

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

БАРАНЕЦЬКА ДАРІЯ СЕРГІЇВНА



УДК 624 (043.5)

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ
ПЕРЕКРИТТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗОВНІШНЬОГО АРМУВАННЯ
РІЗНИМИ ВИДАМИ ПРОФІЛЬОВАНОГО НАСТИЛУ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Лапенко Олександр Іванович,
Національний авіаційний університет,
завідувач кафедри комп'ютерних
технологій будівництва.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Голоднов Олександр Іванович,
ТОВ «Український науково-дослідний
та проектний інститут сталевих конструкцій
ім. В. М. Шимановського»,
учений секретар;

кандидат технічних наук
Гензерський Юрій Валерійович,
ТОВ «ЛІРА-САПР»,
заступник директора.

Захист відбудеться «5» липня 2019 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.062.12 в Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова 1, корп. 5, ауд. 303.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розісланий «29» травня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, доцент



О. В. Степанчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сталезалізобетонні плити із профільованим настилом набувають широкого розповсюдження на практиці, завдяки поєднанню сталі та бетону. Сталезалізобетонні конструкції є економічною та творчою альтернативою традиційним несучим елементам та відкривають численні нові можливості в будівництві.

Сталезалізобетонні плити з профільованим настилом являють собою неоднорідні композитні конструкції, тому необхідно мати надійні та доведені до практичного застосування методи їх розрахунку, які б урахували неоднорідну структуру елементів конструкцій, реальні схеми навантаження, крайові умови тощо. Від урахування цих факторів залежить коректність визначення параметрів напружено-деформованого стану (НДС) таких конструктивних елементів. При цьому параметри НДС суттєво залежать від впливу деформацій поперечного зсуву, і як наслідок – депланації поперечних перерізів. Тому модель деформування плит, яка базується на гіпотезі плоских перерізів, може виявитися непридатною для розрахунку плит з неоднорідною або композитною будовою поперечного перерізу. Отже, точний розрахунок таких конструкцій є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації і отримані результати відповідають актуальним напрямкам науково-технічної політики України відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 409 від 05.05.1997 р «Про забезпечення надійності і безпечної експлуатації будівель споруд і мереж», від 23.05.2011 № 547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу».

Мета і завдання дослідження. Дисертаційна робота полягає в визначенні дійсного напружено-деформованого стану сталезалізобетонних перекриттів із застосуванням зовнішнього армування різними видами профільованого настилу.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані наступні **завдання** дослідження:

- удосконалити математичну зсувну модель згину плит з кусково-неоднорідною будовою перерізу з метою її адаптації до розрахунку сталезалізобетонних плит із профільованим настилом та з профільованим настилом з виштамповками;

- порівняти напружено-деформований стан сталезалізобетонних перекриттів із застосуванням зовнішнього армування різними видами профільованого настилу.

- експериментальним шляхом дослідити особливості роботи під навантаженням, напружено-деформований стан, міцність та деформативність сталезалізобетонних плит із профільованим настилом із застосуванням різних типів профільованого настилу;

- порівняти результати експериментальних та теоретичних (із застосуванням аналітичних та чисельних методів) досліджень несучої здатності

і деформативності сталезалізобетонних плит із метою верифікації аналітичних моделей і визначення меж їх застосування;

– розробити пропозиції щодо методики чисельного моделювання роботи сталезалізобетонних плит із профільованим настилом за допомогою методу скінчених елементів;

– розробити пропозиції щодо розрахунку, конструювання та моделювання сталезалізобетонних плит з профільованим настилом, а також раціональних типів анкерів для забезпечення сумісної роботи компонентів комплексного перерізу.

Об’єкт дослідження. Сталезалізобетонні конструкції із застосуванням зовнішнього армування різними видами профільованого настилу.

Предмет досліджень. Визначення параметрів напружено-деформованого стану сталезалізобетонних конструкцій будівель та споруд із різними видами профільованого настилу.

Методи дослідження. Експериментально-теоретичні методи; методи механіки твердого деформівного тіла; загальні методи теорії пружності та пластичності; чисельно-аналітичний метод скінчених елементів (МСЕ).

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

– на підставі виконаного огляду досліджень розроблено математичну модель напружено-деформованого стану сталезалізобетонних перекриттів із застосуванням зовнішнього армування різними видами профільованого настилу;

– отримані нові експериментальні дані про роботу та напружено-деформований стан під короткочасним навантаженням елементів сталезалізобетонних плит з профільованим настилом, які підтверджують підвищення міцності та зниження деформативності за рахунок сумісної роботи компонентів комплексного перерізу;

– на підставі порівняльних варіантів НДС сталезалізобетонних плит перекриття з різними видами зовнішнього армування по профільованому настилу – отримані нові експериментальні дані про дійсну роботу та напружено-деформований стан під короткочасним навантаженням елементів сталезалізобетонних плит перекриттів з профільованим настилом, які підтверджують підвищення міцності та зниження деформативності за рахунок сумісної роботи компонентів комплексного перерізу: сталевих профільованих настилу, бетону плити;

– порівняно різні варіанти з’єднання профнастилу з плитою перекриття.

Практичне значення результатів полягає у застосуванні безанкерного безклеєвого з’єднання при монтажі виробничого устаткування та технологічних комунікацій за рахунок встановлення короткочасної та втомної міцності безклеєвого сталезалізобетонного з’єднання. Результати роботи дозволяють виконувати інженерний розрахунок даного типу з’єднань і конструювання з’єднання сталі з бетоном при дії на нього різних видів навантажень.

Отримані результати роботи впроваджено та застосовано в діяльності: ТОВ «Геофіпольсьльбуд», ТОВ «ІнвіктаФасадБуд», ТОВ «Будівельна компанія «Недра» при будівництві об’єктів різного призначення та в навчальному

процесі Національного авіаційного університету Факультету архітектури, будівництва та дизайну на кафедрі комп'ютерних технологій будівництва.

Особистий внесок здобувача. Огляд літератури та існуючих конструкцій з'єднань за тематикою дослідження, більшість лабораторних механічних випробувань та наступні розрахунки, статистична обробка їх результатів і отримання експериментальних залежностей, натурні дослідження, розроблення скінченно-елементних моделей в середовищі ПК «ЛІРА-САПР», САПФІР, Allplan, впровадження результатів досліджень на промислові підприємства та формулювання висновків виконані автором особисто.

Усі результати, що наведені в дисертаційній роботі та представлені до захисту, одержані здобувачем особисто або за його безпосередньою участю. Особистий вклад здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві: [1, 7] – проведено аналіз використання сталезалізобетонних конструкцій та методів їх розрахунку, що являють собою сталезалізобетонні згинальні елементи, армовані листовою арматурою без захисного шару та відкривають нові напрямки розвитку будівельних конструкцій; [2] – запропоновано способи застосування профільного настилу при реконструкції будівель та споруд; [3] – розроблено методику розрахунку стиснутих і гнутих сталевих залізобетонних конструкцій у збереженій опалубці; [4] – запропонований алгоритм організації впровадження конструкцій з профільованого настилу при реконструкції будівель та споруд; [5] – проведено порівняння особливостей роботи залізобетонних плит по профільованому настилу; [8, 11] – проведено оцінку критеріїв міцності залізобетонних перекриттів; [10] – проведено чисельне моделювання та порівняльний аналіз результатів розрахунку сталезалізобетонних плит з профільованим настилем.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційного дослідження доповідались на 5-ти науково-практичних конференціях у провідних вищих навчальних закладах України, а саме на міжнародних науково-практичних конференціях «Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація» (м. Полтава, 24–25 жовтня 2018 р.); «Міське середовище – XXI ст. Архітектура. Будівництво. Дизайн» (м. Київ, НАУ, 14–15 березня 2018 р., “Numerical methods of calculation of strain-stress state of combined elements and their usage for calculation of plating from profiled sheeting”); «Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація» (м. Полтава, 24–25 жовтня 2016 р.); «Експлуатація та реконструкція будівель та споруд» (м. Одеса, ОДАБА, 13–15 жовтня 2015 р.); «АВІА-2015» (м. Київ, НАУ, 28–29 квітня 2015 р., «Розрахунок зігнутих сталезалізобетонних конструкцій в незнімній опалубці»).

Публікації. Матеріали дисертації опубліковано у 11 наукових працях, з них: 6 (шість) статей у фахових збірниках наукових праць і виданнях, затверджених МОН України; в тому числі 1 стаття – у виданні, яке включено до Міжнародних наукометричних баз (Index Copernicus); 3 статті у збірниках праць за матеріалами конференцій; 2 публікації, які додатково відображають результати дисертаційного дослідження.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із анотацій, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 170 сторінках і містить 136 сторінок основного тексту, 22 таблиці, 75 рисунків, 149 найменувань літератури, 5 додатків.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі комп'ютерних технологій будівництва Національного авіаційного університету у 2014–2019 роках під керівництвом доктора технічних наук, професора Лапенка О. І.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, наведено відомості про зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет досліджень та перелічено використовувані методи. Визначено наукову новизну роботи, практичне значення одержаних результатів, подано відомості про впровадження результатів роботи. Зазначений особистий внесок здобувача, наведено інформацію про апробацію результатів роботи, публікації за темою дисертаційного дослідження, описано структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** розглянуто і вивчено сучасний стан досліджень НДС сталезалізобетонних плит перекриття із різними видами профільованого настилу. Наведено загальні відомості про розповсюджені в практиці будівництва типи сталезалізобетонних конструкцій, їх переваги та недоліки, відомі методи їх розрахунку та особливості роботи під навантаженням.

Питання сталезалізобетонних конструкцій армованих листовою арматурою, які працюють на згин розглядалися в роботах Т. Н. Азізова, В. М. Барабаша, А. П. Васильєва, Р. В. Воронкова, Ф. Е. Клименка, В. І. Козаря, О. А. Крупченка, О. І. Лапенка, О. В. Семка, О. В. Сколибога, Л. І. Стороженка, Е. Д. Чихладзе, R. Bergman, J. Nie, K. Sennah та інших.

Поява в будівельній практиці сталезалізобетонних конструкцій, як самостійного напрямку, що дозволяють повноцінно використовувати переваги залізобетону і металу в єдиній конструкції, не є настільки давньою подією в порівнянні з появою повністю сталевих конструкцій або повністю залізобетонних. Проте продиктовані економічною доцільністю, вимоги щодо економії металу стали важливим фактором при появі принципово нових конструктивних форм.

У світовій практиці висотного будівництва в будівлях зі сталевим каркасом міжповерхові перекриття представлені, як правило, сталезалізобетонними конструкціями, в яких профільований сталевий настил використовується в якості незнімної опалубки та при певних умовах може виконувати функції зовнішньої робочої арматури монолітної плити перекриття.

Все це дозволило відмовитися від звичайної поздовжньої розтягнутої арматури в прольоті взагалі або використовувати її для додаткового збільшення несучої здатності плити. У роботу на сприйняття зусиль на розтяг профнастил включається за допомогою елементів його кріплення в поєднанні з нанесенням на стінки гофри спеціальних насічок (виштамповок) і іноді і просто отворів,

повсюдно застосовуються на батьківщині профнастилу - в США. Різноманітні варіанти профнастилу для сталобетонних перекриттів представлені на рис. 1.

Проведено аналіз відомих аналітичних методів опису НДС сталезалізобетонних плит перекриття з профільованим настилом, серед яких сучасні інженерні методи, що базуються на гіпотезі плоских перерізів та неklasичні аналітичні моделі НДС, що враховують деформації зсуву, продемонстровано їх можливості і обмеження при використанні для дослідження НДС сталезалізобетонних плит перекриття з профільованим настилом.



Рис. 1. Варіанти профнастилу для сталобетонних перекриттів з різноманітними виштампівками

Досліджено можливість використання сучасних чисельних методів та програмних комплексів для розрахунку сталезалізобетонних плит перекриття з профільованим настилом, зокрема методу скінчених елементів (МСЕ). Виконано порівняльний аналіз сучасних програмних комплексів, що реалізують МСЕ.

На основі виконаного порівняльного аналізу особливостей застосування різних моделей для розрахунку сталезалізобетонних плит з профільованим настилом сформульовано задачі та розроблено структурно-логічну схему досліджень, що включає послідовні взаємопов'язані етапи й процедури: галузь застосування конструкцій, теоретичні дослідження, експериментальні дослідження та практичні рекомендації.

У другому розділі проведено визначення параметрів напружено-деформованого стану (НДС) сталезалізобетонних плит перекриття з профільованим настилом.

Розрахунок конструкцій у стадії виготовлення зводиться до розрахунку профільованого настилу як сталевих елементів, що згинається. Основними навантаженнями при цьому є: власна вага сталевих елементів, вага робітників з інструментом і підсобним матеріалом, вага свіжоукладеного бетону. Розрахунок виконується за несучою здатністю та деформативністю.

У стадії експлуатації конструкція розраховується як залізобетонна з зовнішньою профільованою арматурою, що працює як монолітний переріз. Розрахунок сталезалізобетонної плити повинен виконуватися за міцністю нормальних і нахилених перерізів, а також за міцністю зв'язку листової арматури з бетоном.

Зроблено розрахунок сталезалізобетонних плит по профільованим настилам за граничними станами першої та другої групи.

Для виконання розрахунку сталева частина і профільований настил розрахункового перерізу розбиваються на m і l шарів, відповідно, в межах висоти яких, напруження вважаються постійними, а розподіл деформацій по висоті сталевго елемента за лінійним законом.

Відповідно до прийнятих передумов НДС розрахункового перерізу при згині описується системою рівнянь:

$$F(\aleph, \varepsilon_1) = 0 \quad (1)$$

$$\Phi(\aleph, \varepsilon_1) - M = 0 \quad (2)$$

У загальному вигляді функції $F(\aleph, \varepsilon_1)$ і $\Phi(\aleph, \varepsilon_1)$ записуються наступним чином:

$$F(\aleph, \varepsilon_1) = \int_F \sigma_c(x) dF + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} + \sum_{m=1}^m \sigma_{am} A_{am} + \sum_{l=1}^l \sigma_{vl} A_{vl} \quad (3)$$

$$\Phi(\aleph, \varepsilon_1) = \int_F \sigma_c(x) dF z + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} z_{si} + \sum_{m=1}^m \sigma_{am} A_{am} z_{am} + \sum_{l=1}^l \sigma_{vl} A_{vl} z_{vl}. \quad (4)$$

Після інтегрування і підстановки границь інтегрування отримуємо систему нелінійних алгебраїчних рівнянь з невідомими – $\varepsilon_{c(1)}$, ε і \aleph (або $\varepsilon_{a(2)}$).

Нелінійна залежність між σ_c і ε_c у бетоні описується рівнянням:

$$\frac{\sigma_c}{f_{(ck),(cd)}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}. \quad (5)$$

Напруження в довільному шарі армування і сталевго профілю визначаються за діаграмами деформування арматури і конструкційної сталі виходячи з того, що деформації визначаються за формулами:

– для арматури

$$\varepsilon_{si} = \aleph(x_1 - z_{si}) + \varepsilon_{si,0}; \quad (6)$$

– для конструкційної сталі

$$\varepsilon_{am} = \aleph(x_1 - z_{am}) + \varepsilon_{am,0}; \quad (7)$$

– для профнастила

$$\varepsilon_{vl} = \aleph(x_1 - z_{vl}) + \varepsilon_{vl,0}. \quad (8)$$

При використанні діаграми деформування бетону всього може реалізуватись декілька форм рівноваги перерізу. Найбільш часто зустрічаються дві форми рівноваги: – епюра напружень в бетоні і профнастиллі має форму прямокутної трапеції; – епюра напружень в бетоні і профнастиллі має форму прямокутника. Для обох форми рівноваги межею існування є умови:

$$x_1 > h_c, \varepsilon_{c3,cd} \leq \varepsilon_{c(1)} \leq \varepsilon_{cu,3,cd} \quad \text{і} \quad \varepsilon_a \leq \varepsilon_{ay}(\sigma_a + E_a \varepsilon_a).$$

Для розв'язання задачі необхідно мати такі вихідні дані: параметри перерізу; параметри діаграми деформування бетону – $a_{fcd}, E_{cd}, \sigma_{cu}(\beta), \varepsilon_{cu1}$ або $\varepsilon_{cu3}, \varepsilon_{c(1)}$; коефіцієнти полінома a_k ; параметри армування стрижневою арматурою – R_{si}, E_{si}, A_{si} ; відстань від верхньої грані перерізу до i -го шару армування z_{si} і сталеві частини перерізу z_{ai} ; початкові деформації в i -му стержні арматури $\varepsilon_{si,0}$ і m -му шарі сталеві частини перерізу $\varepsilon_{ami,0}$ і l -му шарі профільованого настилу.

При визначенні напружено-деформованого стану перерізу задача розв'язується у трьох постановках:

- при заданих зусиллях N_{Ed} та M_{Ed} необхідно визначити кривизну в перерізі κ і деформації ε ;
- при заданих величинах кривизни в перерізі і діючого в ньому осевого зусилля N_{Ed} визначити величину згинального моменту M_{Ed} ;
- необхідно побудувати повну криву стану перерізу аж до руйнування бетону.

Розрахункову несучу здатність M_{Rd} визначаємо із заміною $N_{c,f}$ на:

$$N_c = \tau_{u,Rd} b L_x \leq N_{cf} \quad (9)$$

і підстановкою:

$$x = h - 0,5x_{pl} - e_p + (e_p - e) \cdot \frac{N_c}{A_{pe} f_{yp,d}}, \quad (10)$$

де $\tau_{u,Rd} = \tau_{u,Rk} / \gamma_{VS}$ – розрахунковий опір зсуву; L_x – відстань від поперечного перерізу, що розглядається, до найближчої опори, мм; γ_{VS} – коефіцієнт надійності для граничних станів за несучою здатністю, що приймається рівним 1,25.

При визначенні несучої здатності значення N_c можна збільшити на μR_{Ed} при умові, що $\tau_{u,Rd}$ визначається із урахуванням додаткової несучої здатності на поздовжній зсув, спричиненої опорною реакцією, де R_{Ed} – опорна реакція, а μ – номінальний коефіцієнт, який може прийматися рівним 0,5.

Поздовжній зсув у плитах із анкеруванням кінців визначається якщо доля інших з'єднувальних елементів у несучу здатність на поздовжній зсув розраховується на зусилля розтягу у сталевому настилі, яке отримано для I -ї групи граничних станів.

Розрахункову несучу здатність на поздовжній зсув плит із анкеруванням кінців типів (3) і (4) відповідно рис. 2 можна визначати методом часткового з'єднання, приймаючи зусилля в бетоні N_c , збільшене на несучу здатність анкерування кінців.

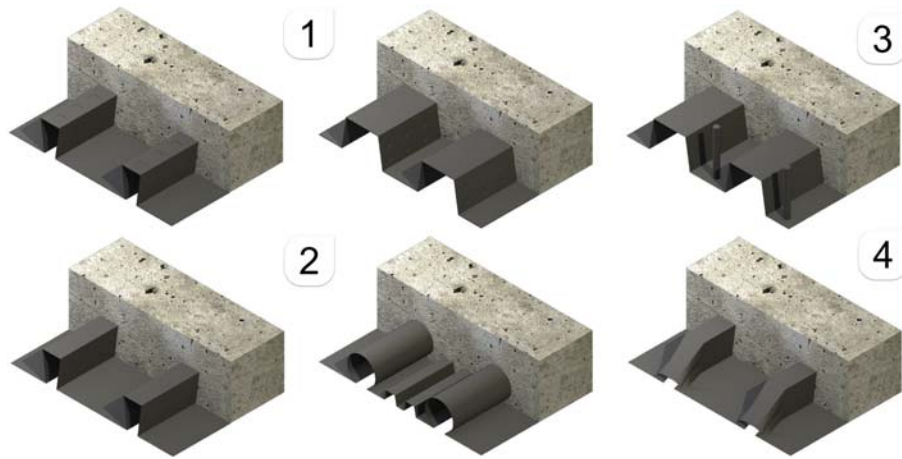


Рис. 2. Типові форми забезпечення зчеплення у сталезалізобетонних плитах: 1 – механічне зчеплення; 2 – фрикційне зчеплення; 3 – анкерування кінців наскрізним приварюванням болтів; 4 – анкерування кінців деформуванням гофрів

Розрахункову несучу знатність $P_{pb,Rd}$ болтів, приварених крізь сталевий настил, які використовуються для анкерування кінців, приймається як найменше із їх несучої здатності та значення, отриманого із виразу:

$$P_{pb,Rd} = k_{\phi} d_{do} t f_{yp,d} \cdot \quad (11)$$

При $k = 1 + a/d_{do} \leq 6,0$.

Розрахунок сталезалізобетонних плит по профільованим настилам за граничними станами другої групи не повинен перевищувати $\delta_{s,max}$.

Величина $\delta_{s,max} = L/180$,

Прогини сталезалізобетонної плити від прикладеного до неї навантаження визначаються із застосуванням пружного розрахунку.

У третьому розділі проведено експериментальне дослідження сталезалізобетонних плит перекриття з профільованим настилом та їх компонентів, метою яких було отримання даних щодо особливостей роботи під короткочасним навантаженням, характеру НДС, міцності та деформативності такого типу конструктивних елементів, а також верифікації аналітичних та чисельних моделей їх розрахунку. В розділі наведено дані щодо прийнятої методики, задач та програми експериментальних досліджень, а також аналіз отриманих результатів.

Для виготовлення дослідних зразків використовували профільований лист, гнучку арматуру, болтові анкери з різбовою нарізкою та бетон. Окрім того було випробувано зразки профільованого настилу без бетону (Н-85, Н-114-600).

Під час проведення експерименту особливу увагу було приділено визначенню фізико-механічних властивостей матеріалів дослідних зразків – профільованого настилу та гнучкої арматури, бетону та контакту бетону з профільованим настилом з виштамповками. Для цього було виготовлено серію дослідних зразків, що склалися зі сталевих листів, вирізаних з профільованого настилу, та бетонної суміші, яка вилівалася в форми, закріплені на сталевому листі симетрично з обох боків (для отримання умов чистого зсуву). Експеримент припинявся, коли хоча б один із бетонних кубиків

відшаровувався від сталевго листа. Отримані фізико-механічні властивості матеріалів лягли в основу аналітичних розрахунків та розрахунків за методом скінчених елементів.

При складанні програми експериментальних досліджень враховано, що несуча здатність сталезалізобетонних елементів залежить від геометричних розмірів (геометричних характеристик сталевго профільованого елемента, пластин та бетонної частини), фізико-механічних властивостей матеріалів (сталі, бетону) та способу забезпечення сумісної роботи складових частин комплексних конструкцій.

Всього було випробувано 24 дослідних зразки.

Метою проведення експериментальних випробувань сталезалізобетонних елементів було дослідження:

- впливу наявності та профілів виштамповок для з'єднання бетонної та сталевго частин сталезалізобетонних елементів на їх несучу здатність та деформативність;
- сумісної роботи двох складових комплексних конструкцій при застосуванні виштамповок та без них;
- розвитку тріщиноутворення в бетоні та пластичних властивостей сталевго частини;
- прогинів і деформацій на різних ступенях завантаження;
- характеру руйнування дослідних зразків при різних характерах завантаження.

Програма експериментальних досліджень включала в себе вивчення зміни напружено-деформованого стану дослідних зразків при дії згинального моменту елементів плит по профнастилу серій П1, П2, П3;

В ході вивчення характеру роботи досліджуваних елементів було заплановано отримати залежності відносних деформацій та прогинів від навантаження, графіки розподілу деформацій по довжині зразків та реальну картину руйнування. Всі етапи виконання програми експерименту фіксувалися цифровою фотозйомкою.

Для доведення можливості використання в будівництві цього методу були запроєктовані дослідні зразки монолітних плит по профільованому настилу – прямокутні у плані 800×1200 мм (рис. 3), які утворені несучим профнастилом Н85-850-0,8 з цинковим покриттям товщиною 275 г/м², поверх якого влаштована монолітна бетонна плита товщиною 40 мм із заповненням гофрів. В двох серіях зразків П2 та П3 був використаний профільований настил з виштамповками різного профілю, а в зразках П3 були використані арматурні каркаси. Ще однією відмінністю між зразками П2 та П3 були умови зберігання, а саме зразки П2 були випробувані після перебування в лабораторних умовах, а зразки П3 протягом 365 діб знаходилися під дією атмосферних впливів.

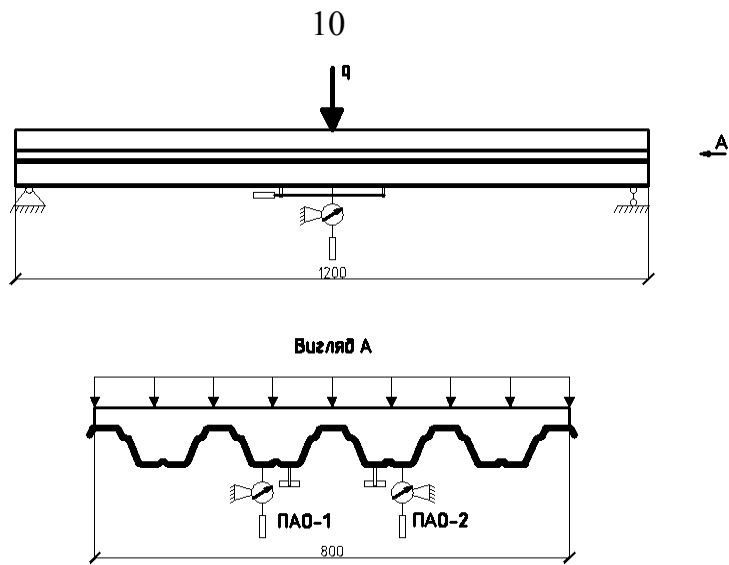


Рис. 3. Конструкція дослідних зразків плит по профільованому настилу:
 1 – профнастил Н75-750-0,8; 2 – монолітна бетонна плита; 3 – з'єднання

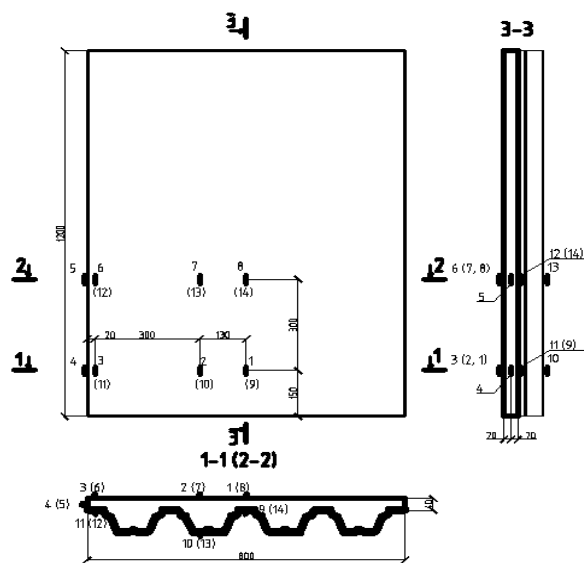


Рис. 4. Схема розміщення електротензорезисторів для елементів плит по профнастилу



Рис. 5. Розміщення електротензорезисторів при дослідженні елементів плит по профнастилу

Для визначення фізико-механічних властивостей складу бетону, одночасно з відповідними зразками виготовлялись три комплекти стандартних бетонних кубиків (100×100×100 мм) та призм (100×100×400 мм). Після виготовлення всі зразки зберігались у лабораторних умовах при температурі +15...18°C з відносною вологістю 70...75 % до набору проектної міцності бетону, а потім плити ПЗ були переміщені на відкрите повітря.

Для визначення фізико-механічних характеристик міцності і деформативності листової сталі були відібрані листові смуги, що відрізані від залишків листів даної партії.

Випробування сталевих смужок проводились на трьох зразках даної партії.

Згідно прийнятого плану експериментальних досліджень передбачалося вивчення роботи та особливостей деформування елементів плит із профільованим зовнішнім армуванням, в яких сумісна робота бетону і сталі забезпечувалася шляхом застосування профнастилу з виштампівками. Використане дослідне обладнання дало змогу в лабораторних умовах вивчити їх роботу під ступеневим статичним навантаженням та отримати характеристики напружено-деформованого стану на будь-якій стадії завантаження.

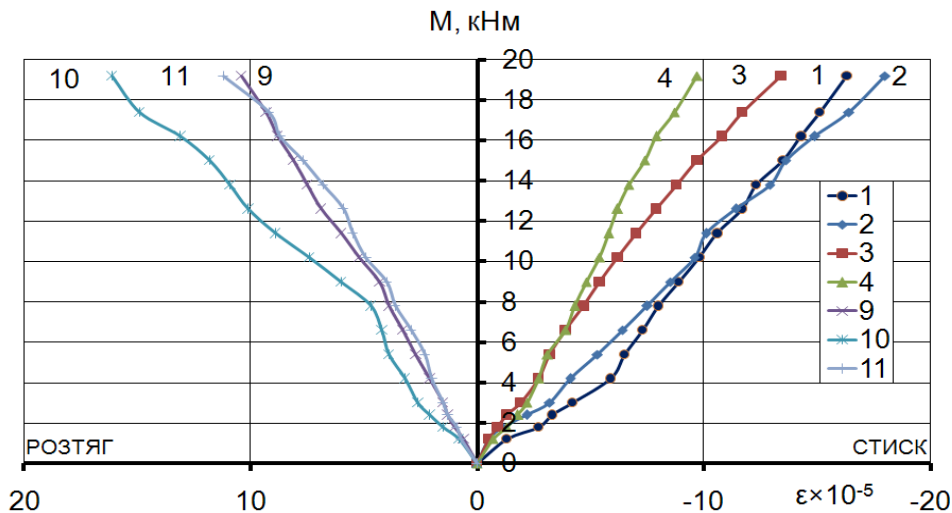


Рис. 6. Залежність відносних деформацій від навантаження в перерізі 1–1 зразка ПЗ заміряні електротензорезисторами

Використана схема розташування електротензорезисторів дала можливість їх раціонального застосування з урахуванням симетрії досліджуваних зразків. Таким чином можна вважати, що значення деформацій отримані на 1/4 частині експериментального зразка будуть справедливими і для частин симетричних досліджень.

Отримані графіки показали, що під час зміни навантаження відбувається перерозподіл деформацій як вздовж, так і впоперек зразка, тобто на певному ступені завантаження найбільш деформованою була одна фібра, то під час наступного ступеню виявляється зовсім інша. Це характерно як для бетону, так і для сталі, що говорить про їх сумісну роботу протягом усього періоду дослідження.

Випробування запропонованих зразків дали змогу довести ефективність застосування виштампівок різного виду з бетонним блоком, тобто наявність

такого з'єднання мала значний вплив на несучу здатність та деформативність дослідних зразків.

В результаті проведення експериментальних досліджень було підтверджено ефективність застосування запропонованих автором конструкцій анкерування у вигляді виштамповок на профнастил у порівнянні з плитою без додаткових засобів анкерування), які можна рекомендувати як основні при проектуванні комбінованих конструктивних елементів, що поєднують у собі матеріали, фізико-механічні характеристики яких суттєво відрізняються.

У **четвертому розділі** зроблено чисельне моделювання та порівняльний аналіз результатів розрахунку аналітичними і чисельними методами з даними експериментальних досліджень сталезалізобетонних плит з профільованим настилом

Теоретичною основою ПК ЛПА є метод скінченних елементів (МСЕ), реалізований у формі переміщень. Вибір саме цієї форми пояснюється простотою її алгоритмізації і фізичної інтерпретації, наявністю єдиних методів побудови матриць жорсткості і векторів навантажень для різних типів кінцевих елементів, можливістю обліку довільних граничних умов і складної геометрії розраховується конструкції.

Для плоского напруженого стану деформації та напруження зв'язані між собою залежностями:

$$e_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_y), \quad (12)$$

$$e_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu\sigma_x), \quad (13)$$

$$e_x = \frac{1}{G}\tau_{xy}, \quad (14)$$

де E – модуль Юнга; ν – коефіцієнт Пуассона; G – модуль зсуву. Для випадку плоскої деформації E замінюється на $\frac{E}{1-\nu^2}$, ν – на $\frac{\nu}{1-\nu}$ та вираховується

$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y).$$

Врахування нелінійної роботи конструкції дозволяє здійснювати побудову адекватних розрахункових схем, виявляти додаткові резерви несучої здатності, знижувати матеріаломісткість забезпечувати конструктивну безпеку, здійснювати моделювання процесів життєвого циклу конструкцій – процес навантаження, процес зведення, процес зміни ПДВ конструкції в часі, стійкість від прогресуючого обвалення.

При розрахунку конструкцій розрізняють фізичну, геометричну, конструктивну і генетичну нелінійності.

Фізична нелінійність обумовлена урахуванням в розрахунку нелінійної залежності між компонентами узагальнених напруг і деформацій $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$ і характеризує роботу матеріалу конструкції в пружно-пластичній області.

Геометрична нелінійність має місце, коли переміщення конструкції викликають значних змін її геометрії, так що рівняння рівноваги доводиться складати з урахуванням зміни форми і розмірів конструкції, за деформованою схемою.

Конструктивна нелінійність виникає внаслідок конструктивних особливостей системи, що викликають зміну розрахункової схеми в процесі її деформування (змінюються умови закріплення: випадають або утворюються нові зв'язки, вимикаються з роботи або включаються в неї ті чи інші елементи конструкції).

У ПК ЛІРА-САПР для вирішення фізично і геометрично нелінійних, а також завдань з наявністю конструктивної нелінійності і попереднього напруження призначений нелінійний процесор. При вирішенні завдань, що моделюють пружно-пластичну роботу матеріалу, що описується діаграмою Прандтля, також застосовується кроково-ітераційний метод.

Дослідження НДС МСЕ проводилося для усіх типів плит, що досліджувалися експериментально та у кожній їх точці. При цьому було визначено порядок підготовки тривимірної геометрії до накладання сіток; порядок застосування моделей матеріалів, типів скінчених елементів, навантажень та граничних умов, контакту матеріалів та іншого.

Обов'язковою умовою при моделюванні є наявність контактної шару між бетоном та профнастилом, з метою змоделювати розшарування та вивчити його вплив на параметри НДС плит.

Побудову геометричної моделі виконували безпосередньо у програмному комплексі ЛІРА-САПР, побудувавши лінію профілю і «витягнувши» її у зв'язані між собою площини та поверхні. Довжина профнастилу відповідала довжині експериментальних зразків і дорівнювала 1500 мм.

Аналогічний підхід використовували і у випадку моделювання профнастилу при дослідженнях плит.

Додатково для плит П-1, П-2, П-3 була побудована геометрична модель профнастилу у вигляді тривимірного тіла. Модель будувалася як площина товщиною 0,7 мм, що відповідає профілю профнастилу, яка потім «витягувалася» на довжину 1500 мм засобами ЛІРА-САПР. Для розрахунку плит використовували усі типи СЕ – лінійні, плоскі та об'ємні. Відповідно до типу СЕ будувалися геометричні моделі для складових плит. Для бетонного масиву і контакту використовували тривимірні тіла; для профнастилу – крайні нижні площини вже побудованого контакту; для арматури – лінії, що утворювалися на перетині січних площин.

Побудова геометричних моделей виконувалася за допомогою засобів ЛІРА-САПР. Основою для побудови був профіль профнастилу, на базі якого утворювали необхідні площини поперечного перерізу плити. Після цього площини «витягували» у тіла.

Кількість тіл – 1239 (910 для моделі профнастилом, який моделюється плоскими СЕ).

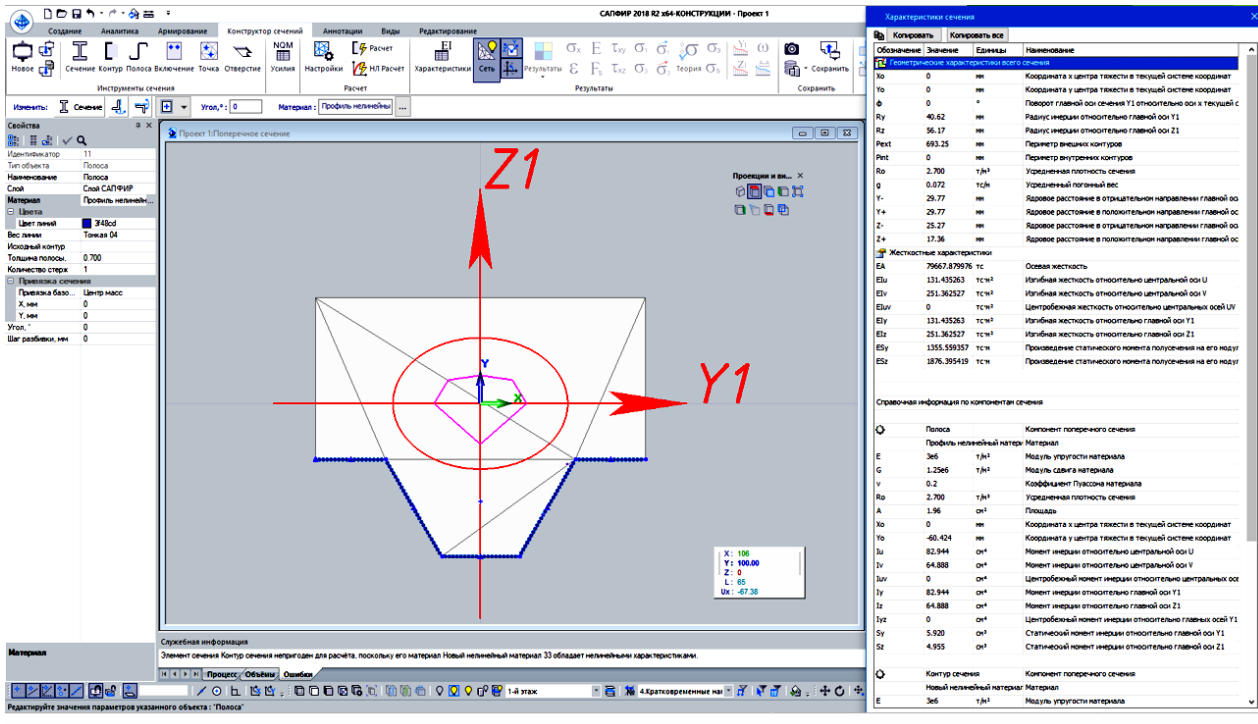


Рис. 7. Геометричні характеристики перерізу плити П-1

Моделювання матеріалів і контакту базувалося на результатах експериментального визначення фізико-механічних характеристик та на поведінці матеріалів під час навантаження, про що йдеться у третьому розділі.

При моделюванні МСЕ для кожного матеріалу необхідно задати модель його поведінки (роботи). Вибір тієї, чи іншої моделі роботи матеріалу залежить як від типу розрахунку, який передбачається використовувати для дослідження НДС у ЛІРА-САПР, так і від очікуваних умов роботи і поведінки матеріалу. Найбільш поширеними моделями є лінійно-статична, нелінійно-пружна, пружно-пластична (білінійна) та пластична. В нашому випадку для дослідження усіх конструкцій використовувався як лінійний, так і нелінійний статичний розрахунок. Відповідно до останнього, частина або усі матеріали повинні задаватися як нелінійні із зазначенням моделі нелінійної поведінки. Обраний для кожного із матеріалів тип нелінійності зазначений нижче.

Прийняті для розрахунків за МСЕ діаграми деформування матеріалів задавалися у ЛІРА-САПР у вигляді функцій $s - e$, після чого вводилися в якості додаткових характеристик у модулі пружності матеріалів.

Для зручності аналізу результати розрахунків викладені у наступному порядку: профільований настил; плита П-1, (згруповані, в схожі за будовою), плита П-2, плита П-3.

Практичні рекомендації по моделюванню НДС сталезалізобетонних плит з профільованим настилом МСЕ

1. На підставі виконаних розрахунків розроблені наступні практичні рекомендації по моделюванню НДС сталезалізобетонних плит з профільованим настилом МСЕ:

2. Використовувати у розрахунках СЕ у формі гексадрів та призм для чого перетворити (розбити) геометрію на п'яти або шестигранники.

3. Для моделювання кривих застосовувати розрізи при перетині площин із кривими поверхнями.

4. Задавати реальні моделі деформування матеріалів криві т. ін., і не обмежуватися тільки початковими модулями пружності.

5. При моделюванні матеріалів враховувати їх руйнування у вигляді незакінченого переміщення при сталому навантаженні (горизонтальна пряма), що відповідає границі міцності або текучості.

6. Використовувати нелінійні моделі роботи матеріалів – пружно-пластичну або нелінійно-пружну, разом із нелінійним статичним розрахунком.

7. Залежно від умов розрахунку використовувати плоскі або об'ємні СЕ для моделювання профнастилу. Якщо необхідно дослідити початковий момент втрати стійкості і її форму, то застосовується 3D СЕ. У випадку використання 2D СЕ для моделювання роботи профнастилу накладали сітки 2D СЕ на відповідні площини і поверхні.

8. Для моделювання бетону використовувати 3D СЕ.

9. Для моделювання арматури використовувати 1D СЕ. Елементи накладати на контактуючі грані тіл, де повинна бути розташована арматура, причому тільки на одну грань (лінію) із декількох контактуючих.

10. Накладати сітку одразу на усі тіла з однією властивістю, після чого змінювати властивості елементів тих тіл, де необхідно. Це дозволяє автоматично отримувати зшиті сітки. Спочатку накладати сітки 3D СЕ, потім 2D СЕ і в кінці 1D СЕ.

11. Виконувати перевірку зв'язаності сіток.

12. Використовувати нелінійний розрахунок із невеликим кроком навантаження і виводом усіх шуканих даних.

13. Проводити аналіз результатів по окремих компонентах із застосуванням інтерактивних перерізів.

Порівняльний аналіз результатів розрахунку аналітичними і чисельними методами з даними експериментальних досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння результатів розрахунку плит П-1, П-2, П-3 з експериментальними даними

Пли-та	Експер.		Нелінійний розрахунок						По-хиб-ка, %	Лін. розр.		По-хиб-ка, %
	Нав-ня на посл. ступ., Н	Про-гин, мм	Нав-ня на посл. ступ., Н	№ вузла	Про-гин, мм	№ вузла	Про-гин, мм	Сер., мм		Макс. нав-ня, Н	Про-гин, мм	
П-1	11480	4,88	11536	19406	5,36	3595	4,12	4,74	–	16480	4,63	–
	12480	5,27	12360		5,84		4,48	5,16				
Апр.	11821	5,01	11821	–	5,53	–	4,25	4,89	2,4	11821	3,32	34
П-2	11480	4,41	11814	1261	4,17	2149	4,12	4,15	–	21480	6,52	–
	12480	4,72	12888		4,68		4,55	4,62				
Апр.	11821	4,52	11821	–	4,17	–	4,12	4,14	8,4	11821	3,59	21
П-3	11480	4,06	11088	13461	3,70	37236	3,71	3,71	–	18480	5,91	–
	12480	4,41	12012		4,04		4,04					
Апр.	11821	4,18	11821	–	3,97	–	3,97	3,97	1,0	11821	3,0	10

Після апроксимації даних підтвердився висновок розділу 2, про те, що кількість вертикальної арматури не впливає на роботу плит при лінійному розрахунку – прогини плит П-1, П-2, П-3 при лінійному розрахунку виявилися однаковими. При нелінійному розрахунку спостерігається незначний вплив кількості арматури на деформований стан плит, що виражається у зменшенні прогинів із 4,89 мм до 4,07 мм.

Що стосується порівняння експериментальних досліджень і розрахунку профнастилу, то вони практично збігаються між собою. Дивлячись на це, нелінійний розрахунок профнастилу необхідно проводити у випадках, коли необхідно детально вивчити роботу профнастилу, у тому числі і втрату його стійкості. Якщо умови досліджень цього не передбачають, то цілком достатньо обмежитися лінійним розрахунком профнастилу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено актуальну науково-технічну задачу з оцінки методів розрахунку напружено-деформованого стану сталезалізобетонних плит перекриття з профільованим настилом. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Проведено порівняльний аналіз сталезалізобетонних плит перекриття із застосуванням зовнішнього армування різними видами профільованого настилу.

2. Дано оцінку існуючим інженерним методам розрахунку сталезалізобетонних плит.

3. Експериментально-теоретичним шляхом доведено ефективність застосування сталезалізобетонних плит із застосуванням зовнішнього армування профнастилу з виштампівками.

4. Застосування при моделюванні методом скінчених елементів спеціального «контактного шару», що моделює зчеплення між компонентами комплексного перерізу, дало змогу отримати коректні моделі роботи сталезалізобетонних важких плит, з чітким визначенням моменту зсуву між важким бетоном та сталевим профнастилом, та зафіксувати втрату його стійкості.

5. За результатами чисельного аналізу напружено-деформованого стану методом скінчених елементів доведено неефективність використання гнучкої вертикальної арматури без жорсткого з'єднання із масивною металевою основою при застосуванні в важкобетонних плитах із профнастилом, а також використання вертикальної або похилої арматури довжиною, яка дорівнює висоті перерізу, оскільки арматура працює тільки у нижній половині плити, де виникають великі дотичні напруження. На основі проведеного аналізу рекомендована довжина вертикального анкеру становить не більше ніж $2/3$ висоти профнастилу.

6. Виконано порівняння можливостей і обмежень інженерних розрахунків, зсувної моделі та методу скінчених елементів та дано рекомендації по їх застосуванню, відповідно до умов розрахунку. З'ясовано, що найбільш ефективним є метод скінчених елементів. Розрахунки за допомогою МСЕ

мають суттєво кращу збіжність з експериментом (найбільша похибка досягає 8,4% для плити П-2 при нелінійному розрахунку). Дослідження НДС плит МСЕ дозволяє досліджувати відшарування матеріалів, а також виявляти моменти втрати стійкості поличками профнастилу. МСЕ доцільно застосовувати у випадках детальних досліджень параметрів НДС по усьому об'єму плити.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових фахових виданнях України

1. Лапенко О. І. Метод розрахунку будівельних конструкцій з різними видами профнастилу / О. І. Лапенко, Д. С. Скребнева // Проблеми розвитку міського середовища: Наук.-техн. збірник. – 2016. – Вип. № 2 (16). – С. 27–34.

2. Лапенко О. І. Застосування профільного настилу при реконструкції будівель та споруд / О. І. Лапенко, Д. С. Скребнева // Вісник ОДАБА. – 2016. – Одеса : 2016. – Вип. № 61. – С. 243–248.

3. Skrebnieva D. S. Calculation of compressed and bended steel reinforced concrete constructions in the retained formwork / O. I. Lapenko, D. S. Skrebnieva, O. V. Shevchenko, N. Masud // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – Харків: УкрДУЗТ, – 2017. – С. 27–34. (Входить до наукометричної бази Index Copernicus)

4. Лапенко О. І. Впровадження конструкцій з профільного настилу при реконструкції будівель та споруд / О. І. Лапенко, Д. С. Скребнева // Вісник Інженерної академії України. – 2017. – Вип. 4. – С. 162–165.

5. Лапенко О. І. Особливості роботи залізобетонних плит по профільованому настилу / О. І. Лапенко, Д. С. Скребнева, С. М. Скребнева, А. І. Глушаниця // Проблеми розвитку міського середовища: Наук.-техн. збірник. – 2017. – Вип. 2 (18). – С. 89–96.

6. Skrebnieva D. S. Numerical methods of calculation of stress-strain state of combined elements of plating from profiled sheeting // Проблеми розвитку міського середовища: Наук.-техн. збірник. – 2018. – Вип. 1(20). – С. 121–128.

Публікації у збірниках праць за матеріалами конференцій

7. Лапенко О. І. Метод розрахунку будівельних конструкцій з різними видами профнастилу / О. І. Лапенко, Д. С. Скребнева // II Міжнародна наук.-практ. конгрес, м. Київ, 15–16 березня 2016 : тези доп. – К., 2014. – С. 165–166.

8. Skrebnieva D. Assessment of strength criteria of rc slabs strengthened with various frp strips/ K. Protchenko, D. Skrebnieva / Міське середовище – XXI сторіччя. Архітектура. Будівництво. Дизайн: II Міжнар. наук.-практ. конгрес, м. Київ, 15–16 березня 2016. – Вип. № 1: тези доп. – К., 2014. – С. 117–125.

9. Skrebnieva D. S. Numerical methods of calculation of stress-strain state of combined elements of plating from profiled sheeting / D. S. Skrebnieva / Міське середовище – XXI сторіччя. Архітектура. Будівництво. Дизайн: III Міжнар. наук.-практ. конгрес, м. Київ, 14–16 березня 2018 : тези доп. – К., 2018. – С. 169–170.

Публікації, які додатково відображають результати дисертаційного дослідження

10. Лапенко О. І. Чисельне моделювання та порівняльний аналіз результатів розрахунку сталезалізобетонних плит з профільованим настилом / О. І. Лапенко, С. М. Скрєбнєва, Д. С. Скрєбнєва // Проблеми розвитку міського середовища: Наук.-техн. збірник. – 2018. – Вип. 1(20). – С.104–110.

11. Skrebnieva D. S. Assessment of strength criteria of rc slabs strengthened with various frp strips / D. S. Skrebnieva, K. V. Protchenko // Проблеми розвитку міського середовища: Наук.-техн. збірник. – 2016. – Вип. № 1(15). – С. 117–125.

АНОТАЦІЯ

Баранецька Д. С. Напружено-деформований стан сталезалізобетонних перекриттів із застосуванням зовнішнього армування різними видами профільованого настилу. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Національний авіаційний університет, Міністерство освіти і науки України, Київ, 2019.

Дисертація присвячена порівняльному аналізу роботи та напружено-деформованого стану (НДС) сталезалізобетонних плит перекриття з різними видами профільованого настилу.

Проведено дослідження НДС сталезалізобетонних плит перекриття з профільованим настилом аналітичними методами за математичною моделлю, що враховує депланацію поперечних перерізів. Удосконалено математичну модель композитних брусів з метою її адаптації для розрахунку НДС сталезалізобетонних плит перекриття з профільованим настилом та отримані залежності, що описують розподіл нормальних і дотичних напружень за висотою перерізу, що дало змогу коректно визначати ширину поперечного перерізу при наявності порожнин.

Проведено експериментальне дослідження сталезалізобетонних плит перекриття з профільованим настилом та їх компонентів, отримано дані щодо особливостей роботи під короткочасним навантаженням, характеру НДС, міцності та деформативності такого типу конструктивних елементів, а також верифікації аналітичних та чисельних моделей їх розрахунку.

Удосконалено методику чисельного моделювання НДС сталезалізобетонних плит з профільованим настилом з урахуванням особливості їх геометрії та роботи під навантаженням.

Ключові слова: напружено-деформований стан, сталезалізобетонні плити з профільованим настилом, сталезалізобетон, метод скінчених елементів, зсув, депланація, анкерування, виштамповки.

АНОТАЦИЯ

Баранецкая Д. С. Напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных перекрытий с применением внешнего армирования различными видами профилированного настила. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Национальный авиационный университет, Министерство образования и науки Украины, Киев, 2019.

Диссертация посвящена сравнительному анализу работы и напряженно-деформированного состояния (НДС) сталежелезобетонных плит перекрытия с различными видами профилированного настила.

Проведено исследование НДС сталежелезобетонных плит перекрытия с профилированным настилом аналитическими методами с математической моделью, учитывающей депланации поперечных сечений. Усовершенствована математическая модель композитных брусьев с целью ее адаптации для расчета НДС сталежелезобетонных плит перекрытия с профилированным настилом и полученные зависимости, описывающие распределение нормальных и касательных напряжений по высоте сечения, что позволило корректно определять ширину поперечного сечения при наличии полостей.

Проведено экспериментальное исследование сталежелезобетонных плит перекрытия с профилированным настилом и их компонентов, получены данные об особенностях работы под кратковременным нагрузкам, характера НДС, прочности и деформативности такого типа конструктивных элементов, а также верификации аналитических и численных моделей их расчета.

Усовершенствована методика численного моделирования НДС сталежелезобетонных плит с профилированным настилом с учетом особенности их геометрии и работы под нагрузкой.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, сталежелезобетонные плиты с профилированным настилом, сталежелезобетон, метод конечных элементов, смещение, депланация, анкеровки, выштамповки.

ABSTRACT

Baranetska D. S. Stress-strain state of the steel reinforced concrete slabs with using reinforcement with different types of profiled steel sheeting. – On the rights of a Manuscript.

The dissertation for the scientific degree of a candidate of technical sciences on the specialty 05.23.01 – building structures, buildings and constructions – National Aviation University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to the comparative analysis of work and strain-stressed state (SSS) of steel reinforced concrete slabs with different types of profiled steel sheeting.

The actuality of theme was substantiated, the purpose and tasks of researches, scientific novelty and practical value of work were formulated, its general characteristic and connection with scientific programs were presented.

The possibility of using modern numerical methods and software complexes for the calculation of steel reinforced concrete slabs with profiled steel sheeting, in particular the finite element method (FEM), was investigated. The comparative analysis of modern software systems implementing FEM is carried out.

The research of SSS of steel reinforced concrete slabs with profiled steel sheeting by analytical methods in a mathematical shear model taking into account the deplanation of cross-sections is devoted.

Improvement of known analytical models of SSS (mathematical shear model) in the framework of these studies was carried out in two stages: first of all the classic model based on the hypothesis of plane cross sections and taking into account the heterogeneity of the cross-section, was adapted to describe the SSS of steel reinforced concrete slabs; at the second stage of the research the functions of distribution of stresses at the height of the cross section were obtained, as well as the ratio for determining the stresses and coefficients of stiffness with taking into account the deformations of shear.

The experimental research of steel reinforced concrete slabs with profiled steel sheeting and their components, the purpose of which was to obtain data on the peculiarities of work under short-time loads, the peculiarities of the SSS, character of SSS, the strength and deformability of this type, structural elements, as well as the verification of analytical and numerical models for their calculation are devoted. The chapter contains data on the accepted methodology, tasks and experimental research program, as well as the analysis of the results.

During the experiment, a special attention was paid to determining the physical and mechanical properties of materials of experimental samples – profiled steel sheeting and flexible reinforcement, reinforced concrete and concrete contact with profiled steel sheeting with punching. For this purpose, a series of prototypes consisting of steel sheets, cut from profiled steel sheeting, and a concrete mixture, which poured into molds fixed on a steel sheet symmetrically on both sides (for obtaining conditions of pure shear) was made. The experiment ended when at least one of the concrete cubes were stripped off a steel sheet.

In the result of experimental researches, the efficiency of the application of the anchor structures proposed by the author the constructions of anchoring in the form of punching on the profiled steel sheeting was confirmed in comparison with the slab without additional anchoring facilities), which can be recommended as the main ones in the design of combined structural elements combining materials whose physical and mechanical characteristics significantly different.

For the creation of finite-element models, the original drawings of profiled steel sheeting and composite steel reinforced concrete slabs were used. The procedure for constructing finite-element models envisaged the development of basic three-dimensional geometric models of profiled steel sheeting and slabs.

Linear and nonlinear static calculations were performed for all models.

The results of the FEM calculations were confirmed by the conclusion obtained in the experimental researches that the most effective is the anchoring method, using anchors in the form of punching, which are located in a horizontal plane and intersect the walls of the profiled steel sheeting.

On the basis of the conducted researches, general conclusions on the application, modeling and calculation of steel reinforced concrete slabs with profiled steel sheeting are formulated, and their results were implemented during the construction of a shopping and entertainment center in Kyiv.

Keywords: stress-strain state, reinforced slab with profiled steel sheeting, reinforced concrete, finite element method (FEM), shear, deplanation, anchoring, punching.

Підп. до друку 27.05.2019. Формат 60x84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 1,16. Обл.-вид. арк. 1,25.
Тираж 100 пр. Замовлення № 89-1.

Видавець і виготівник
Національний авіаційний університет
03680. Київ – 58, проспект Космонавта Комарова, 1

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002