

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

НІКУЛІН ВАЛЕРІЙ БОРИСОВИЧ



УДК 692.522.8

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАННИЙ СТАН ПЛИТ ПЕРЕКРИТТІВ
ПОЛЕГШЕНОГО ТИПУ З УРАХУВАННЯМ ПОЧАТКОВИХ НЕДОЛІКІВ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі і споруди

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті міського господарства імені О.М. Бекетова Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук

Петрова Олена Олександрівна

Харківський національний університет
міського господарства імені О.М. Бекетова,
Міністерства освіти і науки України,
ст. викл. кафедри будівельних конструкцій

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Савицький Микола Васильович,

ДВНЗ «Придніпровська державна академія
будівництва та архітектури»

Міністерства освіти і науки України,

ректор, професор кафедри залізобетонних та
кам'яних конструкцій

кандидат технічних наук, доцент

Колякова Віра Маркусівна

Київський національний університет
будівництва та архітектури

Міністерства освіти і науки України,

доцент кафедри залізобетонних та кам'яних
конструкцій

Захист відбудеться «12» листопада 2020 р. о 12³⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, площа Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, площа Фейєрбаха, 7 та на сайті університету: <http://kart.edu.ua>.

Автореферат розісланий «09» жовтня 2020 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
канд. техн. наук, доцент



О. В. Любак

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Протягом останніх десятиліть актуальною залишається задача зниження матеріальних, трудових і енергетичних витрат на зведення будівель і споруд. В даний час, актуалізувалося також питання екологічності прийнятих конструктивних і технологічних рішень, зважаючи на істотне зростання обсягів каркасно-монолітного будівництва.

Як приклад, слід зазначити, що в каркасних будівлях 55 ... 60% обсягу бетону та арматури сконцентровано в монолітних плитах перекриття. Введення в тіло монолітних плит перекриття вкладишів-пустотоутворювачів призводить до зниження власної ваги плит, зменшення витрат бетону і арматури, ваги всієї будівлі до 30% і, відповідно, до зниження навантаження на фундамент.

Однак, істотний ефект в зниженні витрат бетону і арматури може бути негативно знівельований в зв'язку з появою додаткових витрат на виготовлення вкладишів, і як наслідок – з підвищенням витрат праці на влаштування перекриттів і збільшенням тривалості їх зведення. Використання легких вкладишів призводить до появи додаткових закладних деталей і елементів кріплення - все це відображається на технології зведення, збільшує трудомісткість і вартість робіт. Крім того, особливість технологічного процесу зведення полегшених плит породжує виникнення різного роду технологічних відхилень, що, в свою чергу, призводять до появи таких конструктивних недоліків, як виродження ребер, зменшення захисних шарів бетону в обшивках або взагалі виродження обшивок, та ін. У зв'язку з чим, актуальною вбачається задача оцінки впливу даних недоліків на напружено-деформований стан конструктиву та формування можливих допусків на відхилення від проектного положення закладних елементів конструкції.

В даний час в Україні накопичено певний позитивний досвід зведення будівель і споруд з використанням вкладишів-пустотоутворювачів з пінополістиролу, що дозволив підтвердити доцільність та ефективність їх використання. У зв'язку з чим, аналіз впливу початкових недоліків бетонування при зведенні полегшених плит на напружено-деформований стан системи в цілому та вдосконалення конструктивно-технологічних рішень плит з пустотоутворювачами вбачається актуальним та своєчасним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота є частиною досліджень, які виконуються в рамках функціонування наукової школи «Конструкції і матеріали для житлових і громадських будівель» Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова, а також держбюджетної теми «Розробка та дослідження нової конструктивної системи багатокритеріальної відповідності» (№0115U000154).

Метою дисертаційної роботи є аналіз напружено-деформованого стану (НДС) полегшених плит перекриттів з урахуванням початкових недоліків та вдосконалення їх конструктивно-технологічних рішень.

Наукова гіпотеза – створення конкурентоспроможних та ефективних конструктивних систем перекриттів, що відрізняються сучасним технологічним забезпеченням.

Поставлена мета передбачає вирішення наступних завдань:

1. аналіз конструктивних рішень полегшених залізобетонних плит та вибір ефективної системи за критерієм мінімізації витрат матеріалів при заданій несучій здатності;
2. класифікація технологічних відхилень при зведенні полегшених плит, що породжують конструктивні недосконалості конструкції; оцінка їх впливу на напружено-деформований стан системи в цілому та формулювання можливих допусків на відхилення;
3. вивчення особливостей напружено-деформованого стану полегшених плит перекриттів при аномальних впливах;
4. вдосконалення конструктивно-технологічних рішень зведення полегшених плит перекриття з метою мінімізації впливу початкових недоліків;
5. експериментальна верифікація запропонованих конструктивно-технологічних рішень, які мінімізують початкові недоліки;
6. оцінка техніко-економічної ефективності запропонованих конструктивно-технологічних рішень.

Об'єкт дослідження – напружено-деформований стан ефективної монолітної залізобетонної плити перекриття полегшеного типу з пінополістирольними вкладишами-пустотоутворювачами та початковими недоліками.

Предмет дослідження – вплив початкових недоліків на компоненти напружено-деформованого стану об'єкту дослідження.

Методи дослідження. У роботі використані аналітичні та чисельні методи механіки деформованого твердого тіла, в тому числі, метод скінченних елементів. Побудову конструктивних рішень реалізовано на основі експлуатації алгоритмів, що реалізують управління якісними і кількісними характеристиками НДС конструкцій, а також процедур вибору їх раціональних параметрів. Експериментальне дослідження полегшеної плити перекриття проведено за допомогою методу гідростатичного навантаження та з використанням елементів автоматизованої системи наукових досліджень, що базується на сучасному технічному та інформаційному забезпеченні.

Наукову новизну отриманих результатів визначають:
вперше:

- вивчено та систематизовано початкові технологічні відхилення при зведенні залізобетонних плит з вкладишами з пінополістиролу;

- виконано оцінку впливу деформованої топології конструкції на компоненти напружено-деформованого стану плит перекриттів та сформовано допуски на відхилення положення вкладишів і арматурних виробів;

- виконано експериментальне натурне дослідження напружено-деформованого стану полегшеної плити з початковими недоліками у вигляді горизонтального шва розриву бетонування.

Набуло подальшого розвитку:

- підбір складу самоущільнюваного бетону з розпливанням 650мм для забезпечення одностадійного зведення полегшених залізобетонних перекриттів;

- визначення раціональної геометрії конструктиву з вкладишами за умови мінімізації витрат бетону та полістиролу.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розроблених конструктивних, технологічних і організаційних рішеннях, що підвищують ефективність зведення полегшених залізобетонних конструкцій, та у впровадженні рекомендацій у реальне будівництво.

Основні результати дослідження впроваджені при зведенні полегшених конструкцій в м. Харкові: плит перекриттів та фундаментів нежитлової будівлі по майдану Павлівському, 4; бетонуванні температурних швів житлової будівлі по вул. Сухумській, 11; зведенні навісів багатофункціонального комплексу по Московському проспекту, 97, а також при варіантному проектуванні житлової будівлі по вул. Цілиноградській, 2. Інтегрально, економічний ефект від застосування розроблених рішень склав 12-15% для перелічених об'єктів у порівнянні із застосуванням традиційних суцільних монолітних залізобетонних конструктивів.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Окремі положення досліджень виконані у співавторстві, що відображено в списку наукових публікацій [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Апробація матеріалів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідалися та одержали позитивні оцінки на міжнародних науково-практичних конференціях: Міжнародна науково-практична конференція «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві», Харків (23-24 квітня 2014 р.); VII Міжнародна наукова конференція «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд», Харків (20-21 жовтня 2015р.); Міжнародна науково-практична конференція «Ефективні технологічні рішення в будівництві з використанням бетонів нового покоління», Харків (2015); VI-а міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті», Харків, УДУЗТ (19-21 квітня 2017р.); II Міжнародна конференція «Challenges in Geotechnical Engineering», Київ, КНУБА (20-23 листопада 2017р.); FIB

Symposium 2019: Concrete - Innovations in Materials, Design and Structures, Krakow, Poland (26-28 May, 2019).

Публікації. Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковані в 10 наукових працях, з яких: 4 статті у наукових фахових виданнях, рекомендованих МОН України, в тому числі 1 – у виданні, що включене до міжнародної наукометричної бази; 1 публікація у міжнародному періодичному виданні, що включена до міжнародної наукометричної бази Scopus; 2 публікації апробаційного характеру, що включені до міжнародної наукометричної бази Scopus; 2 додаткові публікації; 1 патент України на винахід.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел зі 134 найменувань та 10 додатків. Повний обсяг дисертації складає 260 сторінок, у тому числі 183 сторінки основного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета і завдання дисертаційного дослідження, наведені основні отримані наукові результати, позначено їх практичне значення і область реалізації.

У першому розділі розглянуті відомі архітектурно-будівельні системи та технології зведення полегшених конструкцій, що застосовують в якості вкладишів-пустотоутворювачів уніфіковані модулі з повторно переробленого поліпропілену та пінополістиролу. Позначені основні переваги і недоліки даних систем з урахуванням їх конструктивних особливостей та технологічних операцій по влаштуванню перекриттів. Також проаналізовано відмінності суцільних монолітних перекриттів та перекриттів з пустотоутворювачами з точки зору доцільності їх застосування в масовому монолітному будівництві.

Виконано аналіз наявних теоретичних та експериментальних досліджень, що присвячені питанням оцінки напружено-деформованого стану обговорюваних конструкцій. Зокрема, вивченню полегшених безбалкових перекриттів і їх елементів присвячені праці сучасних дослідників Бабича Є.М., Бамбури А.М., Банаха В.А., Бережної К.В., Вознюка Л.І., Демчини Б.Г., Дорофєєва В.С., Карпюка В.М., Колякової В.М., Клімова Ю.А., Лантух-Ляценка А.І., Помазана М.Д., Ромашко В.М., Савицького М.В., Стебловського І.А., Стороженка Л.І., Шмуклера В.С., Єгупова К.В., Albrecht С., Mota М., J.H. Chung, В. N. Rao, Thaag Al-Gasham та ін. Топологічна оптимізація конструкцій розглянута в роботах Мягкова Л.Л., Оганєсяна П.А., Чирського С.П., Шевцова С.М., Шмуклера В.С., Tae-Young Jang, X.Y. Yang, Y.M. Xie, G.P.Steven, O.M. Querin, G.I.N. Rozvanу та ін.

Оцінка теоретичних і експериментальних результатів, наведених в відомих дослідженнях, підтверджує той факт, що зазначені конструкції

представляють значний інтерес для сучасної будівельної галузі. Облік обсягу, а також якісного наповнення наявної інформації, дозволив визначити невирішені, але актуальні питання, і, як наслідок, сформулювати основні задачі представленої роботи.

У другому розділі розглянуті конструктивно-технологічні особливості пустотілих перекриттів системи «Монофант», технологія зведення яких передбачає бетонування конструктиву із вкладишами-пустотоутворювачами з пінополістиролу.

Основною позитивною відмінністю системи «Монофант» серед інших є можливість управління поведінкою конструкції, що забезпечено, в даному випадку, за рахунок експлуатації наступних критеріїв:

- мінімізації потенційної енергії деформації (ПЕД) системи:

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

де U – потенційна енергія деформації; k – номер варіанта порівняння; $\alpha \in M$; M – безліч допустимих значень зовнішніх геометричних параметрів;

- вимоги ізоенергетичності стану системи:

$$e[\{\bar{x}\}] = \text{const}, \quad (2)$$

де e – щільність потенційної енергії деформації (ЩПЕД); $\{\bar{x}\}$ – вектор внутрішніх параметрів.

Використання позначеного підходу, заснованого на наведених енергетичних принципах раціоналізації конструкції, дозволило отримувати конструкції з мінімальною витратою матеріалу у порівнянні з відомими аналогами (табл. 1). Дана обставина зумовила детальний розгляд в роботі саме цих конструктивів.

Таблиця 1.

Техніко-економічні показники конструкцій перекриття

| Назва системи | Конструктивна товщина перекриття, см | Обсяг вкладиша, см ³ | Крок вкладишів, см | Кількість вкладишів, шт./м ² | Обсяг вкладишів, м ³ /м ² | Приведена товщина перекриття, см |
|---------------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------|---|---|----------------------------------|
| Airdeck | 25 | 4100 | 30 | 11 | 0.045 | 20.4 |
| BubbleDeck | 25 | 3100 | 20 | 25 | 0.076 | 17.2 |
| Cobiax | 25 | 9100 | 35 | 8.2 | 0.075 | 17.5 |
| U-Boot Beton | 25 | 28000 | 64 | 2.44 | 0.068 | 18.2 |
| «Монофант» | 25 | 121500 | 100 | 1 | 0.1215 | 12.85 |

Внутрішня структура розглянутого двовимірного конструктиву системи «Монофант» є спеціально-анізотропним середовищем, вузли якого виконані у вигляді внутрішніх капітелей (рис. 1). Змінюючи конфігурацію ребер, досягається мінімальне значення потенційної енергії деформації, а рівномірно розподіляючи щільність ПЕД досягається мінімальна витрата матеріалів.

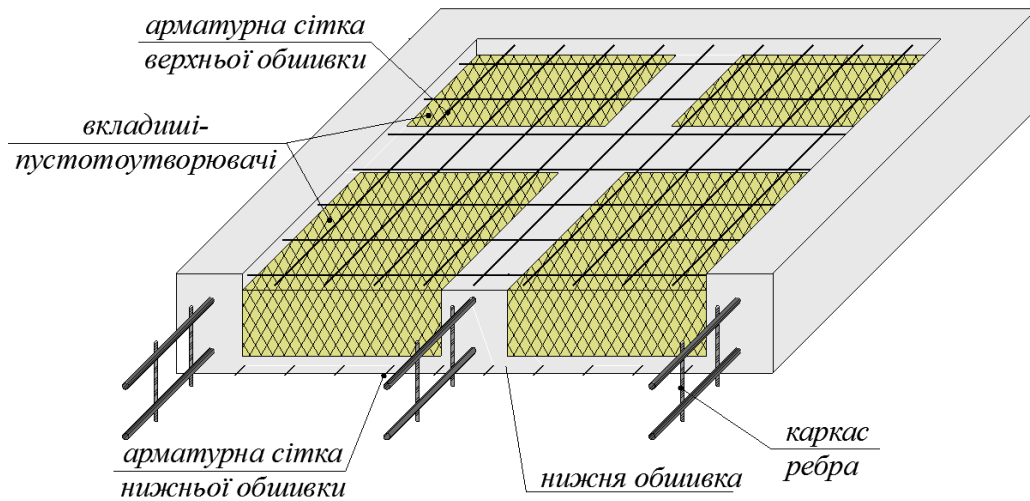


Рис. 1. Загальний вигляд фрагменту плити перекриття системи «Монофант»

Накопичений на даний момент досвід зведення обговорюваних конструкцій свідчить про цілий ряд факторів, що негативно впливають на необхідні властивості конструкції. Класифікація можливих початкових недоліків конструктиву може бути представлена наступним чином:

- 1) відхилення положення вкладишу в площині плити:
 - зміщення вкладишів в плані перекриття;
 - зміщення вкладишів по висоті перекриття;
- 2) відхилення положення вкладишу в просторі (три кути Ейлера);
- 3) відхилення положення арматурного каркасу;
- 4) пониження проектного класу бетону;
- 5) поява горизонтального шва розриву в перекритті при двохстадійному бетонуванні.

Реалізуючи завдання вдосконалення конструктивно-технологічних рішень, в роботі проаналізовано вплив початкових недоліків на напружено-деформований стан конструкції.

Виконано скінченно-елементне моделювання чарунки полегшеної плити перекриття в ПК «Ліра-САПР» з подальшим аналізом впливу відхилень положення вкладишу в плані та по висоті при дії рівномірно розподіленого статичного навантаження інтенсивністю 10 кН/м^2 . Розглянута стандартна чарунка перекриття каркасної будівлі (обпирання на 4 точки – колони) розміром $6.0 \times 6.0 \text{ м}$ товщиною 200 мм . В силу симетричності даної схеми, при моделюванні прийнято $\frac{1}{4}$ частини перекриття розміром $3.0 \times 3.0 \text{ м}$ (рис. 2).

Для виявлення ступеня впливу зміщення вкладишів від проектного положення на НДС системи (зокрема, на значення ПЕД), дослідження виконано методом порівняння «еталонного» випадку із 12 аномальними. Визначення величини ПЕД виконано в ПК «Ліра 10.6». Результати визначення компонентів НДС наведені в таблиці 2.

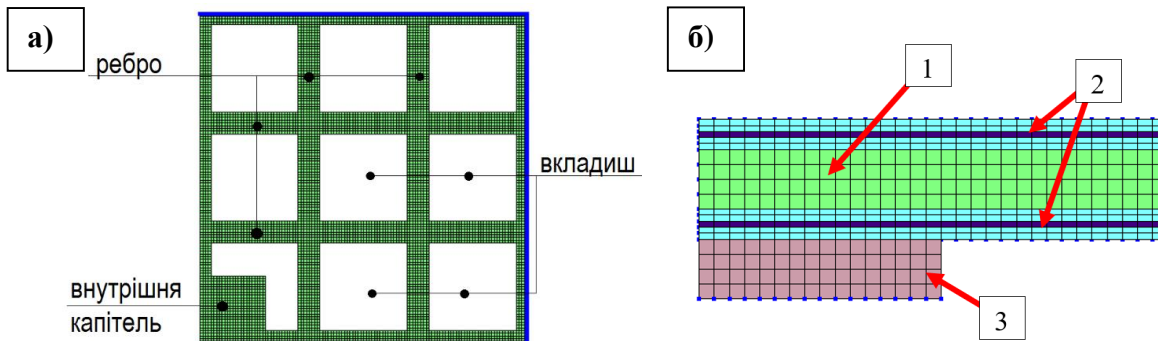


Рис. 2. Скінченно-елементна модель фрагменту плити з проектним положенням вкладишів: а) план, б) переріз: 1 – ребро; 2 – шари армування; 3 – колона

Таблиця 2.

Результати визначення компонентів НДС розглянутих варіантів

| № вар. | Максимальний прогин, Z | | Власна частота | | ПЕД | |
|--------|------------------------|--------|----------------|--------|--------|--------|
| | мм | % | Гц | % | кНм | % |
| 0 | 5.88 | 100.00 | 7.760 | 100.00 | 0.1465 | 100.00 |
| 1 | 5.91 | 100.51 | 7.760 | 100.00 | 0.1466 | 100.07 |
| 2 | 6.17 | 104.93 | 7.750 | 99.871 | 0.1467 | 100.14 |
| 3 | 5.90 | 100.34 | 7.757 | 99.961 | 0.1467 | 100.14 |
| 4 | 5.94 | 101.02 | 7.736 | 99.691 | 0.1471 | 100.41 |
| 5 | 5.88 | 99.83 | 7.767 | 100.09 | 0.1464 | 99.932 |
| 6 | 6.06 | 103.06 | 7.635 | 98.389 | 0.1509 | 103.00 |
| 7 | 6.01 | 102.21 | 7.667 | 98.802 | 0.1503 | 102.59 |
| 8 | 5.78 | 98.30 | 7.834 | 100.95 | 0.1434 | 97.884 |
| 9 | 6.12 | 104.08 | 7.600 | 97.938 | 0.1539 | 105.05 |
| 10 | 5.94 | 101.02 | 7.742 | 99.768 | 0.1472 | 100.48 |
| 11 | 5.88 | 100.00 | 7.764 | 100.05 | 0.1465 | 100.00 |
| 12 | 5.78 | 98.30 | 7.844 | 101.08 | 0.1432 | 97.747 |

З результатів чисельного аналізу випливає, що зміщення вкладишу в плані плити призводить до збільшення значень прогинів та потенційної енергії деформацій до 4.76%, і зменшення власної частоти коливань до 2%. Зменшення внутрішньої монолітної капітелі вузла (варіант №9) спричинює зростання ПЕД на 5.05%. Зменшення товщини обшивок призводить до зміни значень компонентів НДС в більшу або меншу сторону на 1-3%. Наведена інформація обґрунтовує необхідність визначення допустимих меж відхилень положення вкладишу в плані і просторі та розробки надійного конструктивного рішення фіксації вкладишу, адже розміри, навантаження та умови обпирання полегшеної плити перекриття можуть суттєво відрізнятись від розглянутого при чисельному аналізі.

Приймаючи до уваги доволі часто збільшення водоцементного відношення для покращення рухливості бетонної суміші при бетонуванні плит з вкладишами в будівельних умовах, також виконано варіантний аналіз НДС каркасної монолітної житлової будівлі. В якості варіантів порівняння прийняті конструктивні реалізації у вигляді суцільних перекриттів з важкого бетону (СВЗ) та керамзитобетону (СЛЗ), а також полегшених (монококових) перекриттів з важкого бетону (МВЗ) та

керамзитобетону (МЛЗ). Моделювання виконано в ПК «Ліра 10.6». Прийняті класи бетону – важкий С35/40, легкий С16/20. Вихідні дані та результати розрахунку наведені в табл. 3.

За результатами дослідження відзначається, що монококові конструкції відрізняються від суцільних мінімальними значеннями ПЕД (в 1.6-1.8 разів) та переміщень (в 1.21-1.37 разів), квазірівномірним розподіленням щільності ПЕД, максимальними значеннями частоти основного тону власних коливань. Визначено, що найбільш ефективною конструкцією (у розумінні енергетичних критеріїв (1,2)) є варіант, що відповідає несучому каркасу із монококовими дисками перекриттів, що виконані з легкого бетону (4^й вар.).

Таблиця 3*.

Вихідні дані та результати розрахунків варіантного проектування

| Конструкція перекриття та матеріал каркасу | Вага конструкції каркасу (із урахуванням фундаментної плити), кН | Фундаментна плита | | | | Каркас | | | | | Модальний аналіз каркасу | |
|--|--|---------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|--|--------------------------------|------|----------|--------------------------|--------------------------|
| | | R_z , кН/м ² | M_x , max., кНм | M_y , max., кНм | Переміщення, мм | Максимальне переміщення, мм | Навантаження на колони 1 ^{го} поверху, кН | Переміщення від сейсміки б, мм | | ПЕД, кНм | Період (1-ша форма), с | Частота (1-ша форма), Гц |
| | | | | | | | | X | Y | | | |
| СВЗ (1 ^й) | 188981 | 199 | 867 | 869 | 10.2 | 23.2 | 3962 | 11.9 | 18.5 | 423 | 2.00 | 0,50 |
| МВЗ (2 ^й) | 149331 | 148 | 555 | 567 | 7.54 | 19.2 | 3021 | 11.9 | 16.1 | 258 | 1.97 | 0,51 |
| СЛЗ (3 ^й) | 136072 | 156 | 532 | 557 | 7.95 | 24.3 | 2844 | 14.3 | 21.9 | 363 | 2.14 | 0,47 |
| МЛЗ (4 ^й) | 107514 | 113 | 390 | 377 | 5.74 | 17.8 | 2040 | 11.2 | 16.3 | 201 | 1.93 | 0,52 |

* в таблиці прийняті наступні позначення: R_z – відпір; M_x та M_y – згинальні моменти в декартовій системі координат; сейсмічність – б.

Тобто заміну важких бетонів на більш легкі рухливі суміші можна вважати рекомендованою мірою, адже зменшення ваги будівлі в цілому позитивно впливає на динамічну стійкість та надійність конструктиву. Однак, зниження класу бетону даних конструкцій слід передбачати в проекті, не допускаючи можливість самовільного коригування складу бетонних сумішей на будівельному майданчику. Збільшення рухливості бетону є об'єктивною технологічною необхідністю для ефективного зведення розглянутих конструкцій без недоліків (поява каверн, пустот під вкладишем) та є приводом для вдосконалення складів литих бетонних сумішей.

Традиційна технологія бетонування перекриттів системи «Монофант» передбачає їх зведення в 2 етапи, коли між бетонуванням нижньої обшивки витримується технологічна перерва для розкладки вкладишів та установки верхньої арматурної сітки. У зв'язку з цим, проаналізовано вплив горизонтального шва розриву в полегшеній плиті на її напружено-деформований стан (рис. 3).

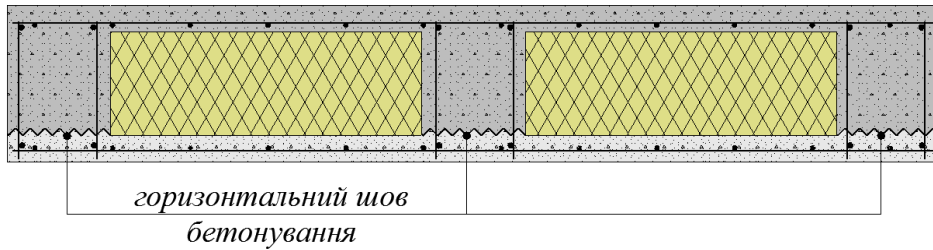


Рис. 3. Полегшена плита з горизонтальним швом розриву бетонування

Чисельний аналіз виконано в ПК «Ліра 10.6» шляхом побудови скінченно-елементної моделі полегшеної плити розміром 6.0x6.0м і товщиною 200мм, опертої на 4 канти. В першому варіанті розглянуті моделі плити з плоских скінченних елементів (СЕ №41) з суцільним і переривчастими швами бетонування. Навантаження прийняте рівномірно розподіленим по верхній обшивці інтенсивністю 10кН/м². У розрахунку розглянуті різні модулі пружності матеріалу шва розриву – від 1000 до 23000 МПа. Результати розрахунку представлені графіками залежності вертикальних переміщень (рис. 4) і потенційної енергії деформації (рис. 5) від величини модуля пружності.

Отримані результати свідчать про те, що наявність розриву в шві бетонування призводить до збільшення значень переміщень на 6.05% при суцільному шві та на 9.70% - при переривчастому. Збільшення потенційної енергії деформації системи складає, відповідно, 6.21% і 10%. При цьому, зі збільшенням модуля пружності матеріалу шва, різниця в значеннях компонентів НДС для системи із суцільним і переривчастим швами нівелюється.

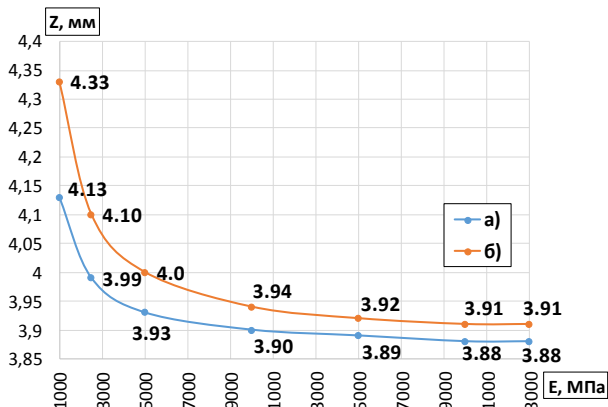


Рис. 4. Залежність максимального переміщення плити (z) перекриття від значення модуля пружності матеріалу (E) шва для плити із суцільним швом бетонування (а) і переривчастим (б)

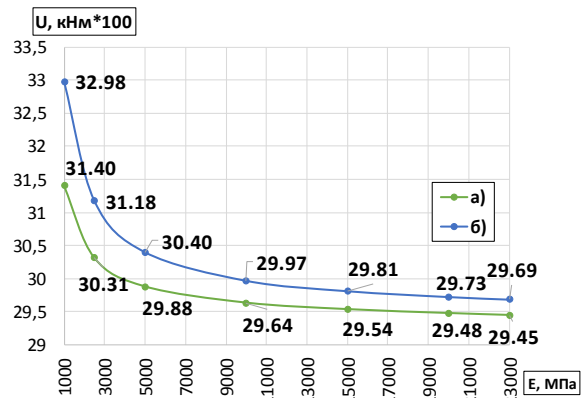


Рис. 5. Залежність потенційної енергії деформацій (U) від значення модуля пружності матеріалу (E) шва для плити із суцільним швом бетонування (а) і переривчастим (б)

Повторне моделювання плити об'ємними скінченними елементами (СЕ №36), в якому розглянуто плиту без шва розриву, з суцільним швом та з випусками поперечної арматури, показало збільшення переміщень плити відповідно на 5% та 20% (по відношенню до плити без шва розриву). Таким чином, наявність шва розриву та занижені фізико-механічні показники

матеріалу шва призводять до незначної зміни НДС розглянутих систем, тому допустимо використовувати технологічні рекомендації з підготовки робочих швів в горизонтальній площині для забезпечення необхідного зчеплення «старого» та «нового» бетону. Крім того, застосування в якості поперечної арматури стрижнів більшого діаметру ніж конструктивна арматура, наприклад, Ø12-16мм (замість традиційних хомутів Ø6-8мм), може забезпечити необхідну спільну роботу конструктиву з швом розриву бетонування навіть після багаторічної перерви.

Аналіз та узагальнення наведених результатів досліджень полегшених плит з початковими недоліками дозволив сформувати необхідні допуски на відхилення для обговорюваних конструкцій, що наведені в табл. 4. Разом з тим, актуальним завданням також є визначення рекомендованих параметрів конструктиву (товщина ребер, обшивок, розмір вкладишів), за яких забезпечується виконання згаданих критеріїв (1,2).

Таблиця 4.

Допустимі відхилення положення

| Вкладишів | | | |
|-------------|-------------|------------------------------|------------------------------|
| з площини | в площині | в просторі (три кути нахилу) | |
| ±8мм | ±4 мм | ±5 град | |
| Каркасів | | | |
| з площини X | з площини Y | в площині | в просторі (два кути нахилу) |
| ±5 мм | ±10 мм | ±10 мм | ±10 град |

Оскільки внутрішню сітку ребер перекриття щоразу отримують шляхом прямого розрахунку, це, в свою чергу, ускладнює уніфікацію вкладишів та породжує необхідність вирішення завдання мінімізації відходів при різанні вкладишів. Враховуючи те, що наведені критерії раціоналізації дозволяють мінімізувати також і обсяг бетону, в **Розділі 3** наведений аналіз залежності впливу розмірів вкладишу на напружено-деформований стан системи при заданій витраті бетону.

Розглянута полегшена плита перекриття (рис. 6) товщиною 200мм з діагональною сіткою ребер, що відповідає обмеженням (1,2). Виходячи з існуючого досвіду зведення даних конструктивів, що свідчить про можливу економію бетону в межах 28-42%, для розрахунку прийнято економію бетону 30% в порівнянні з суцільною плитою аналогічних розмірів. Далі визначено її внутрішню геометрію з умов, що ширина ребра рівна 100мм, а розмір вкладишу складає 500х500мм (рис. 2).

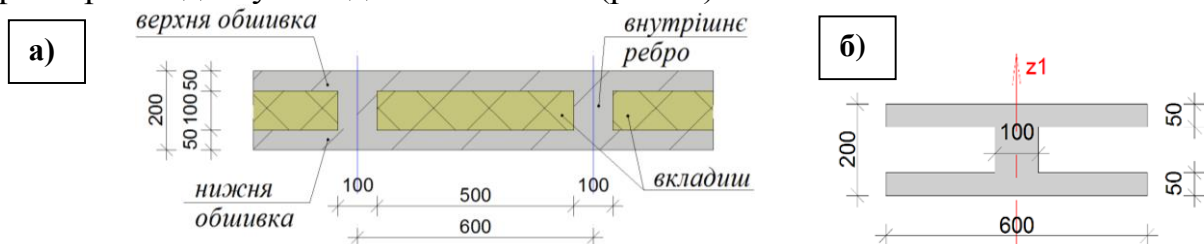


Рис. 6. Поперечний (а) та приведенний (б) переріз плити

Для визначення компонентів НДС виконане скінченно-елементне моделювання плит в ПК «Ліра 10.6» (рис. 7). Окрім різних геометрій плит, розглянуті також 2 варіанти їх обпирання – на 4 колони або на 4 стіни. Моделювання виконане універсальним просторовим стрижневим СЕ №10. Фізико-механічні характеристики задані як для важкого конструкційного бетону класу С25/30. Навантаження прийняте рівномірно розподіленим інтенсивністю 10кН/м^2 .

Таблиця 5.

Отримана витрата матеріалів для утворених геометрій

| № геометрії | №1 | №2 | №3 | №4 | №5 |
|---|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Витрати бетону на ребра, м ³ | 1.28 | 1.37 | 1.38 | 1.42 | 1.43 |
| Розмір вкладишу, мм | 500x500 | 650x650 | 810x810 | 970x970 | 1130x1130 |
| Витрати полістиролу, м ³ | 2.32 | 2.23 | 2.22 | 2.18 | 2.17 |
| Ширина ребра, мм | | | | | |
| Розрахована | - | 148 | 193 | 227 | 272 |
| Встановлена | 100 | 150 | 190 | 230 | 270 |

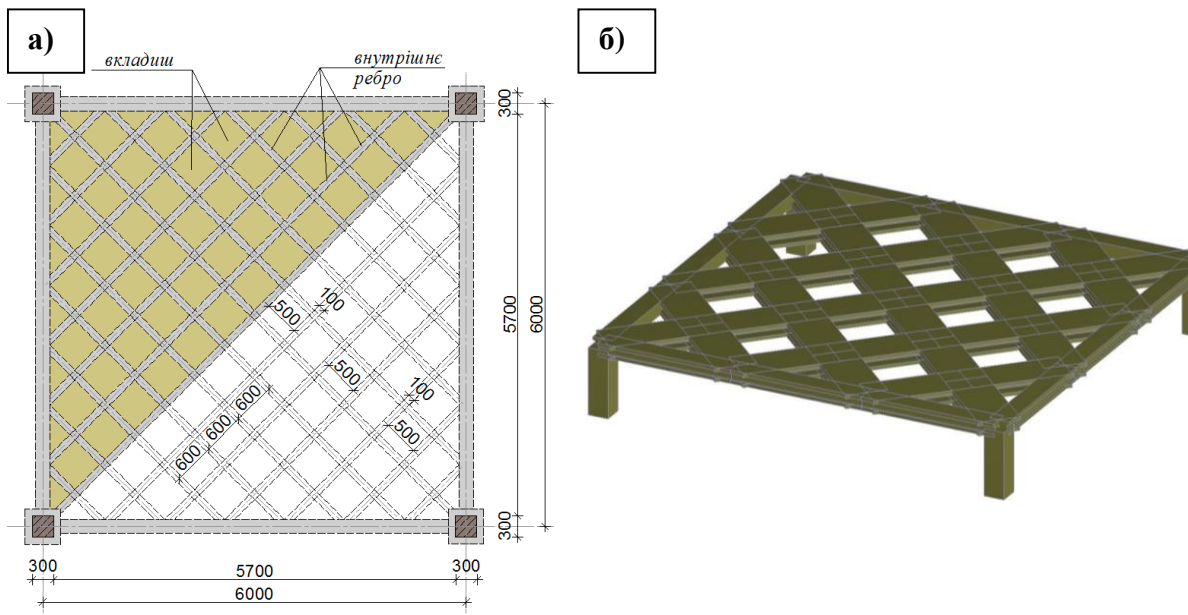


Рис. 7. Загальний вигляд геометрії №1: план (а) та СЕ модель плити, обпертої на чотири колони (б)

Результати визначення основних компонентів НДС розглянутих систем наведені на рис. 8-9. З результатів дослідження випливає, що збільшення розмірів вкладишів призводить до зростання потенційної енергії деформації в системі на 15-25% і збільшення значень прогинів на 13.6-20.8% для обидвох варіантів обпирання. Тому, з точки зору раціоналізації перетинів у відповідності до критеріїв (1,2), прийнятними в сформованих умовах (враховуючи навантаження та схему обпирання) є більш дрібні розміри вкладишів, що відповідає геометрії №1.

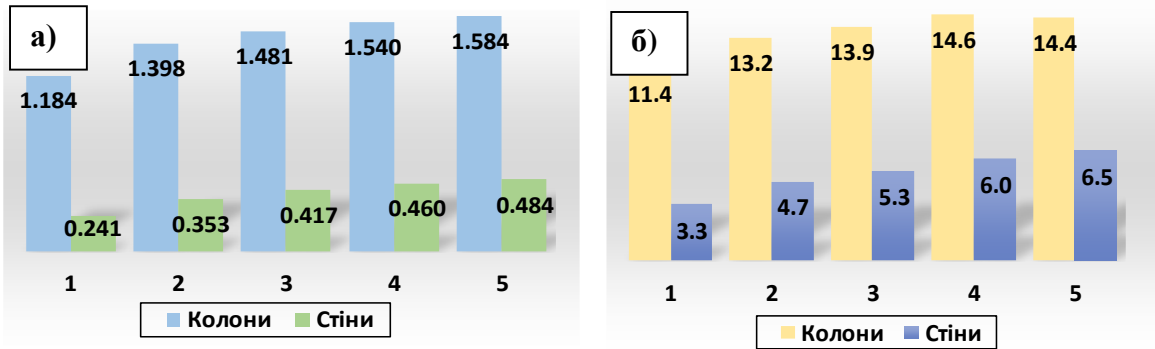


Рис. 8. Результати визначення компонентів НДС: а) потенційна енергія деформації, кНм; б) прогини, мм

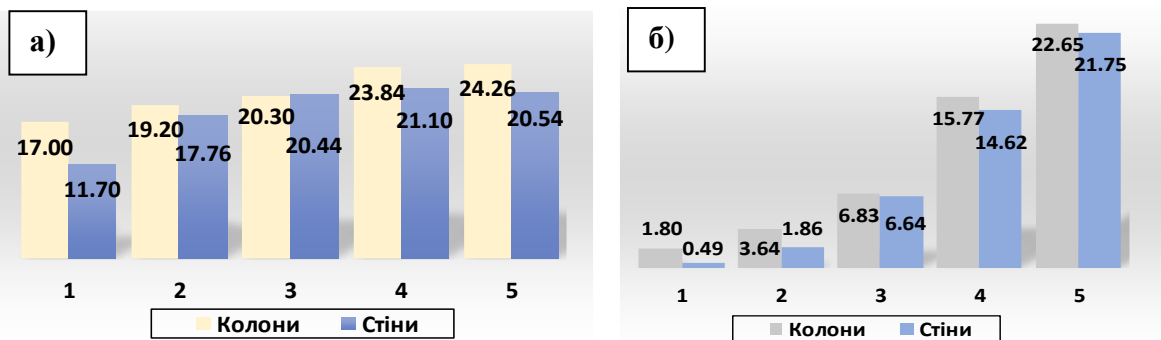


Рис. 9. Результати визначення компонентів НДС: а) згинальні моменти M_y , кНм; б) згинальні моменти M_x , кНм

Для перевірки технологічності розкроювання вкладишів кожного з п'яти варіантів вирішене завдання оптимального розкроювання вкладишів необхідної форми і розміру зі стандартного аркуша пінополістиролу розміром 1.0x3.0x0.2м методом лінійного програмування варіантів розкрою в середовищі Microsoft Excel. Реалізація варіантів розкрою листа на деталі виконана в середовищі САПР Autocad. На рис. 10 наведені оптимальні варіанти розкрою вкладишів для кожної з п'яти геометрій плит.

Результат розв'язання задачі оптимального розкроювання (табл. 6) свідчить про те, що варіант №1 (крок ребер 600мм), забезпечує найменший відсоток відходів при різанні вкладишів на заготовки зазначеної форми при заданих обмеженнях.

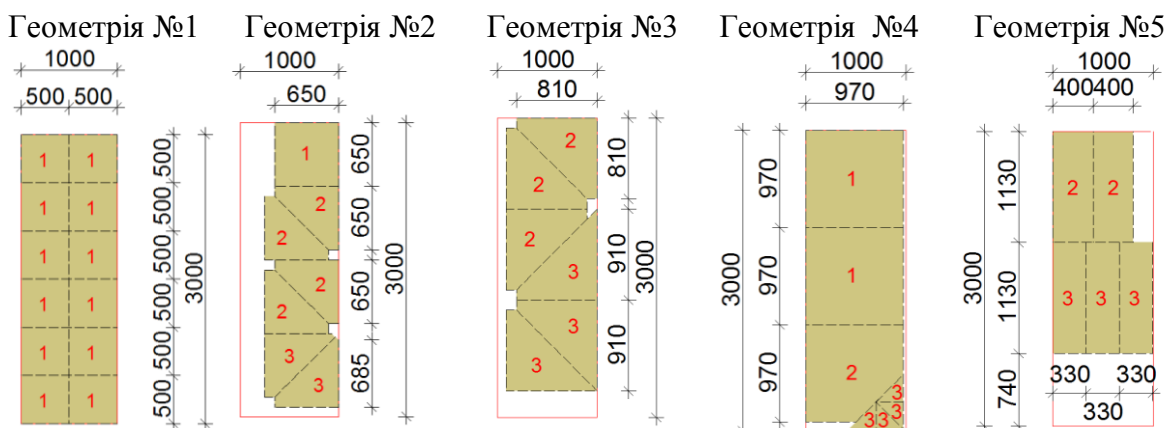


Рис. 10. Варіанти оптимального розкроювання для розглянутих геометрій плит

Таблиця 6.

Результати відбору оптимального розкрою

| № геометрії | №1 | | | №2 | | | №3 | | | №4 | | | №5 | | |
|--|------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| Площа вихідної заготовки, м ² - 3.0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Номери деталей | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Площа деталей, м ² | 0.25 | 0.08 | 0.07 | 0.42 | 0.27 | 0.28 | 0.66 | 0.41 | 0.40 | 0.94 | 0.83 | 0.04 | 0.53 | 0.45 | 0.37 |
| Кількість деталей | 84 | 20 | 8 | 40 | 12 | 8 | 24 | 8 | 8 | 12 | 12 | 16 | 12 | 24 | 12 |
| Кількість комбінацій розкрою | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 101 | | | 30 | | | 18 | | | 20 | | | 12 | | |
| Доля відходів, % | 3.22 | | | 42.83 | | | 32.53 | | | 8.95 | | | 39.77 | | |
| Площа відходів, м ² | 1.0 | | | 17.0 | | | 11.0 | | | 2.0 | | | 14.0 | | |

Одночасно з раціональним розташуванням вкладишів в плані плити, невирішеним завданням є визначення мінімально можливої товщини обшивок полегшеної плити. Враховуючи тонкостінність конструкції полегшеної плити, обов'язковим є урахування умов вогнестійкості та продавлювання. Для оцінки класу вогнестійкості розглянута плита перекриття реальної нежитлової будівлі з вкладишами-пустотоутворювачами з пінополістиролу (рис. 11а). При розрахунку на вогнестійкість даної плити розглядається фрагмент 500x500x10300мм з одним внутрішнім ребром, як вільно оперта балка. Вогневий вплив пожежі – односторонній, температурний режим пожежі – стандартний.

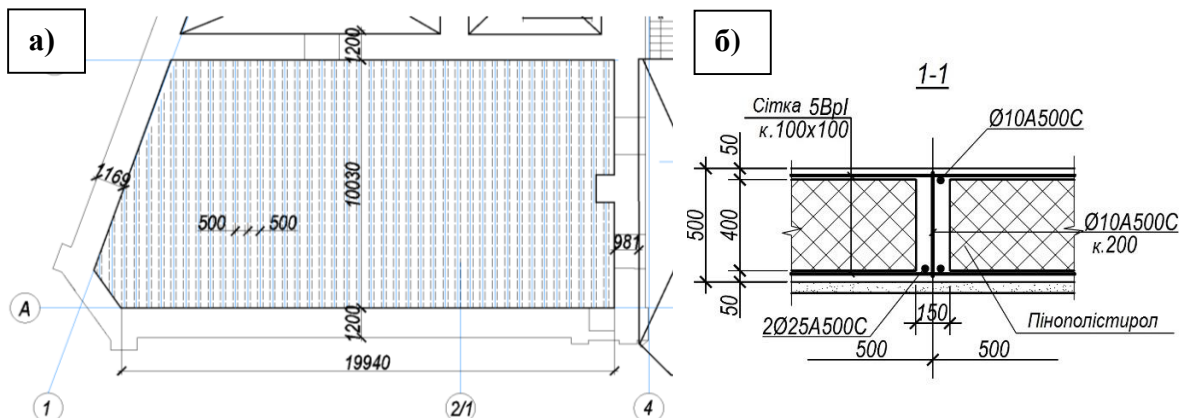


Рис. 11. Конструктивна схема фрагменту залізобетонної плити перекриття: а) схема розташування ребер; б) поперечний переріз по ребру

Встановлення відповідності монолітної залізобетонної плити визначеному класу вогнестійкості виконано шляхом послідовного вирішення задач оцінки теплопровідності (рис. 12), цілісності та несучої здатності плити та перевірки отриманих результатів альтернативним методом (табличний метод по Eurocode 2).

За результатами проведених розрахунків, температура на необігрівній стороні плити протягом контрольного часу 180 хв. (рис. 13) не досягає значення 140 °С, тобто за граничним станом втрати теплоізолюючої

здатності плита відповідає вимогам норм щодо її вогнестійкості. Отриманий коефіцієнт цілісності $F = 3.841 < 4$, згідно якого граничний стан втрати цілісності не настає. Руйнування перемички між ребрами плити внаслідок впливу пожежі не відбувається, оскільки коефіцієнти зниження міцності бетону та арматурної сталі є не меншими за одиницю, а, значить, несуча здатність конструктиву під час пожежі також забезпечена. Таким чином, встановлено, що клас вогнестійкості розглянутої залізобетонної плити відповідає необхідному нормативному класу REI 60, що забезпечується при товщині обшивки 50 мм.

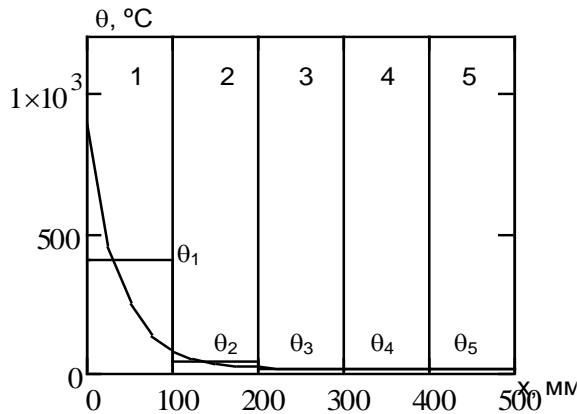


Рис. 12. Схема розбиття перерізу залізобетонної плити на зони для реалізації зонного методу

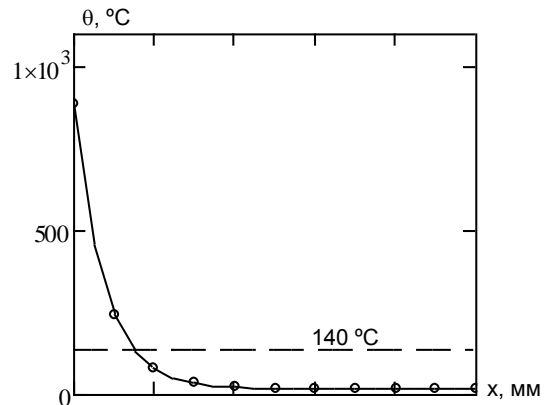


Рис. 13. Температурний розподіл по перерізу залізобетонної плити у момент часу розвитку пожежі 60 хв

Для визначення можливих меж зменшення товщини обшивки з умови її непродавлювання в реальних умовах експлуатації виконано чисельний аналіз міцності на зріз при продавлюванні для обшивок різної товщини – 30, 40, 50 мм. До розгляду прийняті конструктиви, виконані з бетону класів C12/15, C16/20, C20/25, C25/30, C30/35, C32/40. Варіювався також розмір квадратних чарунок полегшеної плити (500, 600, 800, 1000, 1200 мм) та розміри квадратного штампу для моделювання продавлювання – 100x100, 200x200, 300x300 мм. В сформованих умовах, всього було розглянуто 90 комбінацій.

Для всіх варіантів чарунок і штампів продавлювання був використаний ітераційний метод (число ітерацій дорівнювало 20). Максимальне навантаження прийняте 100 кН. Зіставляючи отримані напруження на кожному кроці з несучою здатністю, визначалася граничне навантаження зрізу при продавлюванні. Аналізувалися головні та еквівалентні напруження по критеріям Генієва-Кісюка та Василькова-Шмулкера:

$$e_u = 0,5\chi_\sigma^2[(\chi_\sigma + 1)e_{cu} - (\chi_\sigma - 1)e_{tu}] + (1 - \chi_\sigma^2)e_{shu}, \quad (3)$$

де $\chi_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$ – параметр Лоде-Надаї напруженого стану;

e_{cu} , e_{tu} , e_{shu} – частинні значення щільності енергії деформацій для стиснення, розтягу, зсуву.

Мінімальне значення продавлюючої сили 5.43 кН отримане для чарунки 1200×1200мм, при товщині обшивки 30 мм, штампі розміром 100×100мм і бетоні класу С12/15 (рис. 13а). Разом з тим, система полегшених перекриттів, що обговорюється, як правило використовується при будівництві житлових і адміністративних будівель, тому обов'язковим є урахуванням вимог вогнестійкості. Враховуючи виконаний розрахунок вогнестійкості плити перекриття з вкладишами, не рекомендується застосування обшивки товщиною менше 50 мм і бетонів класів нижчих, ніж С20/25. В сформованих умовах, мінімальне значення продавлюючої сили складає 8.71 кН для штампі 100×100, 13.56 кН – для штампі 200×200 і 18.4 кН – для штампі 300×300 (рис. 13б). Реалізація згаданих величин навантажень в умовах реальної експлуатації є виключно рідкісним явищем, тому з умов продавлювання допустимо зменшення товщини обшивки до 30мм, проте вимоги вогнестійкості не допускають використання обшивок, товщиною меншою за 50мм.

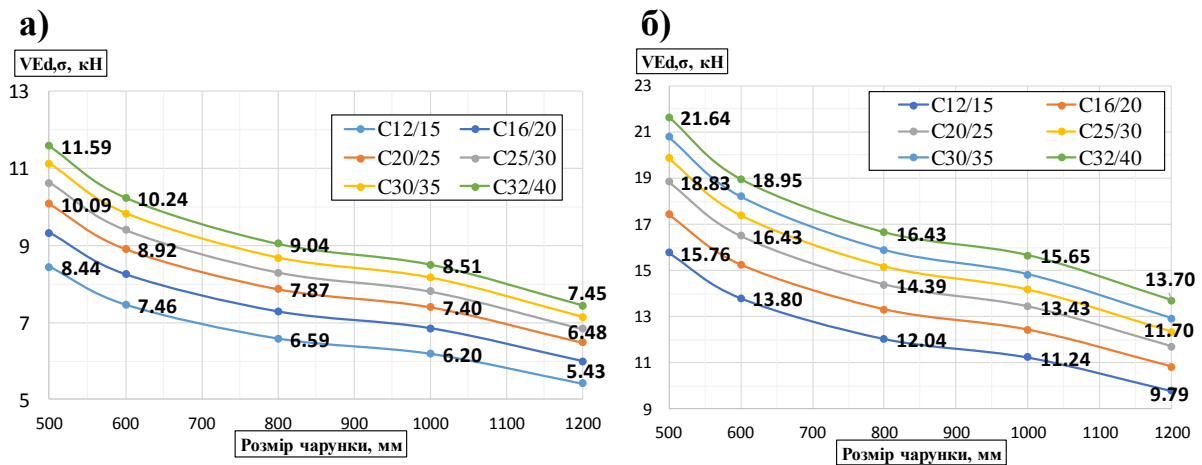


Рис. 13. Залежність продавлюючої сили від розміру чарунки для різних класів бетону при штампі 100мм та товщині обшивки: а) 30 мм; б) 50мм.

Узагальнюючі результати досліджень, наведених в даному розділі, сформовані рекомендовані параметри полегшених плит з вкладишами, наведені в табл. 7.

Таблиця 7.

Рекомендовані параметри конструктиву

| Товщина обшивки | Товщина ребра | Розміри вкладишів |
|-----------------|---------------|------------------------------------|
| min 50 мм | min 100 мм | min 500x500 мм max 1200x1200 мм |

У четвертому розділі розглянуті конструктивно-технологічні рішення плити перекриття з вкладишами, що дозволяють мінімізувати вплив обговорюваних початкових недоліків, та реалізована їх експериментальна верифікація. Зокрема, для забезпечення переходу до безперервного бетонування полегшеної плити без горизонтальних швів розриву виконано підбір складів самоущільнюваного бетону (СУБ). Метою дослідження було отримання бетонної суміші з максимальним діаметром розпливання конуса

для збільшення розмірів вкладиша-пустотоутворювача. Дослідження проведені в лабораторії ділянки залізобетонних виробів ТДВ «Житлобуд-2» (м. Харків).

Проведені лабораторні дослідження дозволили отримати СУБ з максимальним розпливанням конусу 675мм. Випробування стандартних кубів бетону підтвердили клас міцності С30/35, водонепроникності – W10.

Одночасно з підбором складу СУБ, запропоновані конструктивні рішення фіксації вкладишу, що унеможливають його відхилення від проектного положення (рис. 14 – поз. 9). Окрім традиційних фіксаторів арматури типу «стійка» (поз. 8), застосовуються швеллероподібні пластикові фіксатори вкладишів. Особливістю даного рішення є те, що вкладиш вставляється всередину фіксатора, при чому два сусідні фіксатори з'єднані між собою горизонтальним стрижнем для забезпечення необхідної проектної ширини ребра. На кожную сторону вкладиша встановлюється по 2 пластикові фіксатори.

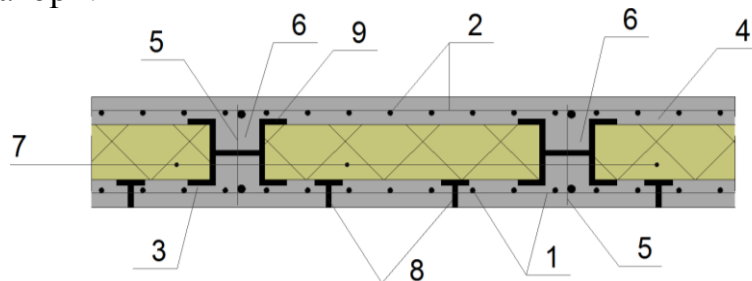


Рис. 14. Залізобетонне перекриття полегшеного типу: 1 і 2 - арматура нижньої і верхньої сітки; 3 і 4 - нижня і верхня обшивка; 5 - арматурні каркаси; 6 - ребра перекриття; 7 - вкладиші; 8 і 9 – фіксатори

Розроблені конструктивно-технологічні рішення були експериментально верифіковані при бетонуванні плит перекриттів нежитлової будівлі по майдану Павлівському, 4 в м. Харкові. Слід відмітити, що перекриття 3^{го} поверху будівлі забетонувано з розривом – після бетонування нижньої обшивки витримано технологічну перерву 72год., далі виконане розкладання вкладишів, установка верхньої арматурної сітки та остаточне бетонування ребер та верхньої обшивки. На 30 добу після набрання бетоном проектної міцності проведений цикл натурних експериментальних випробувань з використанням методу гідростатичного навантаження, розробленого на кафедрі будівельних конструкцій ХНУМГ ім. О.М. Бекетова.

На перекритті був влаштований резервуар (рис. 15а), рівень навантаження якого регулювався висотою водяного стовпа. Обраний ступінчастий режим навантаження з витримкою кожного ступеню в часі до повної зупинки приладів. Розмір ступені призначався в межах 1.0-2.0кН/м². Максимальне розрахункове навантаження на перекриття становило 9кН/м². Після завершення циклу ступінчастого навантаження до розрахункового значення, резервуар з водою був залишений на перекритті на 14 днів для відстеження динаміки деформування перекриття під навантаженням в часі,

після чого виконане його повне розвантаження та демонтаж. Для вимірювання прогинів досліджуваної плити були застосовані механічні прогиноміри 6ПАО (5шт. – рис. 15б).

а)



б)

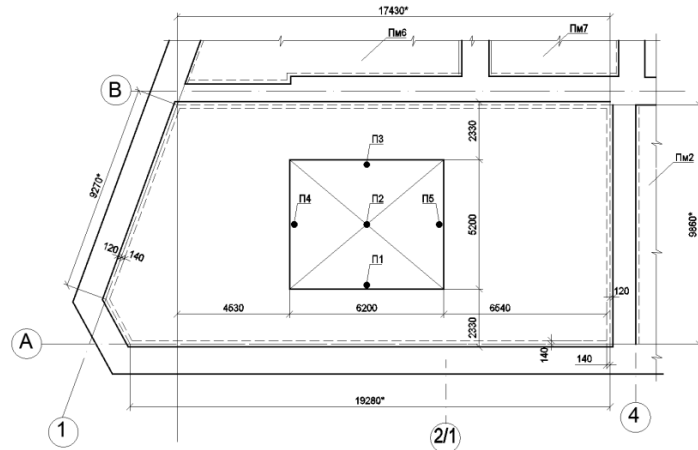


Рис. 15. Резервуар для проведення гідравлічних випробувань (а) та розташування вимірювальних приладів (б)

За результатами випробувань (рис. 16), деформації полегшеної плити не перевищили нормованих – максимальний прогин склав 5.15мм, що становить 10.7% від граничного значення (48мм). При цьому створений рівень навантаження перевищив проектний практично в 1.5 рази. В ході досліджень та після їх завершення не було виявлено жодних ознак руйнувань (тріщин). Залишкові деформації на 15 добу після розвантаження басейну не перевищили 3.5%. Як висновок, прийнято, що несуча здатність перекриття достатня для сприйняття проектних навантажень.

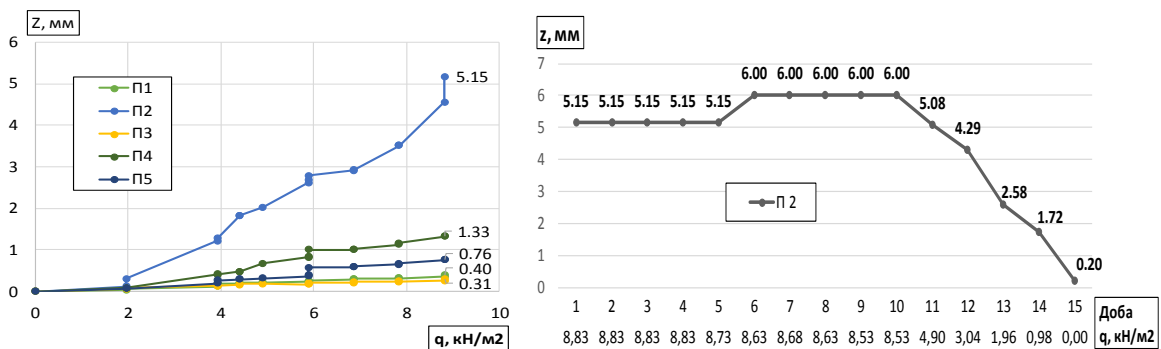


Рис. 16. Графіки залежності переміщень перекриття від прикладеного тимчасового навантаження (а) та графік зміни прогинів перекриття (z, мм) під навантаженням (q, кН/м²) в часі (б)

Співставляючи максимальний прогин даної плити (5.15мм при навантаженні 9кН/м²) та результат чисельного аналізу полегшеної плити з суцільним швом розриву (4.35мм) можна стверджувати про співпадіння отриманих даних з похибкою 15%.

У **Розділі 5** наведені результати впроваджені виконаних досліджень при проектуванні і будівництві ряду об'єктів в місті Харкові. Зокрема, при зведенні міжповерхових перекриттів і фундаментів нежитлової будівлі по майдану Павлівському, 4 (рис. 17а); при будівництві температурного шва багатоповерхового житлового будинку по вул. Сухумській, 11 (рис. 17б); при зведенні навісів багатofункціональної будівлі по Московському проспекту, 97 (рис. 17в), а також при варіантному проектуванні міжповерхових перекриттів житлового комплексу по вул. Цілиноградській, 2 (табл. 7).



Рис. 17. Об'єкти впровадження: а) реабілітація нежитлової будівлі по майдану Павлівському, 4 в м. харкові – реставрація; б) Житловий комплекс «Будинок з ротондами» по вул.Сухумській, 11 в м. Харкові; в) Багатofункціональний комплекс «Манхеттен» по пр. Московському, 97 в м. Харкові

Таблиця 8.

Результати порівняння варіантів перекриттів для ЖК Дуєт

| № п/п | Найменування показника | Од. вим. | Монолітне перекриття (144м ²) | | | Варіант –перекриття з вкладишами ППС (144м ²) | | | Різниця | | | |
|-------|------------------------|----------------|---|------------------------|----------|---|------------------------|----------|---------|-------|----------|--------|
| | | | К-ть | Ціна за одиницю виміру | Вартість | К-ть | Ціна за одиницю виміру | Вартість | Обсяг | | Вартість | |
| | | | | | | | | | Знач. | % | грн. | % |
| 1 | Арматура | т | 5.5 | 9313.1 | 36022.8 | 4.7 | 9340.7 | 23522.0 | -0.8 | -14.4 | -12500.8 | -34.7 |
| 2 | Бетон | м ³ | 35.7 | 776.7 | 27729.3 | 22.5 | 819.9 | 18447.8 | -13.2 | -37.0 | -9281.5 | -33.5 |
| 3 | Пінополістирол | м ³ | - | - | - | 12.4 | 721.0 | 8911.6 | 12.4 | 100.0 | 8911.6 | 100.00 |
| 4 | Заробітна плата | грн. | 35.7 | 267.0 | 9531.9 | 34.9 | 382.0 | 13316.5 | -0.8 | -2.4 | 3784.6 | 39.7 |
| | Всього | - | - | - | 78283.9 | - | - | 64197.8 | | | -9068.1 | -12.4 |

Інтегрально можна узагальнити отриманий економічний ефект до наступних показників: зменшення власної ваги, і, як наслідок, матеріаломісткості, на 30%; збільшення оборотності опалубки на 10%; прискорення темпів будівництва на 10%, що загалом дозволяє досягти зменшення вартості зведення таких конструкцій на 12% у порівнянні із традиційними плитами перекриттів суцільного перетину.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз відомих конструктивних рішень полегшених залізобетонних плит, виявлені їх переваги та недоліки з точки зору масового застосування в будівництві. Визначено, що система «Монофант» серед інших розглянутих дозволяє управляти параметрами конструкції на базі енергетичних критеріїв раціоналізації та здатна задовольнити вимогам з несучої здатності та мінімальної витрати матеріалів. При чому економія бетону при застосуванні даного конструктивного рішення може бути досягнути в межах 28-42% у порівнянні із суцільним перекриттям.

2. Визначені основні технологічні відхилення, що можуть виникати при зведенні полегшених плит, породжуючи конструктивні недосконалості конструкції у вигляді виродження ребер, обшивок, появи горизонтальних швів розриву та ін. Виконано оцінку їх впливу на напружено-деформований стан системи та отримано, що зміщення вкладишу в плані плити призводить до збільшення прогинів та значення ПЕД в межах 5%, по висоті плити – до 3%; поява горизонтального шва розриву призводить до зростання значень переміщень на 6-20%, ПЕД – на 6-10%. Аналіз отриманих результатів дозволив сформувані рекомендовані параметри конструкції та допуски на відхилення закладних елементів (вкладишів та каркасів) від проектного положення.

3. Виконано дослідження особливостей напружено-деформованого стану полегшеної плити перекриття системи «Монофант» для різних геометричних схем конструктиву за умови мінімізації витрат матеріалів бетону та полістиролу. Визначено, що в порівнянні з суцільним перекриттям, при економії бетону 30% можливо отримати таку внутрішню геометрію, яка забезпечить долю відходів вкладишів на рівні 3% та відрізнятиметься мінімальним значенням ПЕД, прогинів та згинальних моментів.

4. З метою вдосконалення конструктивно-технологічних рішень зведення полегшених плит перекриття для мінімізації впливу початкових недоліків вдосконалено склад самоущільнюваної бетонної суміші з класом міцності С30/35 та класом водонепроникності W10. Запропоноване конструктивне рішення швеллероподібного пластикового фіксатора, який унеможливує рухливість вкладишу при бетонуванні. Сумісне використання даних конструктивно-технологічних рішень дозволяє здійснювати бетонування конструктиву в одну стадію, збільшуючи економічну ефективність полегшених плит з вкладишами та зменшуючи ймовірність появи всіх наведених в роботі початкових недоліків.

5. Виконано експериментальне натурне дослідження полегшеної плити перекриття з вдосконаленим конструктивно-технологічним рішенням та початковим недоліком у вигляді горизонтального шва розриву бетонування за допомогою методу гідростатичного навантаження. Отриманий максимальний прогин конструкції склав 5.15мм, що становить

10.7% від граничного значення 48мм для даних умов обпирання. Даний результат корелює з результатами чисельного аналізу з похибкою в межах 15% та підтверджує ефективність застосування запропонованих рішень.

6. Впровадження результатів дослідження здійснено на ряді житлових та цивільних об'єктів будівництва в м. Харкові. Отримано, що застосування даного конструктивно-технологічного рішення дозволяє зменшити власну вагу конструкції до 30% та зменшити загальну вартість на 12% у порівнянні із плитою суцільного перерізу.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Никулин В.Б. Принципы фиксации арматурных каркасов и вкладышей при устройстве облегченных конструкций / В.Б. Никулини др. *Науковий вісник будівництва*, Харків, 2015. Вип. 4 (82). С. 81-86.

Особистий внесок здобувача: запропоновано конструктивне рішення фіксації вкладиша та арматурного каркасу в проектному положенні при бетонуванні вертикального та горизонтального елементів з вкладишами; сплановано натурний лабораторний експеримент по бетонуванню вертикального та горизонтального елементів з вкладишами-пустотоутворювачами.

2. Никулин В.Б., Ямковая Т.И. Применение самоуплотняющихся бетонов для строительства и ремонта железобетонных конструкций. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Збірник наукових праць Луцького національного технічного університету*. Луцьк, 2015. Вип. 3. С. 251-260.

Особистий внесок здобувача: запропоновано конструктивно-технологічні рішення з бетонування конструкцій з вкладишами за допомогою самоущільнюваного бетону.

3. Никулин В.Б. Система «Монофант» для возведения монолитных железобетонных каркасов / В.Б. Никулин и др. *Вісник ХНАДУ*. Харьков, 2015. Вып. 71. С. 70-84.

Особистий внесок здобувача: запропоновано організаційно-технологічні та конструктивні рішення для зведення прямолінійних елементів системи «Монофант».

Статті у міжнародних виданнях та збірниках наукових праць, що включені до міжнародних наукометричних баз:

4. Nikulin, V. Highly Combinatorial Reinforced Concrete Slab System / V. Nikulin and others. *Proceedings of CEE 2020: Advances in Resource-saving Technologies and Materials in Civil and Environmental Engineering*. 2020. Pp. 411-419. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus).

Особистий внесок здобувача: вирішене завдання оптимального розкрюювання вкладишів заданої форми із стандартної заготовки листа пінополістиролу.

5. Нікулін В.Б. Оцінка впливу розриву в бетонуванні плити перекриття системи «МОНОФАНТ» на її напружено-деформований стан / В.Б. Нікулін та ін. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. Вип. 185. Харків, 2019. С. 61-70. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus).

Особистий внесок здобувача: проаналізовано вплив наявності шва розриву в бетонуванні пустотілої плити перекриття на напружено-деформований стан системи та запропоновані конструктивні і технологічні заходи для забезпечення необхідної адгезії.

Публікації апробаційного характеру:

6. Nikulin V. Variant design of the concrete frame structures (weight-strength analysis) / Nikulin V. and others. Proceedings of the fib Symposium 2019: Concrete - Innovations in Materials, Design and Structures. Krakow, 2019. Pp. 929-936. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus).

Особистий внесок здобувача: запропоновано конструктивні рішення плити перекриття житлової будівлі з вкладишами-пустотоутворювачами та виконано аналіз результатів скінченно-елементного моделювання запропонованих конструктивів в ПК «Ліра».

7. Nikulin V. Basics of modeling and technology of creating reinforced concrete elements of “Monofant” system construction / V. Nikulin and others. MATEC Web of Conferences. Material science, Engineering and Chemistry, v. 116, 02009 (2017). Transbud-2017. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus).

Особистий внесок здобувача: розробка конструктивного рішення арматурного каркасу криволінійної пустотілої оболонки та заповнення його вкладишами-пустотоутворювачами, реалізація рішення на будівельному майданчику.

8. Никулин В.Б. Усовершенствование технологии устройства облегченных железобетонных конструкций / В.Б. Никулин и др. *Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд*: матеріали VII Міжнародної наукової конференції. Харків, 2015. С. 168-170.

9. Никулин В.Б., С.А. Бугаевский. Применение самоуплотняющегося бетона в технологии устройства железобетонных перекрытий. *Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения*: материалы Международной научно-практической конференции. Харків, 2015. С. 115-121.

10. Никулин В.Б. Основы моделирования и технология создания железобетонных элементов конструкции системы «Монофант» / В.Б. Никулин и др. *Проблеми надійності та довговічності інженерних*

споруд та будівель на залізничному транспорті: тези доповідей VI-ї міжнародної науково-технічної конференції. Харків: УДУЗТ, 19-21 квітня 2017. С. 106-107.

11. Никулин В.Б. Полевые исследования взаимодействия фундаментов с вырезами по подошве с грунтовым основанием / В.Б. Никулин и др. *Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 23-24 квітня 2014 р. Харків, 2014. С. 69-70.*

12. Никулин В.Б. Мониторинг и анализ осадок многоэтажных зданий на свайно-плитных фундаментах в г. Харькове. / В.Б. Никулин и др. *Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд: тези за матеріалами VII міжнародної наукової конференції, 20-21 жовтня 2015 р. Харків, 2015.*

13. Никулин В.Б., Табачников С.В. С. Анализ результатов мониторингу осадань багатопверхових будівель на пальово-плитних фундаментах. *Challenges in Geotechnical Engineering: праці Другої Міжнародної конференції. Київ: КНУБА, 2017. С. 52-53.*

Додаткові публікації та патенти:

14. Никулин В.Б. Влияние качественного и количественного состава компонентов бетона на технологические свойства самоуплотняющейся бетонной смеси / В.Б. Никулин и др. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць Національного університету водного господарства та природокористування. Рівне, 2015. Вип. 31. С. 168-175.*

Особистий внесок здобувача: виконано підбір гранулометричного складу самоущільнюваного бетону та підготовлено набір обладнання для визначення технологічних властивостей бетонної суміші.

15. Nikulin V. Cast Reinforced Concrete Frame of Buildings and Methods of Its Erection / V. Nikulin and others. *Journal of Civil Engineering and Construction. Volume 5. Number 2. 2016. Pp. 143-156.*

Особистий внесок здобувача: шляхом виконання лабораторного експерименту виконано оцінку спливання вкладиша-пустотоутворювача при бетонуванні конструкцій самоущільнюваним бетоном та запропоновано рішення для привантаження вкладишів при виконанні бетонних робіт.

16. Никулин В.Б. Спосіб монтажу опалубки для зведення збірно-монолітних перекриттів. / В.Б. Нікулін та ін. Патент України на винахід № 115707 С2. Чинний з 11.12.2017 р. Бюл. №23.

Особистий внесок здобувача: запропоновано удосконалення способу монтажу опалубки за рахунок застосування модульних елементів.

17. Никулин В.Б. Конструкція покрівельного покриття. / В.Б. Нікулін та ін. Патент України на корисну модель № 108201. Чинний з 11.07.2016 р. №13.

Особистий внесок здобувача: запропоновано конструкцію покрівельного покриття, що забезпечує зменшення кількості конструктивних елементів, зниження трудомісткості будівельно-монтажних робіт і вартості зведення та експлуатації, а також підвищення довговічності конструкції.

18. Нікулін В.Б. Вузол кріплення стіни або перегородки до залізобетонної колони / В.Б. Нікулін та ін. Патент України на корисну модель № 108231. Чинний з 11.07.2016 р. Бюл. №13.

Особистий внесок здобувача: запропонований вузол кріплення стіни з газобетонних блоків до залізобетонної колони спільно з непрямым армуванням у вигляді смуги із просічно-витяжної сталі, що покращує властивості кладки і збільшує зчеплення з вузлом кріплення у шві.

19. Нікулін В.Б. Опалубка для зведення збірно-монолітних перекриттів / В.Б. Нікулін та ін. Патент України на корисну модель № 109446. Чинний з 25.08.2016 р. Бюл. №16.

Особистий внесок здобувача: запропонована опалубка, що передбачає застосування модульних елементів для полегшення технології її монтажу і демонтажу при зведенні збірно-монолітних перекриттів житлових будинків з безригельним монолітним каркасом.

20. Нікулін В.Б. Збірно-монолітний залізобетонний каркас будівлі «Житлобуд» / В.Б. Нікулін та ін. Патент України на корисну модель № 115884. Чинний з 25.04.2017 р. Бюл. №08.

Особистий внесок здобувача: запропоновано рішення збірно-монолітного каркасу будівлі, що дозволяє знизити його питому вагу до 20 % у порівнянні з монолітним безригельним каркасом.

21. Нікулін В.Б. Спосіб зведення збірно-монолітного залізобетонного каркасу будівлі «Житлобуд» / В.Б. Нікулін та ін. Патент України на корисну модель № 115885. Чинний з 25.04.2017 р. Бюл. №08.

Особистий внесок здобувача: запропоновано спосіб зведення збірно-монолітного залізобетонного каркасу будівлі «Житлобуд», який дозволяє зменшити питому вагу будівлі до 20 % (у порівнянні з монолітним безригельним каркасом будівлі, висотою до 16 поверхів), скоротити терміни будівництва - до 30 %, до 35 % зменшити собівартість каркаса і до 15 % знизити вартість будівлі в цілому.

22. Никулин В.Б. Система «Монофант» для возведения монолитных железобетонных каркасов / В.Б. Никулин и др. Вестник ХНАДУ. Харьков, 2015. Вып. 71. С. 70-84.

Особистий внесок здобувача: запропоновано організаційно-технологічні та конструктивні рішення для зведення прямолінійних елементів системи «Монофант».

АНОТАЦІЯ

Нікулін В.Б. Напружено-деформований стан плит перекриттів полегшеного типу з урахуванням початкових недоліків. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди (19 – Архітектура та будівництво) – Український державний університет залізничного транспорту, Харків, 2020 р.

Дисертація присвячена аналізу напружено-деформованого стану монолітних залізобетонних плит перекриттів з вкладишами-пустотоутворювачами, що мають початкові недоліки.

Проаналізовано існуючі конструктивні рішення полегшених залізобетонних конструкцій та технологій їх зведення з метою оцінки доцільності застосування вкладишів-пустотоутворювачів в монолітному каркасному будівництві. Розглянуто роботи авторів, що займалися теоретичними та експериментальними дослідженнями полегшених залізобетонних плит, позначені головні переваги та недоліки відомих вітчизняних та іноземних систем, що розглядаються, у зв'язку з чим, були сформульовані цілі і завдання дисертаційної роботи.

Вивчено та систематизовано початкові технологічні відхилення, що породжують появу конструктивних недоліків обговорюваних систем. Виконано чисельний аналіз впливу даних недоліків на напружено-деформований стан системи, на базі чого сформульовані допуски на відхилення положення вкладишів та арматурних виробів.

Виконано аналіз взаємозалежності напружено-деформованого стану розглянутих конструкцій від розмірів вкладишів-пустотоутворювачів та їх розташування з умови мінімізації витрати бетону. Вирішене завдання оптимального розкроювання вихідної заготовки листа-пустотоутворювача на вкладиші необхідного розміру з метою мінімізації відходів матеріалу заповнювача. Визначені рекомендовані геометричні параметри плит з умов забезпечення цілісності, вогнестійкості та надійності.

Розроблений склад самоущільнюваного бетону з розпливом конусу 675мм, що забезпечує бетонування конструкцій з вкладишами в одну стадію без вібрування та розривів та запропоноване нове конструктивне рішення пластикових фіксаторів для вкладишів, що унеможливають зміщення вкладишу від проектного положення. Виконано експериментальну верифікацію запропонованого конструктивно-технологічного рішення шляхом натурального випробування полегшеної плити перекриття нежитлової будівлі за допомогою методу гідростатичного навантаження. Здійснено впровадження результатів дослідження на ряді будівельних об'єктів в м. Харкові. Результати дослідження підтверджують отримане в ході теоретичного моделювання зменшення власної ваги конструкції на 30% та вартості зведення на 12%.

Ключові слова: Захоронюваний вкладиш-пустотоутворювач, самоущільнюваний бетон, полегшені плити перекриттів, система «МОНОФАНТ».

АННОТАЦИЯ

Никулин В.Б. Напряженно-деформированное состояние плит перекрытий облегченного типа с учетом начальных несовершенств. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 - строительные конструкции, здания и сооружения (19 - Архитектура и строительство) - Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2020г.

Диссертация посвящена анализу напряженно-деформированного состояния монолитных железобетонных плит перекрытий с вкладышами-пустотообразователями, имеющими начальные несовершенства.

Проанализированы существующие конструктивные решения облегченных железобетонных конструкций и технологий их возведения с целью оценки целесообразности применения вкладышей-пустотообразователей в монолитном каркасном строительстве. Рассмотрены работы авторов, которые занимались теоретическими и экспериментальными исследованиями облегченных железобетонных плит, обозначены главные преимущества и недостатки известных отечественных и иностранных систем, в связи с чем, были сформулированы цели и задачи диссертационной работы.

Исследованы и систематизированы начальные технологические отклонения, что порождают появление конструктивных недостатков обсуждаемых систем. Выполнен численный анализ влияния данных недостатков на напряженно-деформированное состояние системы, на базе чего сформулированы допуски на отклонение положения вкладышей и арматурных изделий.

Выполнен анализ взаимозависимости напряженно-деформированного состояния рассматриваемых конструкций от размеров вкладышей-пустотообразователей и их расположения из условия минимизации расхода бетона. Решена задача оптимального раскроя исходной заготовки листа пустотообразователя на вкладыши необходимого размера с целью минимизации отходов материала заполнителя. Определены рекомендованные геометрические параметры плит из условий обеспечения целостности, огнестойкости и надежности.

Разработан состав самоуплотняющегося бетона с расплывом конуса 650мм, что обеспечивает бетонирования конструкций с вкладышей в одну стадию без вибрации и разрывов и предложено новое конструктивное решение пластиковых фиксаторов вкладышей, которые предотвращают смещение вкладышей от проектного положения. Выполнено экспериментальную верификацию предложенного конструктивно-технологического решения путем натурального испытания облегченной плиты нежилого здания при помощи метода гидростатического нагружения. Осуществлено внедрение результатов исследования на ряде строительных объектов в г. Харькове. Результаты исследования подтверждают полученное в ходе теоретического моделирования уменьшение собственного веса конструкции на 30% и стоимости возведения на 12%.

Ключевые слова: захораниваемый вкладыш-пустотообразователь, самоуплотняющийся бетон, облегченные плиты перекрытий, система «МОНОФАНТ».

ABSTRACT

Nikulin V.B. Stress-strain state of light-type floor plates considering initial disadvantages. - On the rights of the manuscript.

The thesis for the degree of the candidate of technical sciences, specialty 05.23.01 – building constructions, buildings and structures (19 - Architecture and construction). - Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2019.

The dissertation is devoted to the analysis of the stress-strain state of monolithic reinforced concrete overlapping slabs with inserts void-formers that having initial disadvantages.

Existing structural solutions of lightweight reinforced concrete structures and their erection technologies have been analyzed in order to assess the feasibility of application of hollow inserts void-formers in monolithic frame construction. The works of the authors devoted to theoretical and experimental research of lightweight reinforced concrete slabs are considered; main advantages and disadvantages of known domestic and foreign systems are considered, in this connection, the goals and objectives of the thesis were formulated.

Initial technological deviations that give rise to the design flaws of the systems are investigated and systematized. A numerical analysis of the impact of these disadvantages on the stress-strain state of the system is performed, on the basis of which tolerances are formulated for the deviation of the position of the liners and fittings.

The analysis of the interdependence of the stress-strain state of structures and the sizes of the inserts and their location with the condition of minimizing the consumption of concrete are considered. The problem of optimal cutting of the initial blank of the sheet of void-forming material on the inserts of the required size in order to minimize waste material of the filler is solved. The recommended geometric parameters of the slabs are defined in terms of integrity, fire resistance and reliability.

Development of self-compacting concrete composition with spill cone of 650mm, which provides concreting in one stage without vibration and tears, and a new structural solution of plastic retainers for liners that prevents the displacement of the liner from the design position are considered. An experimental verification of the proposed structural and technological solution by a field test of lightweight slab of non-residential building using the method of hydrostatic loading is performed. Implementation of the research results is outdone at a number of construction sites in Kharkov. The results of the study confirm the obtained in the theoretical simulation reduction of self-weight of the structure by 30% and the cost of erection by 12%.

Keywords: inserts void-formers, self-compacting concrete, lightweight overlapping slabs, MONOFANT system.

Нікулін Валерій Борисович

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЛИТ ПЕРЕКРИТТІВ
ПОЛЕГШЕНОГО ТИПУ З УРАХУВАННЯМ ПОЧАТКОВИХ
НЕДОЛІКІВ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі і споруди

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку 08.10.2020р.
Формат 60 x 84 1/16. Папір офсетний.
Друк-цифровий. Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 081020201

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)

м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1

Тел. +38-067-91-93-922

www.modelist.in.ua