ... 10%, for slabs series 2 - 1 ... 15%, for slabs series 3 - 2 ... 14%.

For all types of test boards, the coefficient of efficiency  $K_{ef}$  was determined, by which one can compare different structural solutions of overlays taking into account the potential energy of deformation. The monocoam keramzite-concrete cladding slab is 2.1 times more effective than classic solid reinforced concrete slabs and 1.3 ... 1.5 times for multilayer plates developed in this work.

The multilayer reinforced concrete slabs with an average layer of light concrete (aerated concrete and expanded clay concrete) have been developed and investigated. In accordance with the efficiency coefficient proposed by the Keb, their efficiency in 1,4 ... 1,6 times is greater than the classical solid reinforced concrete slabs of heavy concrete.

Submitted proposals for designing and manufacturing multilayer floor slabs with an average layer of lightweight concrete - claydite and aerated concrete and monocoam keramzit concrete slabs with void inserts.

**Keywords:** stress-strained condition, bearing capacity, mathematical modeling, efficiency, multilayer plate of overlap, monocoam keramsite concrete slabs, monocoque slab.