

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ

ГОЛОВКО ДЕНИС ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК 624.016

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СТАЛЕБЕТОННИХ  
ПУСТОТНИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ**

Спеціальність 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент  
**Лобяк Олексій Вікторович**,  
Український державний університет  
залізничного транспорту,  
доцент кафедри будівельної механіки та  
гідравліки.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, старший  
науковий співробітник  
**Воскобійник Олена Павлівна**,  
Полтавський національний технічний  
університет імені Юрія Кондратюка,  
начальник науково-дослідницької  
частини;

кандидат технічних наук, доцент  
**Смолянюк Надія Володимирівна**,  
Харківський національний автомобільно-  
дорожній університет,  
доцент кафедри мостів, конструкцій та  
будівельної механіки.

Захист відбудеться «13» листопада 2015 року о 12<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 при Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майд. Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майд. Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий «12» жовтня 2015 р.

В.о. ученого секретаря

спеціалізованої вченої ради,  
д.т.н., проф.

А.П. Фалендиш

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасний розвиток будівництва передбачає використання передових технологій, раціональних конструктивних рішень та вдосконалених методів розрахунку як при зведенні нових, так і реконструкції існуючих споруд. У цьому розумінні багато в чому прогресивним стало впровадження нових конструктивних рішень сталобетонних перекриттів, які дозволяють забезпечити потрібну форму, розміри і несучу здатність.

Ефективність прийняття рішень при проектуванні будівельних конструкцій в цілому і сталобетонних перекриттів зокрема безпосередньо залежить від реалізованого методу розрахунку. При цьому досягнення найкращих результатів може бути забезпечено застосуванням сучасних методів чисельного аналізу та комп'ютерного моделювання.

Пріоритетним показником у задачах підвищення економічної ефективності сталобетонних перекриттів прийнято вважати витрати бетону, що визначає власну вагу і вартість конструкцій. Зниження власної ваги призводить до зменшення завантаження на вертикальні конструкції і фундаменти, та як наслідок, забезпечує зниження матеріалоемності всіх елементів споруди.

Перспективним напрямком у дослідженнях щодо зниження витрат бетону є розробка раціональних схем утворення пустот з одночасним забезпеченням ефективності та необхідної несучої здатності. З позицій конструювання, значний ефект може бути досягнутий при розташуванні легких вкладишів в розтягнутій частині бетонного шару сталобетонних перекриттів.

Узагальнюючи сказане, допустимо констатувати, що теоретичне та експериментальне обґрунтування нових, більш універсальних і конкурентоспроможних конструктивних рішень плит перекриттів зі сталобетону становить науковий і практичний інтерес.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана в рамках наукових тем кафедри будівельної механіки та гідравліки Українського державного університету залізничного транспорту за 2010–2015 рр.: № ДР 0106U004122 «Розробка теорії та методів розрахунку комбінованих конструкцій транспортних споруд»; № ДР 0110U002127 «Розробка теорії та методів оптимізації несучих конструкцій транспортних споруд».

**Мета дослідження** – розробка конструкцій сталобетонних пустотних плит перекриття та дослідження їх напружено-деформованого стану (НДС) експериментальним, аналітичним та чисельним методами.

### **Задачі дослідження:**

- провести аналітичний огляд літературних даних з дослідженням роботи сталобетонних і сталезалізобетонних плит;
- розробити конструкцію сталобетонного перекриття з пустотами, утвореними шляхом вставок в тіло бетону легких вкладишів та забезпеченням спільної роботи бетонного шару і металевих листів;
- розробити скінченно-елементні моделі запропонованого перекриття та на їх основі вивчити напружено-деформований стан системи в цілому і окремих її елементів з урахуванням специфіки роботи конструкції;

- провести експериментальні дослідження запропонованих пустотних плит перекриття на моделях з різними за розмірами вкладишами і змінним кроком анкерних упорів при дії статичного навантаження;

- дослідити вплив пустот залежно від їх розмірів і податливості зв'язків по контакту бетону і сталі на граничний та напружено-деформований стан запропонованої конструкції;

- впровадити результати дисертаційної роботи в практику будівництва.

**Об'єкт дослідження** – сталебетонна пустотна плита перекриття.

**Предмет дослідження** – напружено-деформований та граничний стан сталебетонних плит перекриття залежно від податливості контакту між шарами плити і розмірів пустот.

**Методи дослідження** – експериментальні дослідження НДС та несучої здатності сталебетонних пустотних плит, методи будівельної механіки, опору матеріалів, комп'ютерне моделювання конструкцій з використанням програмного комплексу, який реалізує метод скінченних елементів (МСЕ).

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- отримано нові дані в результаті експериментальних досліджень несучої здатності, деформативності і тріщиноутворення сталебетонних плит з пустотами при дії статичного навантаження;

- вперше отримано дані про вплив пустот та їх розмірів на напружено-деформований стан і несучу здатність сталебетонних плит перекриття;

- запропоновано та розроблено нові тривимірні скінченно-елементні моделі сталебетонних пустотних плит перекриття, за допомогою яких можна дослідити закономірності зміни їх напружено-деформованого стану при варіюванні конструктивних параметрів;

- вперше проведено аналіз напружено-деформованого стану сталебетонних пустотних плит перекриття за допомогою чисельних методів з урахуванням фізичної нелінійності бетонного шару і геометричної нелінійності сталевих листів.

**Достовірність та обґрунтованість результатів** підтверджується результатами порівняння отриманих теоретичних та експериментальних даних, використанням загальноновизнаних методів будівельної механіки та методу скінченних елементів при чисельному моделюванні, експериментальних методів визначення міцності та деформативності конструкцій.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в розробці нових сталебетонних елементів та в оцінці напружено-деформованого стану цих конструкцій при статичних навантаженнях, в розробці методики їх аналітичного та чисельного розрахунку. Результати досліджень впроваджено при розробці проекту терміналу перевантаження і наливного причалу в Маріупольському торговому порту на території ДП «Маріупольський торговий порт» та навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ).

**Особистий внесок здобувача:**

- розроблено нові раціональні елементи сталебетонних пустотних плит;
- проведено експериментальні дослідження сталебетонних пустотних плит при статичному навантаженні;

- адаптовано алгоритм аналітичного розрахунку методом граничної рівноваги стосовно до сталобетонних суцільних плит перекриття;
- проведено числові дослідження на розроблених скінченно-елементних моделях та виконано перевірку їх адекватності шляхом порівняння теоретичних та експериментальних даних;
- досліджено вплив пустот і податливості зв'язків по контакту бетону і сталі на граничний і напружено-деформований стан сталобетонних плит перекриття;
- проведено порівняння результатів експериментальних та теоретичних даних, значень несучої здатності та деформацій досліджуваних конструкцій.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідалися на: 73-76 міжнародних науково-технічних конференціях Українського державного університету залізничного транспорту (2010–2014 рр.); VIII та IX міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми міцності матеріалів і споруд на транспорті» (м. Санкт-Петербург, 22–23 червня 2011 р., 27–28 травня 2014 р.); XI міжнародній науково-технічній конференції «Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація» (м. Полтава, 27–31 жовтня 2014 р.); V міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 23-24 квітня 2015 р.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 10 наукових праць, з них 6 статей у фахових виданнях України, в тому числі 2 – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз та 4 – тез доповідей на наукових конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку літератури та додатків. Дисертація викладена на 156 сторінках і містить 116 сторінок основного тексту, 9 таблиць, 38 рисунків, 215 найменувань літератури, 5 додатків на 23 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність розглянутої теми, наведено загальну характеристику дисертації, її основні положення, наукову новизну і практичне значення.

У першому розділі дисертації розглянуто існуючі види конструктивних рішень сталобетонних суцільних та залізобетонних полегшених перекриттів, області їх застосування, основні методи і передумови для розрахунку.

Застосування ефективних конструкцій в практиці будівництва є найважливішим завданням при будівництві будівель і споруд. До числа таких конструкцій відносяться конструкції із зовнішнім армуванням. Використання даного типу конструкцій дозволяє значно скоротити показники матеріалоемності, власної ваги конструкції, вартості та трудомісткості технологічного процесу. Найбільший ефект при зниженні ресурсоемності мають плити перекриття і покриття із зовнішнім армуванням, які згинаються в двох напрямках.

Вивченню напружено-деформованого стану конструкцій із зовнішнім армуванням присвячена велика кількість робіт, серед яких роботи Аншина Л.З.,

Арсланханова А.Д., Барабаша В.М., Бердичівського Г.І., Берестянської С.Ю., Богачова В.П., Ватулі Г.Л., Васильєва О.П., Воронкова Р.В., Воскобійник О.П., Залесова О.С., Клименка Ф.Є., Лавсена Р.М., Лобяк О.В., Людковського І.Г., Молдавської Т.А., Молодченка Г.А., Онга К.С., Потера М.Л., Пустовойтова В.П., Санжаровського Р.С., Скоробогатова С.М., Смоляннюк Н.В., Стороженка Л.І., Нижника О.В., Стрілецького М.М., Чернишової О.В., Чихладзе Е.Д., Шагіна О.Л., Шмуклера В.С. та інші. Також увазі приділялось питання, пов'язане з роботою бетону при плоскому напружено-деформованому стані. Так, до висновку про підвищення міцності при двовісному стисненні бетону прийшла велика кількість дослідників – П.М. Біч, К.П. Веригін, О.О. Гвоздев, Г.А. Генієв, Ю. Гломб, В.І. Євдокимов, Ю.В. Зайцев, А.П. Кудзіс, Г. Купфер, А. Нільсон, А.І. Ноткус, Ф. Слейт, О.Л. Шагін, О.В. Яшин та інші. Однак, у зв'язку із збільшенням вимог до економії матеріалу, постає питання зниження власної ваги перекриттів при збереженні потрібної несучої здатності шляхом раціоналізації використання легких вкладишів при утворенні пустот.

Одним з прикладів полегшення залізобетонних плит є рішення, в якому за рахунок поліетиленових куль, розташованих між верхнім і нижнім арматурним каркасом, досягається зменшення витрат бетонної суміші на одиницю площі на 28-32 %, економія арматурної сталі становить близько 20 %. Також відомі способи полегшення залізобетонних перекриттів шляхом влаштування легких вкладишів з пінополістиролу, що відображено в роботах Шмуклера В.С., Бережної К.В., Бугаєвського С.О. та інших. Успішний досвід застосування пустотоутворювачів в залізобетонних конструкціях дозволяє припустити перспективність даного напрямку стосовно сталебетонних плит. Однак це потребує перевірки як шляхом виконання експериментальних досліджень та адаптації існуючих теоретичних уявлень щодо вичерпання їх несучої здатності, так і проведення числових розрахунків на скінченно-елементних моделях, що дозволить дослідити ефективність запропонованих розмірів і місць улаштування пустот на напружено-деформований стан конструкції.

Проведений аналіз існуючих експериментальних та теоретичних досліджень дозволив сформулювати основні цілі та задачі дисертаційної роботи.

**Другий розділ** присвячений теоретичному і числовому дослідженню напружено-деформованого стану сталебетонних пустотних плит перекриття як одиничних елементів безбалкових перекриттів.

Запропонована конструкція сталебетонного пустотного перекриття розмірами в плані 1×1 м складається з металевого листа товщиною 2 мм, бетонного шару висотою 70 мм та вкладишів-пустотоутворювачів. Сумісна робота металевого листа та бетону забезпечується за рахунок похилих анкерів, розташованих по осях симетрії (рис. 1).

При цьому форма і положення пустот, а також кількість анкерних з'єднань, визначається процедурами раціоналізації шляхом вирішення пошукової задачі.

Передбачається, що при правильному виборі параметрів пустотоутворювачів, запропоноване сталебетонне перекриття може бути ефективним за рахунок зменшення власної ваги і зниження навантажень на несучі елементи.

Усі розглянуті в теоретичній і експериментальній частині конструкції представляють собою зразки розрахункових моделей і за розмірами не мають схожості

з плитами, рекомендованими для застосування. Разом з тим передбачається, що після відповідної верифікації, основні висновки, отримані в процесі дослідження, можуть також поширюватися на плити, рекомендовані для практичного використання.

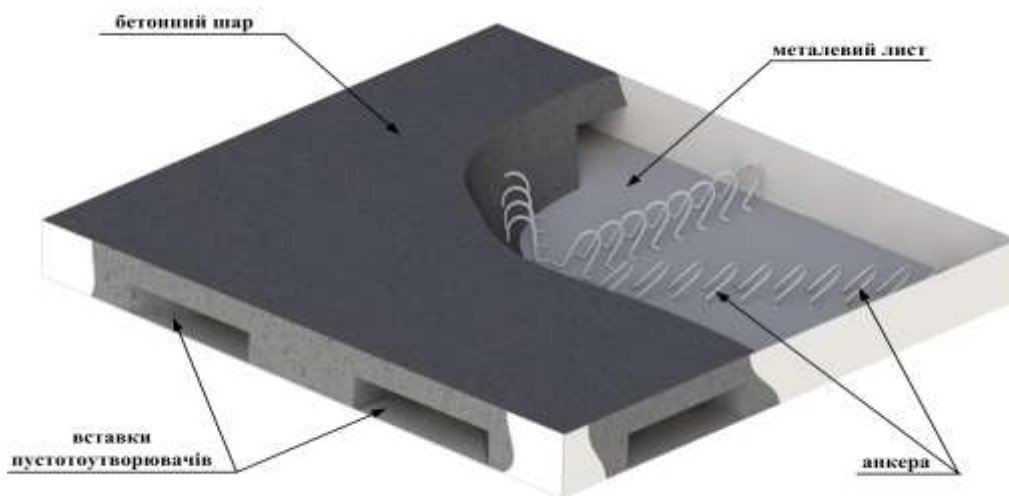


Рис. 1. Загальний вид запропонованого сталобетонного перекриття

Припустимо, що на першому етапі досліджень вибір ефективних розмірів та місць розташування пустот можна визначити шляхом аналізу напружено-деформованого стану аналогічних суцільних плит з кроком анкерів 50 та 100 мм (СП50, СП100). Для вирішення поставленого завдання приймається спосіб чисельного аналізу на основі метода скінченних елементів.

В ході моделювання, розрахункові схеми конструкцій суцільних плит перекриття розроблені з використанням п'яти типів скінченних елементів. Так, моделювання геометричної нелінійності (металевий лист) виконується за допомогою скінченних елементів (СЕ) № 342 і № 344, які враховують зміну геометрії та передбачають виникнення тільки мембранних зусиль. Моделювання бетонного шару виконувалось фізично нелінійними просторовими шестивузловими та восьмивузловими ізопараметричними СЕ № 234 та СЕ № 236. Пружні зв'язки (анкера) між мембраною і бетоном моделювались з використанням двовузлових СЕ № 55, жорсткості яких призначалися відповідно до попередніх розрахунків (рис. 2).

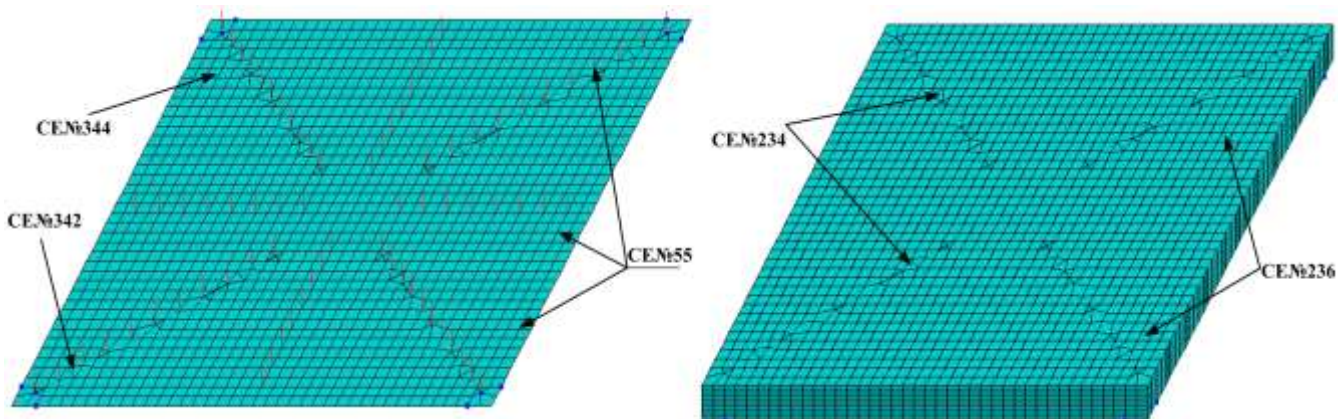


Рис. 2. Розрахункова модель сталобетонної суцільної плити перекриття СП50



Також, в ході розробки розрахункових схем, кожній групі скінченних елементів були присвоєні наступні міцнісні показники: металевий лист –  $f_y = 225$  МПа; бетонний шар  $f_{ck, prism} = 25.5$  МПа, клас бетону – С30/35; анкерні упори –  $f_t = 1370$  МПа.

Граничні умови визначені призначенням конструкції і виконані шляхом зацмлення металевого листа по кутах. Розрахунок виконується кроково-ітераційним методом при нарощуванні навантаження рівними ступенями до моменту досягнення граничного стану конструкції. Для математичного опису роботи бетону прийнятий експоненційний закон деформування.

В результаті аналізу напружено-деформованого стану суцільних плит перекриття встановлено: положення нейтральної лінії для різних перерізів плити; особливості деформування і тріщиноутворення; закони зміни зусиль зсуву по контакту; вплив жорсткості по лініях контакту сталі і бетону на деформативність конструкції (табл. 1).

Таблиця 1

Результати чисельного дослідження суцільних плит перекриття

Серія зразків	Несуча здатність $F_{uls}$ , кН	Максимальні напруження в бетоні $\sigma_{c(max)}$ , МПа		Максимальні напруження в металевому листі $\sigma_{y(max)}$ , МПа		Прогин $f$ , мм	Руйнуюче навантаження $F_{cr}$ , кН
		по діагоналі	в центрі плити	по діагоналі	в центрі плити		
1	2	3	4	5	6	7	8
СП50	145.5	18.7	24.6	190	148.9	9.95	153.5
СП100	125.5	19.3	25.3	205.4	174.2	9.43	132.5

Отримані залежності розподілу напружень в металевому листі і бетоні (рис. 3) дозволили встановити границі малонавантажених ділянок і попередньо встановити області та розміри пустот.

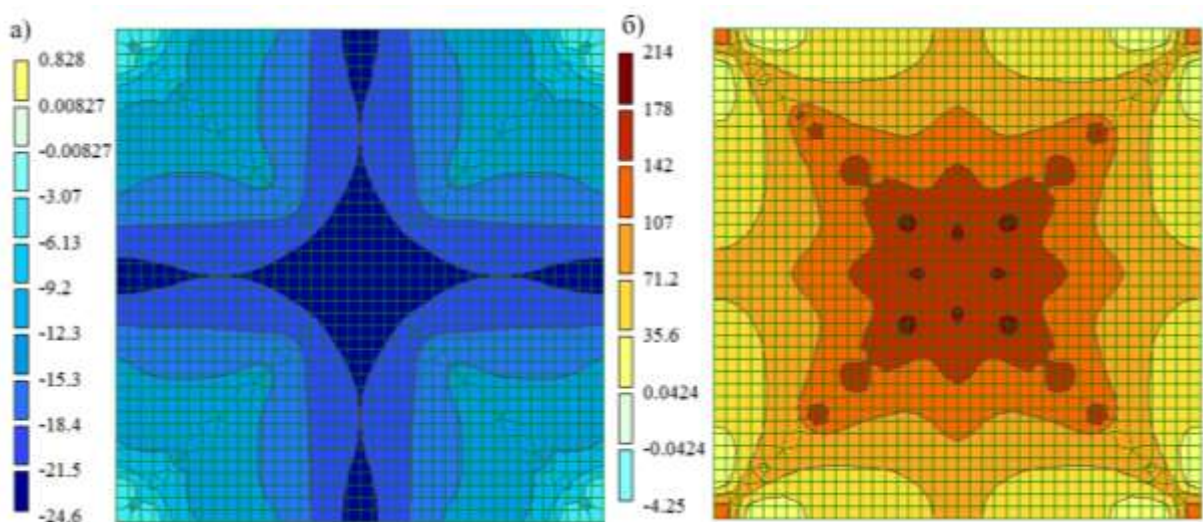


Рис. 3. Ізополя напружень (МПа) для суцільної плити СП50: а) головних стискаючих напружень в бетоні; б) еквівалентних напружень в металевому листі

Одним з результатів, отриманих у процесі аналізу напружено-деформованого стану сталобетонних суцільних плит перекриття, є схема розподілення нормальних і дотичних напружень, що виникають по контакту металевого листа і бетонного шару, при якій в металевому листі виникають напруження границі текучості, а в бетоні – границі міцності. Відзначена особливість дозволяє повною мірою оцінити граничний стан і визначити схему утворення пластичних шарнірів. Отримані висновки дозволяють для спрощеного розрахунку скористатися методом граничної рівноваги, запропонованим О.О. Гвоздевим. Приймаючи основні передумови методу граничної рівноваги, отримаємо спосіб визначення несучої здатності з умови міцності нормальних перерізів.

Вважаємо, що руйнування плити станеться за відомою схемою пологої піраміди з вершиною в точці прикладання сили і при цьому величина напружень в сталі і бетоні постійна або, принаймні, незначно змінюється з появою в конструкції деформацій нелінійного характеру. Тоді величина, знайдена з пружного розрахунку, буде справедлива для точок плити уздовж лінії пластичного шарніра в граничному стані.

Граничний момент по лінії пластичних шарнірів:

$$M_u = \int_0^{l_i} A_s \bar{f}_{si} \left[ h_0 - 0,5 A_s f_{si} / \bar{f}_{cdi} \right] dl, \quad (1)$$

де  $l_i$  – довжина деякої  $i$ -ої ділянки пластичного шарніру;  $\bar{f}_{si}, \bar{f}_{cdi}$  – граничні напруження в металевому листі і бетоні в напрямку перпендикулярному до ліній пластичного шарніра з урахуванням двовісного напруженого стану;  $h_0$  – робоча висота перерізу;  $A_s$  – площа листової арматури на одиниці ширини пластичного шарніра.

Робота зовнішніх сил при рівномірно розподіленому навантаженні, яке передається через штамп:

$$W_{q(\text{лок.})} = qV = qa_1 b_1 f, \quad (2)$$

де  $q$  – інтенсивність рівномірного навантаження;  $a_1$  – величина лінії пластичного шарніра А'D';  $b_1$  – величина лінії пластичного шарніра А'В';  $f$  – величина прогину.

Робота внутрішніх сил:

$$A = 4 \sum_{i=1}^m \bar{M}_i l_i \alpha_3 + 2 \sum_{j=1}^n \bar{M}_j l_j \alpha_2 + 2 \sum_{k=1}^c \bar{M}_k l_k \alpha_1, \quad (3)$$

де  $m, n, c$  – число ділянок, на які розбиті лінії пластичних шарнірів;  $\bar{M}_i, \bar{M}_j, \bar{M}_k$  – граничні моменти по лініях пластичних шарнірів;  $l_i, l_j, l_k$  – величини відрізків по лініях АА', А'В', А'D';  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  – кути взаємного повороту суміжних дисків уздовж ліній А'D', А'В', АА'.

Прирівнявши між собою роботу зовнішніх (2) і внутрішніх сил (3), отримаємо вираз для визначення граничного розподіленого навантаження через штамп, яке призводить до руйнування плити за нормальним перерізом:

$$q_{н.с.(лок.)} = \frac{12[M_1(ctg\varphi + tg\varphi) + M_2b_1/(a - a_1) + M_3a_1/(b - b_1)]}{a_1b_1}, \quad (4)$$

де  $M_1 = \sum_{i=1}^m \overline{M}_i / m$ ;  $M_2 = \sum_{j=1}^n \overline{M}_j / n$ ;  $M_3 = \sum_{k=1}^c \overline{M}_k / c$ ;  $tg\varphi = (b - b_1)/(a - a_1)$  – кількісна

характеристика, що визначає якісну схему зламу, яка знаходиться з умови мінімуму руйнівного навантаження. Кількісною характеристикою, що визначає якісну схему зламу є величина, яка обчислюється з умови мінімуму руйнівного навантаження.

Несуча здатність сталобетонних плит за міцністю контакту листа з бетоном залежить від граничного зсувного зусилля, яке сприймається анкерним упором та від його конструкції і визначається умовою зминання бетону, сталевго листа або зрізу анкера по відомим залежностям. При рівномірному розташуванні по площадці контакту найбільш навантаженими є зв'язки зсуву, розташовані уздовж опорного контуру. Очевидно, що поява граничного стану в цих зв'язках буде відбуватися раніше, ніж в інших. Таким чином, робота зовнішніх сил від розподіленого навантаження, яке передається через штамп дорівнює:

$$W_{к(лок.)} = qV = qa_1b_1f. \quad (5)$$

Робота внутрішніх сил складається з роботи зв'язків зсуву  $A_c$  та роботи зусиль, що виникають в стислій зоні бетону  $A_b$ .

Робота зв'язків зсуву  $A_c$  визначається залежностями:

$$A_c = 2\tau_a [T_1S_1 + T_2S_2], \quad \tau_a = \frac{Q_a}{\Delta^2}, \quad (6)$$

де  $\tau_a$  – граничні зусилля на одиниці площадки контакту;  $T_1$  – зсув за контактом в межах диска А'В';  $S_1$  – площа диску АА'В'В;  $T_2$  – зсув за контактом в межах диска А'Д';  $S_2$  – площа диску АА'Д'Д;  $Q_a$  – граничне навантаження на анкерний упор з умови зминання бетону або граничне навантаження на анкерний упор з умови зрізу;  $\Delta$  – крок анкерів, см.

Сумарна робота внутрішніх сила дорівнює:

$$A = A_c + A_b = \frac{1}{2}\tau_a (h_b - \bar{x}) \left[ \frac{(b + b_1)(a - a_1)^2 + (a + a_1)(b - b_1)^2}{(b - b_1)(a - a_1)} \right] + f_{cd} \bar{x}^2 \left\{ 2[ctg\varphi + tg\varphi] + \frac{a_1b_1(a - a_1)(b - b_1)}{(b - b_1)(a - a_1)} \right\}. \quad (7)$$

де  $h_b$  – висота перерізу;  $\bar{x}$  – середня висота стиснутої зони бетону;  $a, b$  – розміри плити в плані;  $f_{cd}$  – розрахунковий опір бетону на стиск.

Прирівнявши (5) і (7), одержимо рівняння для визначення руйнуючого розподіленого навантаження, яке передається через штамп з умови міцності контакту:

$$q_{k(\text{лок.})} = \left\{ \frac{1}{2} \tau_a (h_b - \bar{x}) \left[ \frac{(b + b_1)(a - a_1)^2 + (a + a_1)(b - b_1)^2}{(b - b_1)(a - a_1)} \right] + \right. \\ \left. + f_{cd} \bar{x}^2 \left\{ 2[\text{ctg} \varphi + \text{tg} \varphi] + \frac{a_1 b_1 (a - a_1)(b - b_1)}{(b - b_1)(a - a_1)} \right\} \right\} / a_1 b_1. \quad (8)$$

Числовий аналіз виразу (8) показав, що несуча здатність плити пропорційно залежить від кількості анкерних упорів розташованих на металевому листі, а також від його товщини.

Застосування методу граничної рівноваги для визначення несучої здатності сталобетонних суцільних плит перекриття дає задовільну збіжність, але викликає складності для подальшого аналізу стосовно пошуку раціонального шагу анкерів, форм і положення пустот. У зв'язку з цим, для подальшого аналізу було прийнято рішення використовувати МСЕ як основний інструмент рішення пошукової задачі раціоналізації конструкції.

Для вирішення питання були побудовані розрахункові схеми СП20-СП150 з кроком анкерів 20-150 мм. Навантаження приймалося рівномірно-розподіленим з інтенсивністю 600 кН/м<sup>2</sup>. В результаті визначення прогинів конструкції отримана область раціональних рішень (рис. 4).

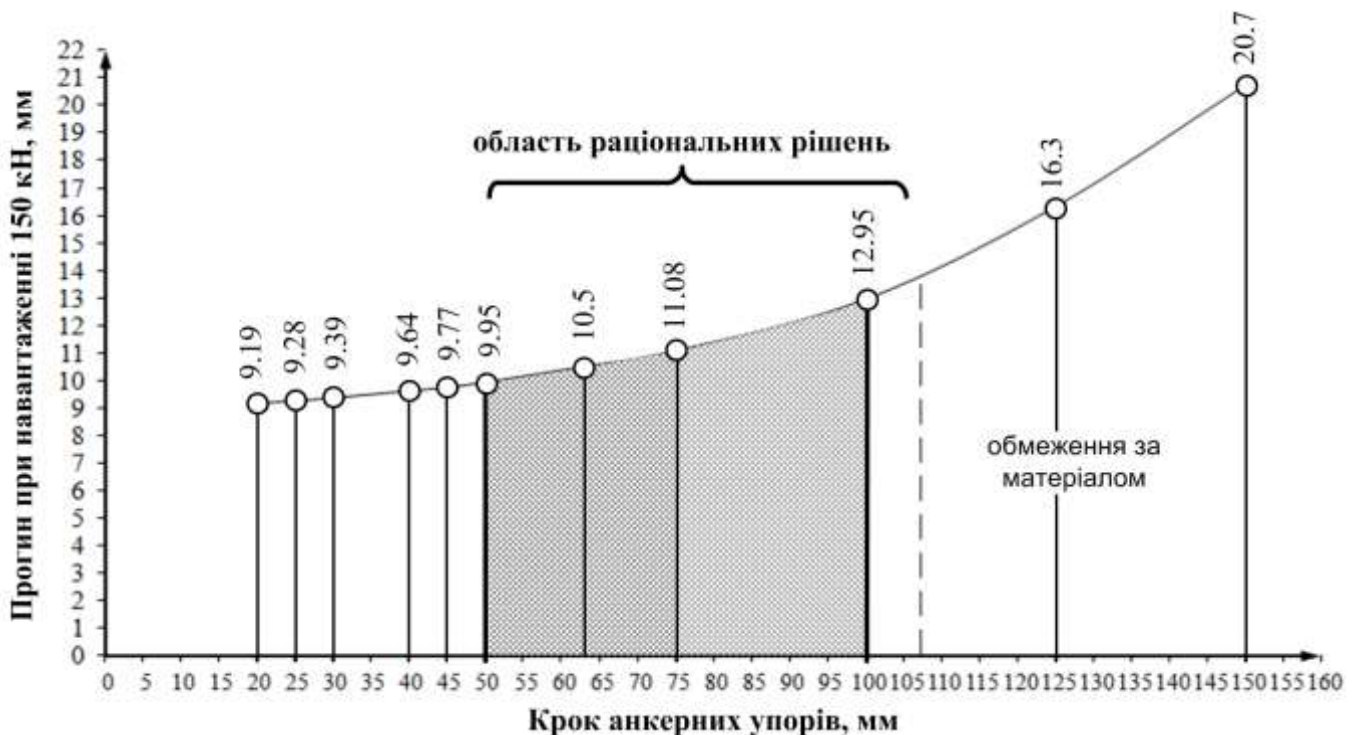


Рис. 4. Зміна жорсткості конструкції при різному кроці анкерів

Слід зазначити, що при збільшенні відстані між анкерами доцільно виділити декілька точок на графіку, які визначаються зміною залежності, що супроводжується досягненням границі текучості в деяких анкерах при зростанні прогинів, або навпаки, при скороченні кроку анкерів, з'являється приблизно лінійна залежність без суттєвого збільшення жорсткості конструкції.

Основний принцип, прийнятий при проектуванні пустотних плит перекриття, полягає у видаленні бетону з розтягнутої зони при збереженні необхідної несучої здатності. Таким чином, на наступному етапі вивчалось питання, пов'язане з визначенням раціональних геометричних параметрів і положення пустот в тілі бетону. В результаті чого були змодельовані розрахункові моделі зразків серій СП50(1)-СП50(12) з кроком анкерних упорів 50 мм та висотою пустоти 40 мм (табл. 2).

Таблиця 2

Розміри вставок пустотоутворювачів

Серія зразків	СП50(1)	СП50(2)	СП50(3)	СП50(4)	СП50(5)	СП50(6)
Розмір пустотоутворювачів $a \times b \times c$ , см	20×20×28	22.5×22.5×32	25×25×35	26×26×36.5	27.5×27.5×39	29×29×41
Серія зразків	СП50(7)	СП50(8)	СП50(9)	СП50(10)	СП50(11)	СП50(12)
Розмір пустотоутворювачів $a \times b \times c$ , см	30×30×42	32.5×32.5×45	34×34×48	35×35×49.5	37.5×37.5×53	40×40×56.5

Місця розташування пустот приймалися на підставі аналізу розподілу головних напружень в мембрані шляхом виключення ділянок з концентрацією напружень. Для цього розглянуті моделі сталобетонних плит перекриття розмірами в плані 1×1 м і висотою 70 мм з пустотами у вигляді тригранних призм, розташованими по периметру сторін. При цьому, пустоти моделювалися шляхом виключення фрагментів з бетонної частини (рис. 5). Обпирання виконано шляхом зацмлення металевого листа в кутах за схемою просторових шарнірів.

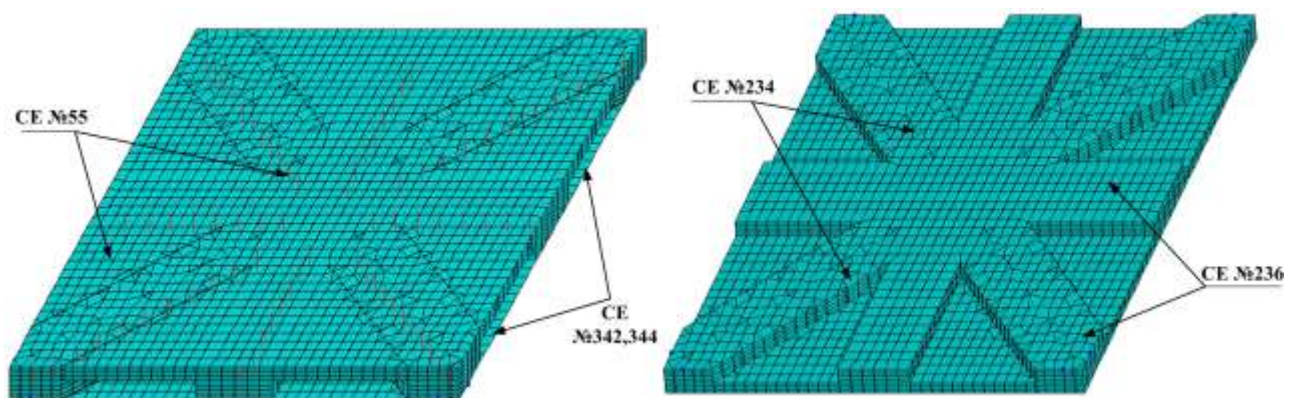


Рис. 5. Скінченно-елементна модель зразку СП50(7)

Після розрахунку визначалися критичні напруження в елементах розрахункової схеми (граничні розтягуючі та стискаючі напруження в бетоні, граничні розтягуючі напруження в металевому листі та зусилля, які сприймаються анкерами), а також оцінювалися деформації всіх елементів і конструкції в цілому.

Проведений аналіз напружено-деформованого стану плит з пустотами встановив наступні особливості:

1. Руйнування всіх моделей відбувається приблизно одночасно при досягненні границі міцності бетону при стисканні та границі текучості – в металевому листі.

2. В усіх зразках в металевому листі концентрація напружень виражена уздовж його діагоналей (рис. 6).

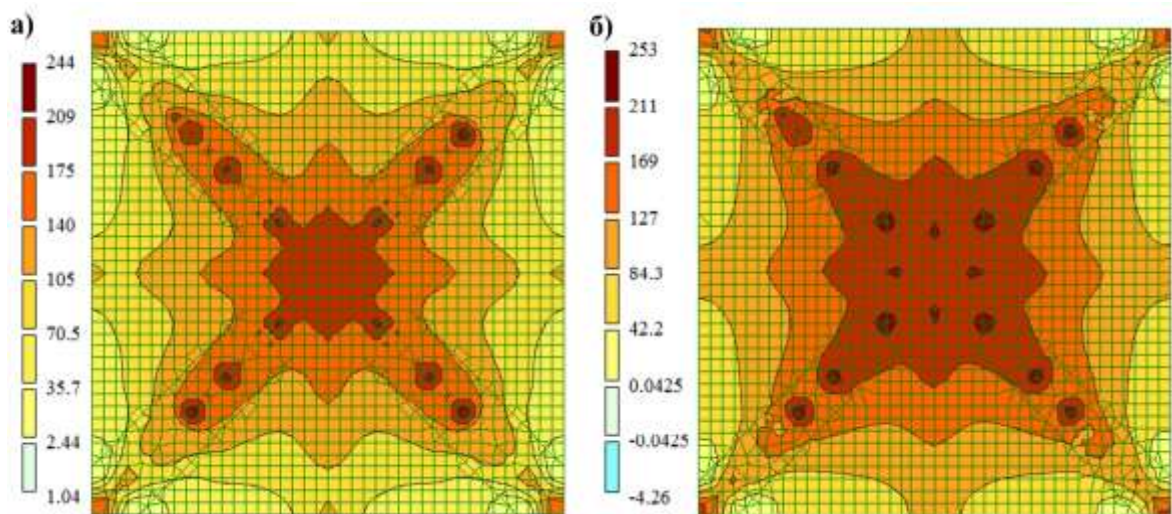


Рис. 6. Ізополі еквівалентних напружень в металевому листі для зразків серії, МПа:  
а) СП50(8); б) СП50(10)

3. Максимальні стискаючі напруження в бетоні виникають уздовж ліній, що проходять через середини сторін у верхній грані і в опорних елементах - у нижній грані (рис. 7).

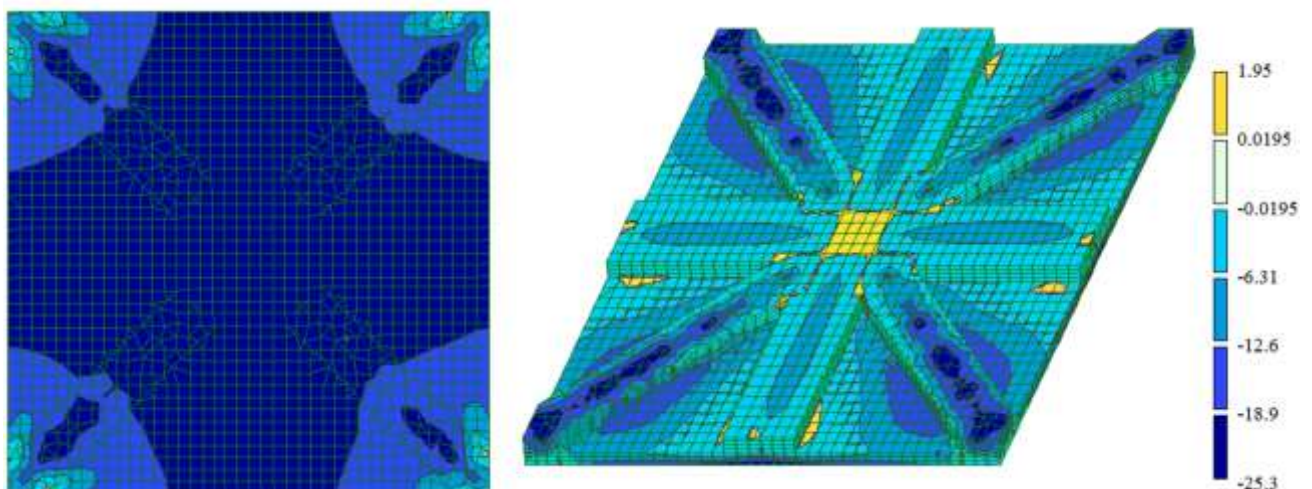


Рис. 7. Ізополі стискаючих напружень в бетонній частині зразка СП50(10), МПа

Також в результаті числового аналізу пустотних моделей отримана залежність впливу розмірів пустот на несучу здатність (рис. 8). Встановлено, що при збільшенні відносного об'єму пустот в бетоні від 7.3 до 20.57 %, несуча здатність конструкції приблизно однакова (лінійна ділянка залежності). При подальшому збільшенні об'єму пустот відбувається різке зменшення несучої здатності, внаслідок досягнення в бетоні границі міцності на стиск, а в металевому листі – границі текучості.

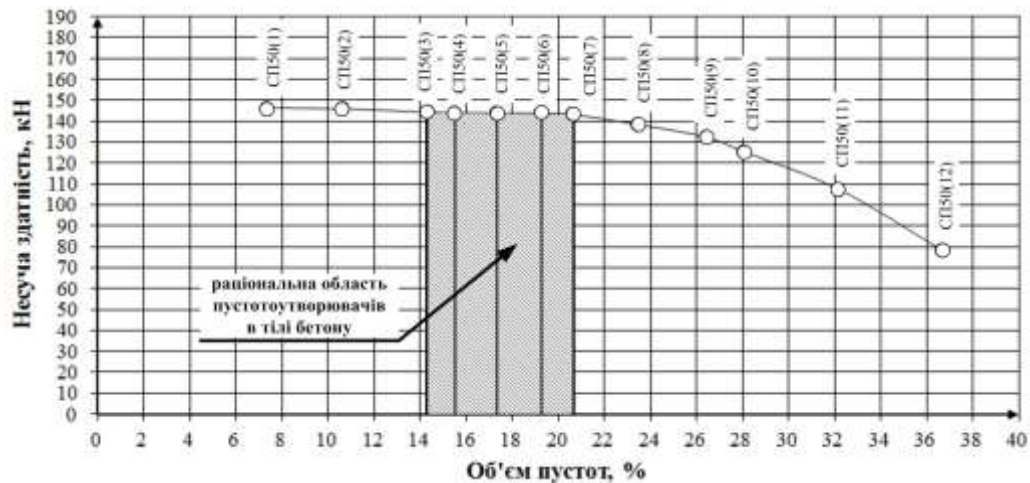
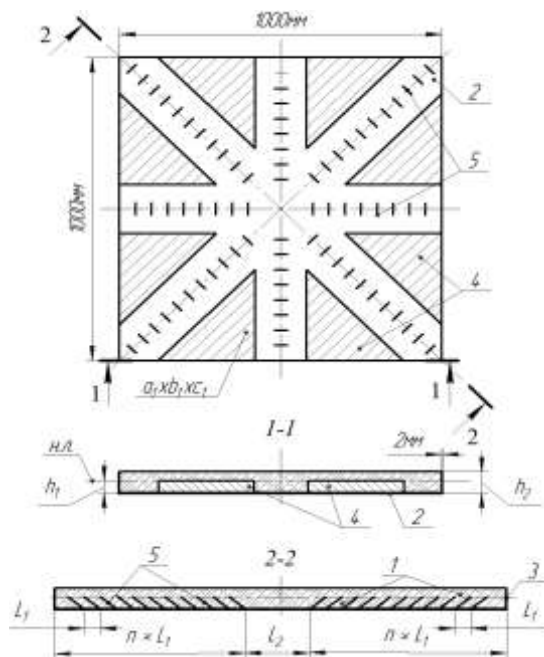


Рис. 8. Графік залежності несучої здатності від розміру пустот в тілі бетону

Аналізуючи отриману залежність припускаємо, що найбільш раціональний відсоток вмісту пустот – 20.57 %, що відповідає розмірам пустотоутворювачів в плані 300×300×420 мм з висотою 40 мм.

На наступному етапі були розроблені моделі пустотних плит перекриття серій СПМ та СПБ для експериментальних досліджень (рис. 9).



Серія зразків	Кількість анкерів n, шт	Параметри, мм						
		$L_1$	$L_2$	$h_1$	$h_2$	$a_1$	$b_1$	$c_1$
СПМ50	11	400	200	40	70	250	250	350
СПМ100	6	400	200	40	70	250	250	350
СПБ50	11	400	200	40	70	300	300	420
СПБ100	6	400	200	40	70	300	300	420

Рис. 9. Схема в плані, зразків, які розглядаються: 1 – бетон; 2 – металевий лист; 3 – металева відбортовка; 4 – вставки пустотоутворювачів; 5 – анкери

Проведений аналіз напружено-деформованого стану плит з пустотами серій СПМ та СПБ встановив наступні особливості:

1. Вичерпання несучої здатності пустотної сталобетонної плити відбувається в момент досягнення граничних напружень в бетоні і локально – в мембрані (рис. 10,11).

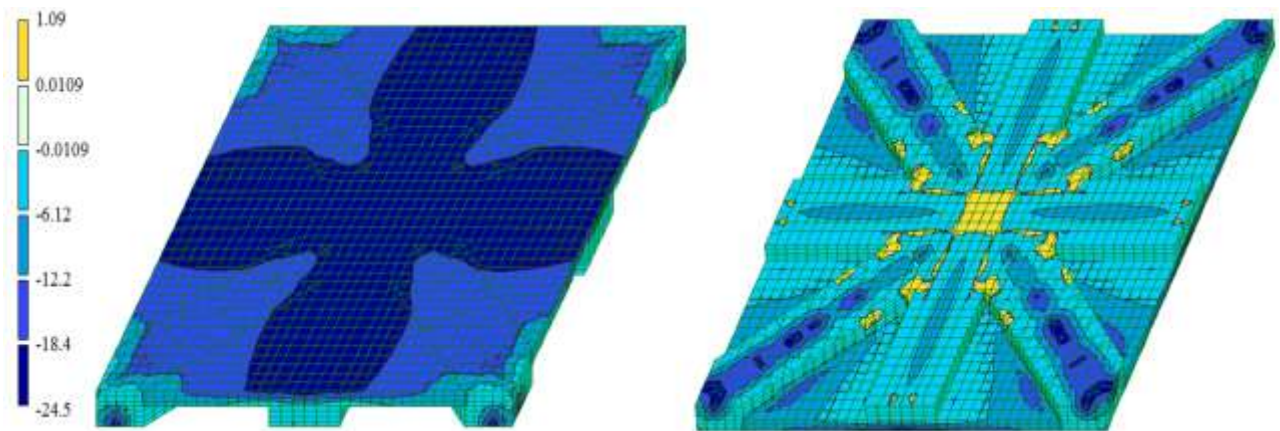


Рис. 10. Ізополя стискаючих напружень в бетонній частині зразка СПБ50, МПа

2. Напруження розтягу в бетоні переважно виникають за межами пустот, поширюються до центру плити і складають на останній стадії навантаження 1.95 МПа (рис. 11).

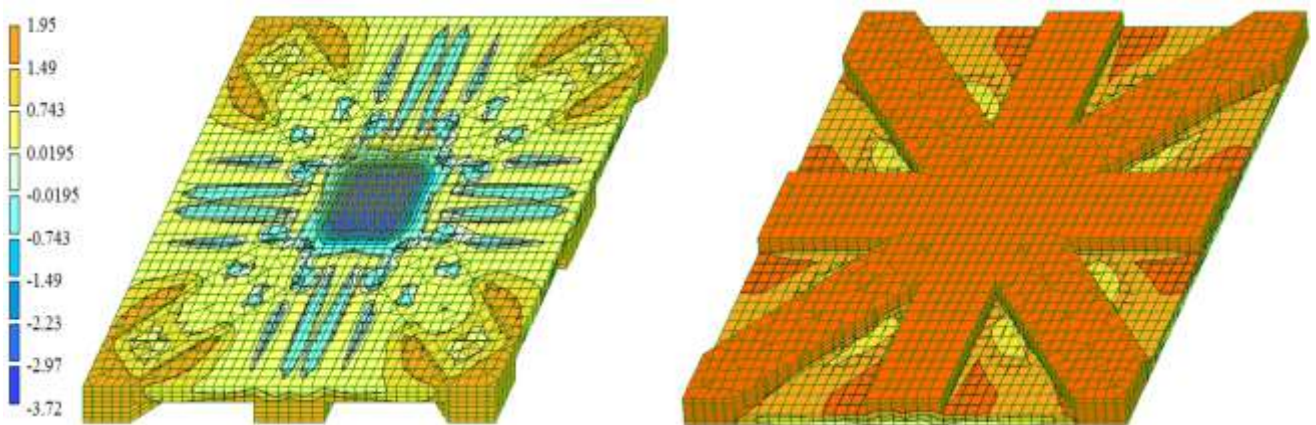


Рис. 11. Ізополя розтягуючих напружень в бетонній частині зразка СПБ50, МПа

3. Стискаючі напруження в бетоні виникають уздовж ліній, що проходять через середини сторін у верхній грані і в опорних елементах – у нижній грані. При цьому максимальні значення напружень зверху плити досягають 24.5 МПа, а в опорних елементах 22 МПа (рис. 10).

4. Розподіл напружень в металевому листі виражено уздовж його діагоналей, починаючи від вузлів закріплення і закінчуючи в центрі. При цьому, значення напружень, що виникають під поверхнею прикладання навантаження, не перевищує 157-174 МПа. Максимальні напруження виникають навколо зв'язків зсуву, розташованих найближче до центру і складають 218 МПа для зразків СПМ і 238 МПа – для зразків серії СПБ (рис. 12).



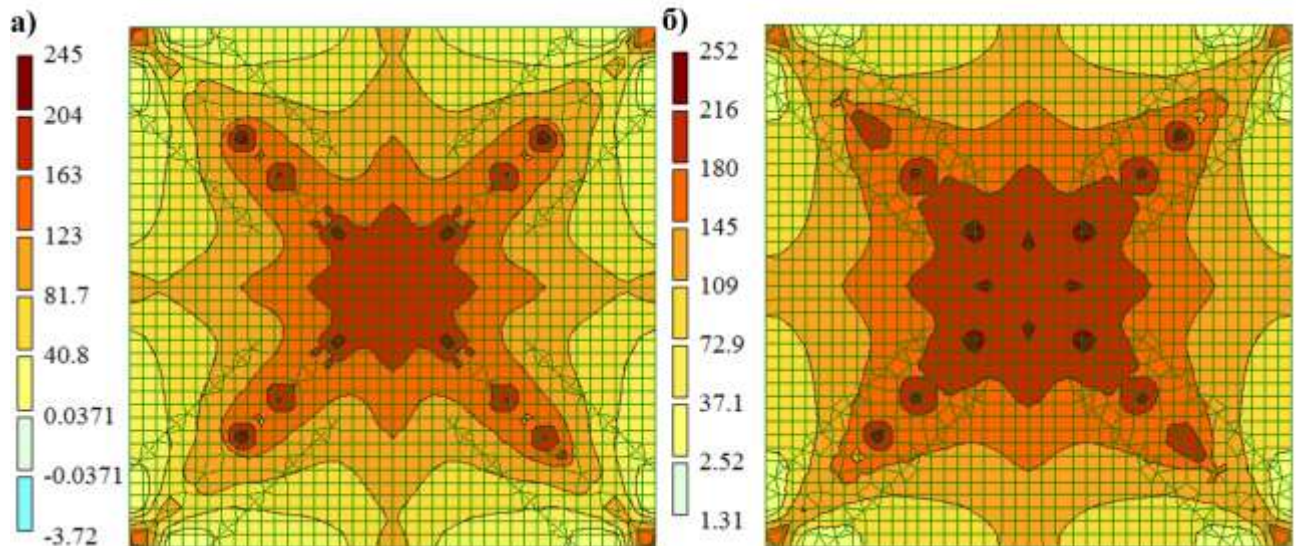


Рис. 12. Ізополя еквівалентних розтягуючих напружень в металевому листі, МПа:  
а) СПМ 50, б) СПБ50

5. Уздовж діагоналей екстремум зусиль виникає в зв'язках, розташованих на відстані 25-35 см від вузлів закріплення листа. Напруження в зв'язках серій СПБ50 становлять 75-90 % від розрахункового опору матеріалу анкеру.

**Третій розділ** присвячений експериментальним дослідженням сталобетонних пустотних плит перекриття. Метою проведених експериментальних досліджень було дослідження несучої здатності, деформативності і тріщиноутворення запропонованих конструкцій та визначення впливу змінних параметрів на відносні деформації і прогини конструкції.

Для аналізу і вивчення розглянутих завдань було прийнято три серії зразків: СПМ, СПБ - сталобетонні пустотні з різною геометричною формою пустот і кроком анкерів; СП - сталобетонні суцільні, контрольні для кожного пустотного прообразу з аналогічним кроком анкерів (табл. 3).

Таблиця 3

Характеристики дослідних зразків

Серія дослідних зразків	Геометричні параметри зразків, мм		Геометричні параметри пустот, мм		Крок анкерів, мм
	розмір в плані	висота	розмір в плані	висота	
СП50	1000×1000	70	-	-	50
СП100	1000×1000	70	-	-	100
СПМ50	1000×1000	70	250×250×350	40	50
СПМ100	1000×1000	70	250×250×350	40	100
СПБ50	1000×1000	70	300×300×420	40	50
СПБ100	1000×1000	70	300×300×420	40	100

Виготовлення та випробування експериментальних моделей виконано в лабораторії кафедри будівельної механіки та гідравліки УкрДУЗТ.

Модель сталобетонного пустотного перекриття з розмірами в плані 1×1 м, складалась з сталевих листів, бетонного шару, анкерів, сталевих бортів та вставок пустоутворювачів (рис. 13). Зовнішнє армування виконане з суцільного сталевих листів (1) із сталі СтЗкп товщиною 2 мм та металевих бортів (5), зварених з листом по всій довжині.

Зв'язок зовнішнього армування та бетонного шару (4) забезпечується завдяки похилим анкерам (3), розташованим по діагоналях та осях симетрії з кроком 50 та 100 мм. Анкера виконано зі сталі класу Вр-ІІ, діаметром 4 мм. Для забезпечення більш розподіленої зони включення анкера в роботу з листом, довжину зварного шва витримували 10-15 мм.

В якості пустоутворювачів (2) використовували екструдований пінополістирол щільністю 38 кг/м<sup>3</sup>. Зчеплення пустоутворювача з листом для запобігання його зсуву під час бетонування здійснювалось за допомогою епоксидного клею.

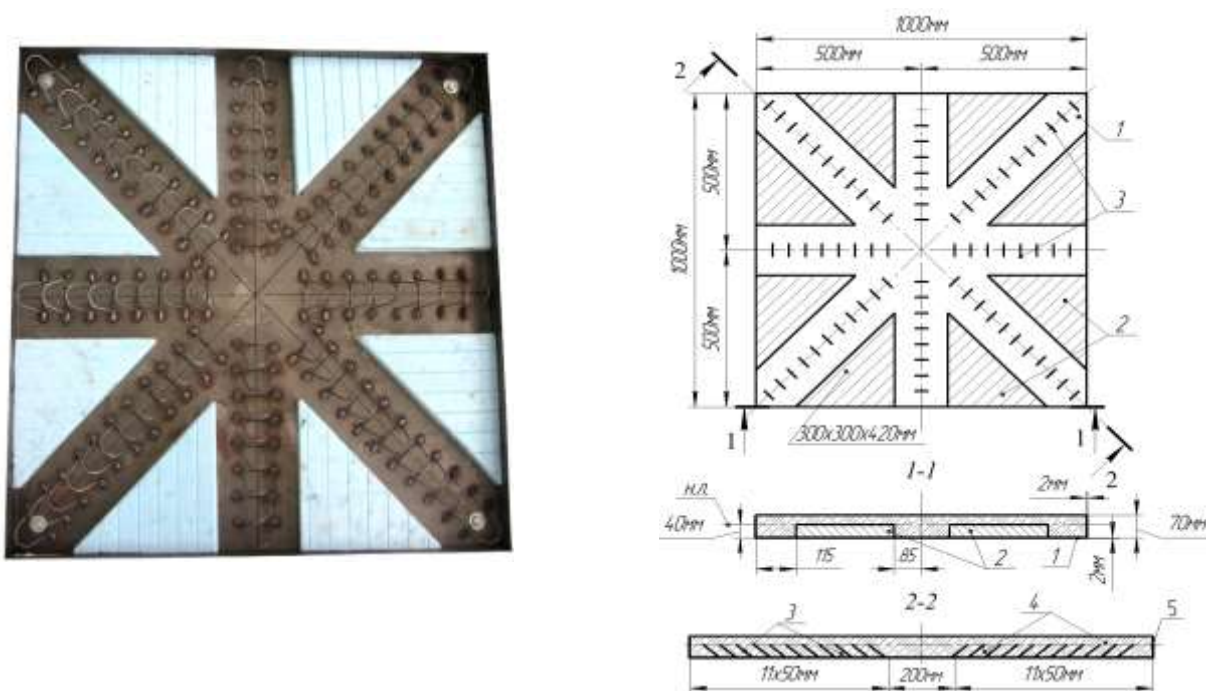


Рис. 13. Зовнішній вигляд до бетонування та схема зразка СПБ50: 1 – металевий лист; 2 – пустоутворювач; 3 – анкери; 4 – бетон; 5 – металева відбортовка

Для визначення міцності матеріалів виконувалося випробування контрольних бетонних і сталевих зразків. За усередненими значеннями міцності бетону  $f_{ck,cube} = 25.5$  МПа прийнятий клас бетону С30/35. Границя текучості сталі  $f_y = 225$  МПа, тимчасовий опір на розтяг  $f_t = 290$  МПа.

При випробуванні зразків були використані індикатори годинникового типу з ціною поділки 0.01 мм та мікроскоп МИР-2 з ціною поділки 0.1 мм. Деформації вимірювалися методом електротензометрії із застосуванням тензорезисторів з базою 10 мм на сталевому листі (ДС) і базою 15 мм (ДБ) – на бетоні (рис. 16). Показання датчиків визначали за допомогою багатоканальної вимірювальної системи ВНП-8.

Зразки плит були випробувані на спеціальній установці, схема якої наведена на рис. 14. Навантаження виконувалося ступенями по 5 кН з 10-ти хвилинною витримкою.



Рис. 14. Зразки серії СПМ50 та СПМ100 під час випробування

В результаті випробування отримано дані про несучу здатність плит, характер їх деформування і тріщиноутворення (табл. 4).

Таблиця 4

Дані за результатами випробувань

Серія зразків	Несуча здатність, кН	Прогин при навантаженні 120 кН, мм	Деформація в бетоні при навантаженні 120 кН, $\varepsilon_c \cdot 10^{-3}$		Деформація в металі при навантаженні 120 кН, $\varepsilon_s \cdot 10^{-3}$	
			в центрі плити	по діагоналі	в центрі плити	по діагоналі
СП50	150	8.64	-1.67	-1.34	0.59	0.83
СП100	135	9.06	-2.01	-1.67	0.59	0.95
СПМ50	150	9.34	-1.78	-1.48	0.72	0.94
СПМ100	130	9.86	-2.25	-1.89	0.81	1.02
СПБ50	145	10.25	-2.52	-1.69	0.74	0.98
СПБ100	130	11.04	-2.79	-1.97	0.84	1.09

Для зразків усіх серій отримані залежності зміни відносних деформацій на поверхні сталевого листа і бетону від зовнішнього навантаження. На рис. 15, 16 представлені результати відносних деформацій, отриманих для зразка серії СПБ50.

За отриманими результатами встановлено, що на початковій стадії навантаження переважно виникають пружні деформації. При навантаженні рівному 55-65 % від руйнуючого в бетонній частині уздовж центральних осей спостерігається поява перших тріщин, а в сталевому листі при цьому розвиваються напруження в діапазоні 45-57 % від границі текучості.

Напруження в листі переважно виникають в напрямку діагоналей та становлять 150-198 МПа. В області анкерів рівень напружень вище на 20-35 % в порівнянні з іншими точками, що лежать уздовж анкерних ліній. При досягненні навантажень більше 85-90 % від руйнуючого, спостерігається інтенсивне розповсюдження тріщин та руйнування бетону.

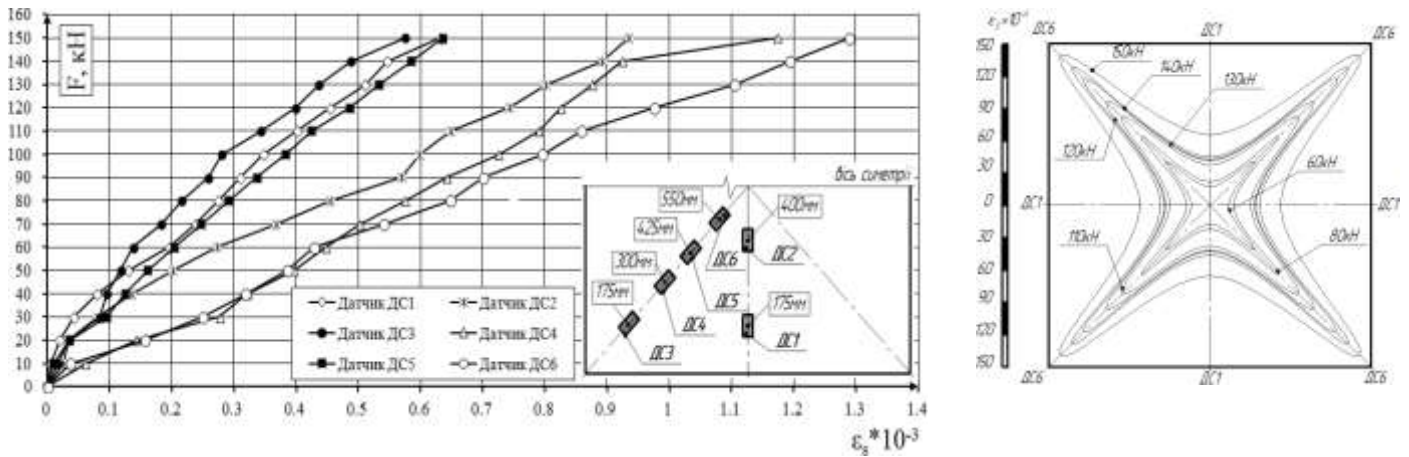


Рис. 15 Графік залежності  $\varepsilon_s$  (F) та діаграма розподілу відносних деформацій на металевій поверхні зразка СПБ50

Відмінність деформування зразків з кроком анкерів 100 мм виражається в характері тріщиноутворення та несучої здатності. Вже при рівні напружень 35-50 % від руйнуючого, зафіксовані перші тріщини в центральній частині плити, а при навантаженні 70-80 кН, тріщини з'являються в місці кріплення і далі розвиваються за напрямом діагоналей. Розвиток напружень в металевому листі відбувається аналогічно серіям з кроком 50 мм. При навантаженні 70-80 кН максимальне значення деформацій між анкерами спостерігається в зразку СПБ100 і становить 170-186 МПа. При рівні напружень 70-80 % від руйнуючого в області деяких анкерів виникають напруження, що відповідають границі текучості сталі. При досягненні навантажень 78-89 % від несучої здатності, спостерігається значне розподілення тріщин в центральній частині.

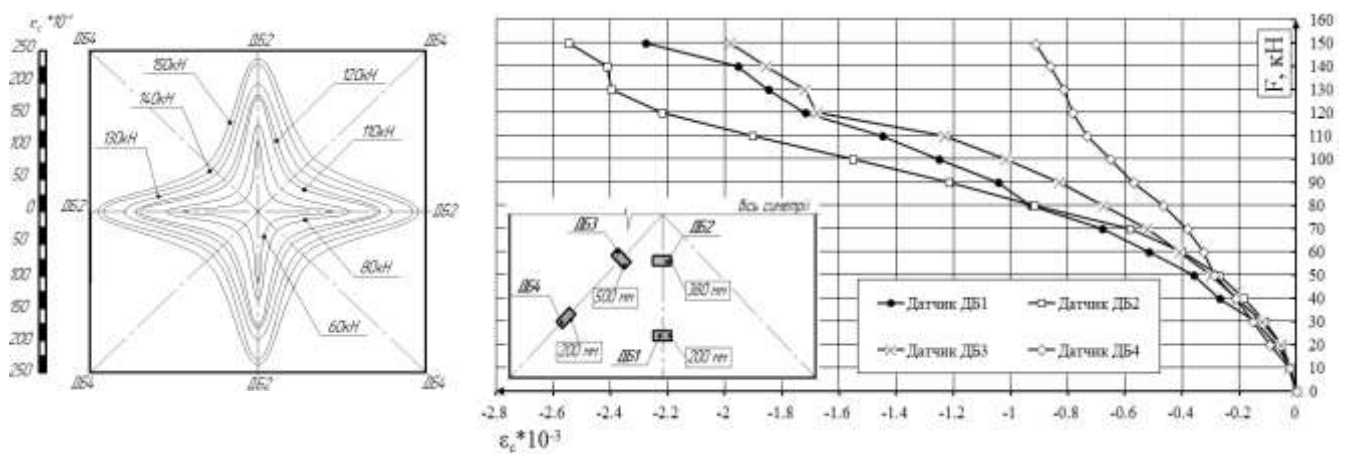


Рис. 16. Графік залежності  $\varepsilon_c$  (F) та діаграма розподілу відносних деформацій у бетонній частині зразка СПБ50

Після завершення випробувань виконувалося розкриття конструкцій, що дало можливість оцінити цілісність бетону в області пустотоутворювачів і характер тріщиноутворення в розтягнутій зоні (рис. 17).

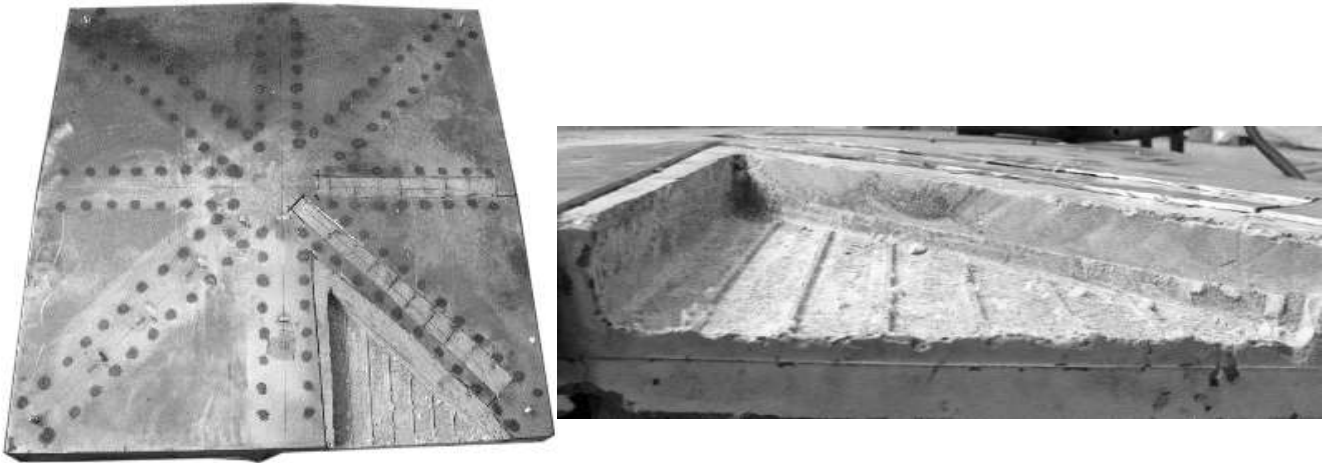


Рис. 17. Розкрита після випробувань пустота зразка СПБ50

В результаті порівняння експериментальних і теоретичних даних щодо несучої здатності, тріщиноутворення, схеми деформування та розподілу напружень, встановлена достатня збіжність отриманих результатів (табл. 5).

Таблиця 5

Порівняння експериментальних та теоретичних значень несучої здатності сталобетонних плит розміром 1000×1000 мм

Серія зразків	Витрата бетонної суміші, м <sup>3</sup>	Економія бетонної суміші, м <sup>3</sup>	Зниження власної ваги, %	Несуча здатність $F_{uls(експ.)}$ , кН	Несуча здатність $F_{uls(теор.)}$ , кН	$\Delta$ , %
1	2	3	4	5	6	7
СП50	0.07	–	–	150	145.5	3
СП100	0.07	–	–	135	125.5	7.04
СПМ50	0.06	0.009	14.3	150	144.3	3.8
СПМ100	0.06	0.009	14.3	130	125.7	3.4
СПБ50	0.056	0.012	20.6	145	143.2	1.24
СПБ100	0.056	0.012	20.6	130	123.8	4.8

Встановлено, що у всіх зразках зберігалось 100 % працездатних анкерів. В області їх розташування бетон без ознак руйнування, що підтверджує припущення про відносно виключення відповідних секторів з роботи конструкції. Тріщиноутворення виражено в напрямку діагоналей і прямих, що проходять через середини сторін. При зростанні числа анкерів в два рази, жорсткість конструкції збільшується на 4.9-5.7 %, а несуча здатність – на 11-15 %.

**Четвертий розділ** присвячений практичному впровадженню отриманих результатів. Запропонована конструкція сталобетонного пустотного перекриття впроваджена при розробці проекту терміналу перевантаження і наливного причалу в

Маріупольському торговому порту на території ДП «Маріупольський торговий порт». Крім того, отримані дані реалізовані в навчальному процесі на кафедрі «Будівельна механіка та гідравліка» Українського державного університету залізничного транспорту.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено нову конструкцію сталобетонних плит перекриття з пустотами, утвореними шляхом вставок пустотоутворювачів в тіло бетону. Встановлено раціональні параметри пустот, при яких запропонована конструкція в порівнянні з суцільною сталобетонною плитою зберігає несучу здатність і забезпечує зниження власної ваги конструкції на 14 % для зразків СПМ та 21 % – СПБ та економію бетону на 13 % та 17.4 % відповідно.

2. Розроблено скінченно-елементні моделі сталобетонних пустотних плит перекриття і на їх основі виконана оцінка напружено-деформованого стану системи в цілому і окремих її елементів з урахуванням специфіки роботи конструкції, піддатливості зв'язків по контакту між бетоном і сталлю та впливом нелінійних властивостей матеріалів. У порівнянні з експериментальними даними розрахунок конструкцій за запропонованими моделями показав збіжність результатів у межах до 8 %.

3. Проведено експериментальні дослідження НДС та тріщиноутворення пустотних плит перекриттів з різними за розмірами вставками пустотоутворювачів і змінним кроком анкерів при дії статичного навантаження. В результаті отримано наступні дані:

- при рівні навантаження, яке відповідає утворенню в бетоні перших тріщин, в металевому листі розвиваються напруження в діапазоні 45-57 % від границі текучості;
- напруження в металевому листі виникають переважно в напрямку діагоналей і складають 150-198 МПа;
- в місцях розташування анкерів рівень напружень в мембрані вище на 20-35 % в порівнянні з іншими точками, що лежать уздовж анкерних ліній.

4. Досліджено ступінь впливу пустот і податливості зв'язків по контакту між бетоном та сталлю на граничний і напружено-деформований стани конструкції. В результаті чого встановлено:

- в сталобетонних плитах розміром 1×1 м раціональний відносний відсоток вмісту пустот становить 20.57 %, який відповідає розмірам пустотоутворювачів в плані 300×300×420 мм з висотою 40 мм;
- використання анкерних упорів з кроком 50 мм в сталобетонних пустотних плитах є найбільш раціональним з точки зору жорсткості та спільної роботи конструкції.

5. Впровадження дисертаційної роботи виконано при розробці проекту терміналу перевантаження і наливного причалу в Маріупольському торговому порту на території ДП «Маріупольський торговий порт» та в навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### **Статті в наукових фахових виданнях України:**

1. Головка Д.В. Експериментальні дослідження сталобетонних пустотних плит перекриття / О.В. Лобяк, Д.В. Головка // Зб. наук. праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». – Рівне, 2015. – Вип. 30. – С. 175-181. *(Особистий внесок: виконано експериментальні дослідження квадратних сталобетонних пустотних плит перекриття).*

2. Головка Д.В. Моделирование работы сталобетонных пустотных плит перекрытия с учетом нелинейных свойств конструкции и материалов / А.В. Лобяк, Д.В. Головка // Зб. наук. статей «Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація» – Полтава, 2014. – Вип. 11. – С. 156-162. *(Особистий внесок: виконано чисельну оцінку напружено-деформованого стану сталобетонних пустотних плит перекриття).*

3. Головка Д.В. Экспериментальная оценка напряженно-деформированного и предельного состояния сталобетонных круглых плит / Г.Л. Ватуля, А.А. Шевченко, Д.В. Головка // Зб. наук. праць УкрДАЗТ – Харків, 2012. – Вип. 129. – С. 145-149. *(Особистий внесок: участь у виконанні експериментальних досліджень круглих сталобетонних плит).*

4. Головка Д.В. Конструкции с внешним стальным армированием в практике строительства / Д.В. Головка // Зб. наук. праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». – Рівне, 2011. – Вип. 22. – С. 249-254.

### **Міжнародні публікації у виданнях чи в збірниках, що входять до міжнародних наукометричних баз:**

5. Головка Д.В. Напружено-деформований та граничний стан сталобетонних пустотних плит / О.В. Лобяк, Д.В. Головка // Зб. наук. праць УкрДУЗТ – Харків, 2015. – Вип. 153. – С. 73-83. *(Особистий внесок: на підставі експериментально-теоретичних досліджень квадратних сталобетонних пустотних плит перекриття обґрунтована їх раціональність використання у практиці будівництва).*

6. Головка Д.В. Вплив пустотних включень на напружено-деформований та граничний стан сталобетонних плит / О.В. Лобяк, Д.В. Головка // Зб. наук. праць УкрДАЗТ – Харків, 2015. – Вип. 151. – С. 62-68. *(Особистий внесок: на підставі експериментальних досліджень визначено вплив пустотоутворювачів на несучу здатність конструкції).*

### **Статті в збірниках за матеріалами конференцій:**

7. Головка Д.В. Моделирование работы сталобетонных пустотных плит перекрытия с учетом нелинейных свойств конструкции и материалов / А.В. Лобяк, Д.В. Головка // «Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація» – Полтава, 2014. – Вип. 11. – С. 156-162. *(Особистий внесок: оброблено результати розрахунку та виконано чисельну оцінку напружено-деформованого стану сталобетонних пустотних плит перекриття з урахуванням нелінійності матеріалів).*

8. Головки Д.В. Численний аналіз напружено-деформованого стану порожнистих сталобетонних плит перекриття / А.В. Лобяк, Д.В. Головки // Сборник тезисов докладов по проблемам прочности материалов и сооружений на транспорте. – Санкт-Петербург, 2014. – С. 64-65. *(Особистий внесок: на підставі теоретичних даних виконана чисельна оцінка напружено-деформованого стану сталобетонних порожнистих плит перекриття).*

9. Головки Д.В. Экспериментальные исследования сталобетонных плит / Д.В. Головки // Международная научно-практическая Интернет-конференция SWorld «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2012». – Одесса, 2012

10. Головки Д.В. Изучение влажностного режима современных ограждающих конструкций при нестационарных условиях / Л.В. Гапонова, Д.В. Головки, Е.В. Игнатенко // Сборник тезисов докладов по проблемам прочности материалов и сооружений на транспорте. – Санкт-Петербург, 2011. – С. 26-28. *(Особистий внесок: виконано оцінку впливу вологи на несучу здатність конструкцій).*

## АНОТАЦІЯ

**Головки Д.В. Напружено-деформований стан сталобетонних порожнистих плит перекриття. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції будівлі та споруди. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків 2015.

Дисертація присвячена розробці та дослідженню сталобетонних порожнистих плит перекриття при статичному навантаженні.

Розроблено скінченно-елементні моделі суцільних та порожнистих плит перекриття з різними за розмірами вставками порожотоутворювачів та кроком анкерів. Обґрунтовані критерії та визначені раціональні параметри порожот і анкерів. Керуючись отриманими чисельними розрахунками запропоновано нову конструкцію сталобетонного полегшеного перекриття, яка складається з зовнішнього армування, бетонного шару, анкерів та вставок порожотоутворювачів.

Проведено експериментальні дослідження сталобетонних суцільних та порожнистих плит перекриття. Виконано аналіз напружено-деформованого та граничного станів конструкцій при змінних параметрах. За отриманими результатами встановлено, що на початковій стадії навантаження переважно виникають пружні деформації. При навантаженні рівному 55-65 % від руйнуючого в бетонній частині уздовж центральних осей спостерігається поява перших тріщин, в цей момент в сталевому листі розвиваються напруження в діапазоні 45-57 % від границі текучості. Напруження в листі переважно виникають в напрямку діагоналей. В області анкерів рівень напружень вище на 20-35 % в порівнянні з іншими точками, що лежать уздовж анкерних ліній. Встановлено залежності впливу розмірів порожот та кроку анкерів на жорсткість, деформативність та тріщиноутворення



конструкцій. Доведена раціональність та ефективність застосування сталобетонних пустотних плит перекриття в порівнянні зі своїми суцільними аналогами.

В результаті порівняння експериментальних і теоретичних даних отримана розбіжність до 8 %, яка свідчить про адекватність розроблених скінченно-елементних моделей.

Результатом проведених досліджень є впровадження сталобетонних пустотних плит перекриття в проект будівництва терміналу перевантаження і наливного причалу в Маріупольському торговому порту та навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту.

**Ключові слова:** сталобетонна конструкція, скінченно-елементна модель, напружено-деформований стан, несуча здатність, деформації, розрахунок, пустотоутворювач, анкера.

## АННОТАЦІЯ

**Головко Д.В. Напряженно-деформированное состояние сталобетонных пустотных плит перекрытий – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции здания и сооружения. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2015.

Диссертация посвящена разработке и исследованиям сталобетонных пустотных плит перекрытий при статическом нагружении.

В работе выполнен анализ теоретических и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) железобетонных, сталобетонных сплошных и облегченных плит перекрытий.

Разработаны компьютерные модели сталобетонных сплошных и пустотных плит перекрытий. Выполнена оценка напряженно-деформированного и предельного состояний систем с учетом нелинейных свойств материалов. Исследовано влияние шага анкеров на НДС сталобетонных сплошных плит перекрытий, установлено, что при шаге анкеров 50 мм жесткость конструкции увеличивается на 4.9-5.7 %, а несущая способность – на 11-15 %. Определено влияние размеров вставок пустотообразователя на несущую способность и деформативность. Установлен наиболее рациональный процент содержания пустот в теле бетона – 20.57 %, который соответствует размеру пустоты в плане 300×300×420 мм. В результате, предложена новая конструкция сталобетонной пустотной плиты перекрытия, которая состоит из внешнего армирования, бетонного слоя, анкеров и вставок пустотообразователя.

На основании разработанных конечно-элементных моделей были изготовлены и испытаны 6 опытных образцов. При испытании сталобетонных сплошных и пустотных образцов получены и проанализированы данные о характере деформирования, трещинообразовании и исчерпании несущей способности. Полученные результаты показали, что содержание пустот в бетоне от 7.3 до 20.57 %

при шаге 50 мм существенно не влияет на несущую способность и жесткость конструкций и позволяет снизить собственный вес конструкции на 13 %-17.4 %. Подтверждена и обоснована целесообразность использования сталебетонных пустотных плит перекрытий по сравнению со сплошными аналогами.

Получено удовлетворительное совпадение экспериментальных и численных данных (до 8 %), что позволяет судить о соответствии разработанных конечно-элементных моделей исследуемым процессам.

В работе приведен сравнительный анализ технико-экономических показателей предлагаемой сталебетонной пустотной и железобетонной плиты перекрытия (средняя панель КУБ-2.5). В результате установлено, что применение пустотной плиты перекрытия наиболее выгодно.

Результаты проведенных исследований внедрены в проект строительства терминала перегрузки и наливного причала в Мариупольском торговом порту и учебный процесс Украинского государственного университета железнодорожного транспорта.

**Ключевые слова:** сталебетонная конструкция, конечно-элементная модель, напряженно-деформированное состояние, несущая способность, деформации, расчет, пустотообразователь, анкера.

## SUMMARY

### **D.V. Golovko. Stress-Strain State of the Steel-Concrete Hollow Core Slabs. – On the manuscript.**

The thesis for a candidate's degree (engineering) on specialty 05.23.01 – contractions, buildings and structures. Ukrainian State University of Railway Transport. Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkov, 2015.

The thesis is devoted to the research and development of steel-concrete hollow core slabs under static load.

Finite element models of solid and hollow core slabs with different size inserts inside core and interval anchor stops. Criteria are justified and rational parameters of voids and anchor stops are defined. Guided by the obtained numerical calculations a new design of lightweight reinforced concrete slab is proposed, which consists of an outer reinforcement, concrete layer, anchor stops and inserts inside core. Going by the obtained numerical calculations a new design of lightweight reinforced concrete slab is proposed, which consists of an outer reinforcement, concrete layer, anchor stops and inserts inside core.

Experimental research of solid and hollow steel-concrete floor slabs was conducted. The analysis of stress-strain and limit state of structures under variable parameters is performed. The dependence of the influence of the size of voids and interval of anchor stops focusing on hardness, deformability and cracking constructions is determined. The rationality and efficiency of steel-concrete hollow core slabs comparing with their solid counterparts is proved.

In the result of the comparison of experimental and theoretical data the difference of 3-8% is obtained, which indicates the adequacy of the developed finite element models.

The result of the research is the introduction of steel-concrete hollow core slabs in the project modeling of the object for industrial use in the city Mariupol.

**Key words:** steel-concrete slab, finite element model, stress-strain state, reinforced concrete, bearing capacity, deformation, calculation, insert core, anchor.