

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

**Гасенко Антон Васильович**



УДК 624.016:624.042.65

**САМОНАПРУЖЕНІ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ**

Спеціальність 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди  
Галузь знань 19 – архітектура та будівництво

Реферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Полтава – 2023

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор  
**Семко Олександр Володимирович**, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», завідувач кафедри будівництва та цивільної інженерії.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Ватуля Гліб Леонідович**, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова Міністерства освіти і науки України, заступник директора з наукової роботи навчально-наукового інституту будівельної та цивільної інженерії;

доктор технічних наук, професор  
**Карпюк Василь Михайлович**, Одеська державна академія будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України, професор кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд;

доктор технічних наук, професор  
**Яковенко Ігор Анатолійович**, Національний університет біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України, професор кафедри будівництва.

Захист дисертації відбудеться 11 квітня 2023 року, о 11<sup>30</sup>, на засіданні спеціалізованої вченої ради Д44.052.02 при Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» за адресою: 36011, м. Полтава, проспект Першотравневий, 24, ауд. 218.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» за адресою: 36011, м. Полтава, проспект Першотравневий, 24 та на сайті:

<https://nupp.edu.ua/page/spetsializovani-vcheni-radi-po-zakhistu-disertatsij.html>

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Т.А. Галінська

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасне будівництво наразі охоплює як нові, так і невідкладно необхідні відновлювальні, викликані воєнними діями, роботи на об'єктах громадської та виробничої інфраструктури України. Відповідно, будівництво потребує впровадження економічних несучих конструкцій із високим рівнем надійності, живучості та ремонтпридатності. Перерахованим вимогам відповідають сталезалізобетонні конструкції.

Сталезалізобетон є одним із ефективних типів комплексних конструктивних елементів. Як відомо, він поєднує сталеві прокатні профілі із залізобетоном, в якому є стержневе армування. Такі конструкції створюються як під час нового будівництва, так і під час підсилення пошкоджених залізобетонних конструкцій сталевим прокатом, а сталевих – бетонуванням. При підсиленні актуальним питанням є включення в роботу існуючої конструкції елементів підсилення шляхом створення попередніх напружень в елементах підсилення.

Однією з переваг застосування сталезалізобетону є можливість створення за допомогою нього нерозрізних статично невизначених розрахункових схем, що мають значно вищий рівень живучості за статично визначені схеми. Ця перевага дозволяє регулювати напружено-деформований стан, підвищити несучу здатність й жорсткість будівельної системи та, як результат, зменшити витрати матеріалів, покращити експлуатаційні характеристики і покращити надійність конструкцій від дії аварійних навантажень, викликаних впливами техногенного характеру. Перерозподіл зусиль у статично невизначених системах при надексплуатаційних навантаженнях техногенного характеру призводить до суттєвих непружних деформацій, викликаних утворенням тріщин у розтягнутій зоні бетону, порушенням зчеплення сталевих прокатів з бетоном, повзучістю бетону тощо. При розрахунку на ці навантаження варто враховувати пластичні характеристики сталі та бетону, штучно перерозподіляючи і регулюючи зусилля в них.

Попереднє напруження є одним із основних шляхів підвищення ефективного регулювання зусиль у несучих конструкціях. Наприклад, збільшуючи тріщиностійкість залізобетонних конструкцій, забезпечується можливість перекриття ними великих прольотів тощо. Проте попередньо напружені конструкції, які випускаються підприємствами будівельної індустрії, є дуже енергоємними за рахунок збільшених витрат на їх виготовлення, що за умови сучасного ринку з дефіцитом енергоресурсів зумовлює їхню високу вартість. Створення початкових напружень у будівельних конструкціях від їх власної ваги значно спрощує процес попереднього напруження за рахунок непотрібності витрат на додаткові заходи та пристосування. Так, попередні напруження в цьому випадку можливо створити за рахунок вдало підібраних розмірів вузлів чи спеціально розробленої технології створення (виготовлення, укрупнювальної збірки чи монтажу) будівельних конструкцій. Створені таким чином попередні напруження в елементах будівельних конструкцій далі називатимуться «самонапруженням».

Таким чином, створення попередніх самонапружень у сталезалізобетонних конструкціях (СЗБК) та розроблення теоретичного апарату їх врахування в вихідних умовах розрахунку, є **актуальною проблемою**, має теоретичне значення та практичне застосування при будівництві та підсиленні несучих конструкцій будівель і споруд, таких як колони, балки, плити перекриття тощо.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, питаннями, темами.** Тема дисертації відповідає сучасним напрямам науково-технічної політики держави щодо енергоефективності та ресурсозбереження, в тому числі у будівництві, згідно розпорядження КМУ від 17.12.2008 р. № 1567-р «Про програми підвищення енергоефективності та зменшення споживання енергоресурсів» та Закону України від 11.07.2001 р. № 2623-III із змінами від 12.01.2023 р. № 2859-IX «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки»; впровадження нормативних документів, гармонізованих із європейськими згідно постанови КМУ від 23.05.2011 р. № 547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу»; регулювання питання організації оцінювання технічного стану та виконання першочергових робіт з відновлення пошкоджених внаслідок бойових дій будівель та споруд згідно постанови КМУ від 19.04.2022 р. № 473 «Порядок виконання невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків збройної агресії РФ, пов'язаних із пошкодженням будівель та споруд» та наказу Міністерства розвитку громад та територій України від 28.04.2022 р. № 65 «Методика обстеження будівель та споруд, пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, бойових дій та терористичних актів».

Робота виконана в рамках держбюджетних дослідних тем у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»: «Високоєфективні сталезалізобетонні несучі конструкції каркасів багатопверхових будівель» (державний реєстраційний номер 0115U002418), «Ресурсоекономні технології відновлення і реконструкції житлових, громадських виробничих будівель та захисних споруд цивільної оборони» (державний реєстраційний номер 0116U002567), «Комплексні конструктивні рішення забезпечення енергоефективності громадських будівель в умовах євроінтеграції» (державний реєстраційний номер 0118U001097), «Енергоефективні конструктивні рішення елементів будівель» (державний реєстраційний номер 0121U109497).

Дану роботу розпочато під керівництвом д.т.н., проф. Стороженка Л.І. який створив і понад 35 років очолював наукову школу «Дослідження та впровадження в будівництво сталезалізобетонних конструкцій» у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

**Метою роботи** є вирішення актуальної науково-технічної проблеми розрахунку, проектування і виготовлення ресурсоекономних самонапружених від власної ваги, конструктивних особливостей та технологій створення сталезалізобетонних конструкцій.

Для досягнення поставленої мети сформульовані та вирішені такі **основні завдання дослідження**:

- проаналізувати інженерно-конструкторські методи та заходи створення попередніх напружень у компонентах сталезалізобетонних конструкцій з виділенням методів та заходів самонапруження таких конструкцій;
- дослідити ресурсощадність перерозподілу зусиль у несучих елементах будівель з метою ефективного його створення самонапруженням у сталезалізобетонних конструкціях;
- розглянути методи визначення внутрішніх зусиль у шарах згинаного сталезалізобетонного стержня із врахуванням геометричної нелінійності (фактичної жорсткості засобів зв'язку) та проаналізувати рівень її впливу на напружено-деформований стан стержня;
- розвинути розрахункову модель згинаного двошарового сталезалізобетонного елемента із врахуванням генетичної нелінійності в процесі його створення;
- розглянути існуючі програмні комплекси скінченно-елементного моделювання композитних будівельних конструкцій щодо врахування фізичної, геометричної, конструктивної, генетичної нелінійностей при самонапруженні;
- розробити конструкції, робочі креслення і технологію самонапруження компонентів сталезалізобетонних конструкцій;
- провести експериментальні випробування самонапружених сталезалізобетонних конструкцій для доведення ефективності розроблених методів самонапруження та виявлення особливостей їх напружено-деформованого стану;
- впровадити ефективні рішення самонапруження сталезалізобетонних конструкцій в нове будівництво та під час реконструкції існуючих будівель.

**Об'єкт дослідження** – робота самонапружених сталезалізобетонних конструкцій.

**Предмет дослідження** – напружено-деформований стан і несуча здатність самонапружених сталезалізобетонних конструкцій.

Види деформацій, які розглядаються під час дослідження напружено-деформованого стану самонапружених сталезалізобетонних конструкцій або їх елементів, – стиск, розтяг, зсув, згин і сукупність вказаних простих видів.

**Методи дослідження:** методи порівняльного аналізу; методи механіки деформівного твердого тіла; експериментальні методи дослідження роботи, напружено-деформованого стану, несучої здатності та деформативності конструкцій; метод скінченних елементів для чисельного моделювання роботи конструкцій; методи математичної статистики.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в наступному:

- вперше проаналізовано та систематизовано інженерно-конструкторські методи і заходи створення попередніх напружень у сталезалізобетонних конструкціях, що дозволило розробити нові конструкції і методи їх самонапруження;

– дістали подальшого розвитку на основі нових результатів експериментальних випробувань та чисельного моделювання, дослідження ресурсощадності перерозподілу зусиль у несучих елементах будівель з метою ефективного його створення самонапруженням у сталезалізобетонних конструкціях;

– набув подальшого розвитку метод визначення внутрішніх зусиль у шарах згинаного сталезалізобетонного стержня із врахуванням геометричної нелінійності – фактичної жорсткості зв'язків зсуву (анкерів) з уточненням крайових умов їх закріплення в бетонному шарі та жорсткостей з'єднувальних шарів;

– вдосконалено розрахункову модель згинаного двошарового сталезалізобетонного елемента, яка дає можливість враховувати у розрахунку генетичну нелінійність – різний напружено-деформований стан компонентів конструкції до забезпечення сумісної їх роботи;

– набули подальшого розвитку алгоритми чисельного скінченно-елементного моделювання роботи самонапружених сталезалізобетонних конструкцій із врахуванням фізичної, геометричної, конструктивної та генетичної нелінійностей;

– вперше розроблено технологію самонапруження та методи розрахунку сталезалізобетонних конструкцій, зокрема:

- сталевих балок сталезалізобетонних перекриттів та сталезалізобетонних прогонів, напружених попередніми протилежно експлуатаційним вигинами;
- нерозрізних багатопролітних сталевих конструкцій сталезалізобетонних перекриттів, напружених власною вагою монолітної залізобетонної плити;
- трикутної залізобетонної кроквяної системи аркового типу із сталевую затяжкою, напруженої власною вагою залізобетонних плит;
- експлуатованих підсилюваних підкісною системою сталезалізобетонних перекриттів, напружених власною вагою монолітної залізобетонної плити;

– вперше на основі нових результатів лабораторних та натурних випробувань виявлено межі коефіцієнтів ефективності розроблених конструкцій та технологій самонапруження (зокрема, власною вагою, за допомогою якої створюються розвантажувальні опорні згинальні моменти) сталезалізобетонних конструкцій; виявлено особливості напружено-деформованого стану досліджених конструкцій.

**Достовірність та обґрунтованість результатів** забезпечено використанням під час теоретичних досліджень фундаментальних закономірностей будівельної механіки, опору матеріалів, методів розрахунку сталезалізобетонних конструкцій із врахуванням початкових напружень, співставленням отриманих даних з експериментальними результатами, як власними, так й інших дослідників, у тому числі закордонних, даними чисельного дослідження роботи тривимірних моделей конструкцій, а також статистичною обробкою отриманих результатів.

**Практичне значення отриманих результатів** підтверджується впровадженням результатів роботи при розробці нормативних документів, зокрема додатку А «Граничні значення деформацій основ і фундаментів споруд при новому

будівництві» ДБН В.2.1-10:2018 «Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення». Крім цього:

– результати досліджень дозволили викласти практичні інженерні методики розрахунку, конструювання і визначення раціональних параметрів самонапружених сталезалізобетонних конструкцій, що сприяє ширшому їх використанню;

– на основі вивчення закономірностей роботи і впливу різноманітних факторів конструювання, виготовлення та експлуатації самонапружених сталезалізобетонних конструкцій запропоновані їх нові конструктивні рішення, що забезпечують рівномірність системи, три з яких захищені патентами України на корисну модель №№ 67776, 75554 і 112604;

– доведена ефективність, технологічна та економічна доцільність використання самонапружених сталезалізобетонних конструкцій шляхом їх впровадження в об'єктах нового будівництва та під час реконструкції існуючих будівель, реалізованих за участю автора та підтверджених техніко-економічними розрахунками, а саме:

- під час реконструкції промислової будівлі із зміною її функціонального призначення, розташованої в м. Харків (регулювання зусиль у вбудованих сталезалізобетонних перекриттях шляхом двостадійності бетонування монолітної плити або встановлення тимчасових стійок під сталеві балки перекриття на час бетонування);
- під час реконструкції частини будівлі цеху рафінації, розташованого на території ПрАТ «ПОЕЗ – Кернел Груп» в м. Полтава (регулювання зусиль у деформованих сталезалізобетонних перекриттях шляхом встановлення підкосів);
- під час визначення технічного стану сталевих ферм покриття Зали Урочистостей Полтавського краєзнавчого музею імені Василя Кричевського (врахування в розрахунку конструкцій покриття різних рівнів напружень сталевих ферм та збірно-монолітного бетонного перекриття, влаштованого по нижньому поясу ферм);
- під час розробки проекту реконструкції будівлі на території ПрАТ «Пологівський ОЕЗ» (стадійність включення монолітного залізобетонного перекриття в сумісну роботу із сталевими балками на різних етапах їх деформування);
- під час реконструкції магазину будматеріалів ТОВ Вентиляторний завод «Горизонт» в м. Гадяч (оптимізація розрахункової схеми та конструктивних рішень рамно-підкісного каркасу трипролітної будівлі);
- під час виконання перевірочних розрахунків підвальних перекриттів будівлі №1/1 (казарма), в м. Пирятин (визначення несучої здатності сталезалізобетонних перекриттів із врахуванням включення бетонної плити у роботу комбінованого перерізу на другій стадії навантаження);

– результати роботи впроваджено у навчальний процес Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», зокрема у навчальні дисципліни освітньо-наукової програми другого рівня вищої освіти та з підготовки доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

**Особистий внесок здобувача** полягає у конструктивному аналізі раціонального регулювання зусиль у будівельних конструкціях та його застосуванні для самонапруження СЗБК; застосуванні теорії складених стержнів для вдосконалення розрахункової моделі двохшарового згинаного сталезалізобетонного елемента із врахуванням різних напружено-деформованих станів компонентів конструкції до забезпечення сумісної їх роботи; удосконаленні методики визначення власних внутрішніх зусиль у шарах складеного сталезалізобетонного стержня із врахуванням фактичної жорсткості зв'язків зсуву (анкерів), уточненням крайових умов їх закріплення в бетонному шарі, а також жорсткостей з'єднувальних шарів; розробці технології виготовлення та програм експериментальних досліджень попередньо самонапружених СЗБК [1; 11; 37; 39; 40; 41; 43].

Усі основні результати дисертаційної роботи одержані самостійно. У публікаціях у співавторстві здобувачеві належить: аналіз заходів з раціонального регулювання зусиль у СЗБК, як нових, так і під час підсилення [20; 34; 36; 42; 44; 46; 48; 60; 63]; дослідження перерозподілу зусиль у несучих елементах за рахунок зміни розрахункової схеми будівлі [19; 32; 47; 62; 65; 67; 70; 72; 74] та фізико-механічних властивостей матеріалів [25; 55; 57]; опис впливу процесу зведення будівлі на напружено-деформований стан будівельних конструкцій [24; 28]; визначення основних можливих пошкоджень будівельних конструкцій, причини їх виникнення та вплив на перерозподіл зусиль у будівельних конструкціях [8; 12; 51; 54; 73]; визначення можливості зменшення перерізу сталевих балок за рахунок включення її у сумісну роботу із монолітною залізобетонною плитою перекриття [16; 17]; дослідження роботи зв'язків зсуву у згинаних сталезалізобетонних конструкціях [3; 7; 9]; виконання та аналіз результатів розрахунків будівельних конструкцій [15; 22; 27; 29; 30; 52]; врахування нелінійної форми діаграм деформування матеріалів під час визначення несучої здатності конструкцій [23; 31]; аналіз результатів експериментальних випробувань несучої здатності та деформативності будівельних конструкцій [5; 26; 33; 45; 64; 66; 69; 71]; розгляд алгоритмів створення скінченно-елементної моделі композитних будівельних конструкцій [10; 18; 21; 38; 49; 68]; викладення результатів чисельного моделювання методом скінченних елементів залізобетонних та сталезалізобетонних конструкцій, в тому числі пошкоджених [2; 4; 6; 13; 14; 50; 53; 56]; розробка конструктивних рішень вузлів та технології влаштування, що впливає на раціональний перерозподіл зусиль трикутної залізобетонної кроквяної системи із сталеву затяжкою прольотом 18 метрів [35; 58; 59; 61].

У дисертації не використовувались матеріали кандидатської дисертації.



**Апробація результатів дисертаційної роботи.** Головні положення і результати роботи доповідались на наступних міжнародних та всеукраїнських конференціях: Всеукраїнській конференції молодих учених і студентів «Перспективи розвитку будівельної галузі» (Полтава: ПНТУ, 2013 р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки» (Полтава: ПНТУ, 7-9 грудня 2016 р.); VI Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль: ТНТУ, 16-17 листопада 2017 р.); 70-74 наукових конференціях професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава: НУПП, 2018-2022 рр.); 7-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (Харків: УкрДУЗТ, 14-16 листопада 2018 р.); XI Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки» (Полтава: ПНТУ, 20-21 грудня 2018 р.); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Transfer of Innovative Technologies 2020» (Київ: КНУБА – Дзянсу – Забже, 20-21 травня 2020 р.); I-V Міжнародних українсько-азербайджанських конференціях «BUILDING INNOVATIONS» (Баку – Полтава: НУПП, 2018-2022 рр.); Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини» (Одеса: ОДАБА, 11-12 червня 2020 р.); 13-th Fib International PhD Symposium in Civil Engineering (Marne-la-Vallée, Paris, France, 26-28 серпня 2020 р.); XI-XV Міжнародних науково-практичних конференціях «Академічна й університетська наука: результати та перспективи» (Полтава: НУПП, 2018-2022 рр.); International Conference «Computational Civil Engineering: Empower the digital transition in the construction world» (Iasi, Romania, 27-29 травня 2021 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Гідротехнічне і транспортне будівництво» (Одеса: ОДАБА, 03-04 червня 2021 р.); Міжнародній конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд» (Одеса: ОДАБА, 09-11 вересня 2021 р.); XIX Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології у будівництві, цивільній інженерії та архітектурі» (Чернігів: ЧНТУ – ПДАБА, 19-22 вересня 2021 р.); 9-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (Харків: УкрДУЗТ, 17-19 листопада 2021 р.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «BUILD-MASTER-CLASS-2021» (Київ: КНУБА, 01-03 грудня 2021 р.); IX Міжнародній конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки» (Одеса: ОДАБА, 17-20 травня 2022 р.); II Всеукраїнській Інтернет-конференції «Новітні тенденції розвитку міського будівництва та господарства» (Рівне: НУВГП, 19-20 травня 2022 р.); Всеукраїнському науково-практичному форумі «ПЕРЕМОЖЕМО – ВІДБУДУЄМО!» (Дніпро: ПДАБА, 29-30 червня 2022 р.); Міжнародній конференції «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проектуванні, будівництві та експлуатації об'єктів

транспортної інфраструктури в рамках програми «Велике будівництво» (Київ: НТУ, 24-25 листопада 2022 р.).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась у жовтні-листопаді 2022 року у Одеській державній академії будівництва та архітектури (м. Одеса), Українському державному університеті залізничного транспорту (м. Харків), Центральноросійському національному технічному університеті (м. Кропивницький), Національному університеті біоресурсів та природокористування України (м. Київ).

**Публікації.** Матеріали дисертації опубліковані у 74 наукових працях, у тому числі 1 монографія, 35 статей у фахових виданнях України, 10 – у виданнях інших держав (6 з яких у виданнях, проіндексованих НМБД Scopus), 3 патенти України на корисну модель, 25 друкованих тез за матеріалами наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел і двох додатків. Робота викладена на 396 сторінках машинописного тексту, з яких 307 сторінок основного тексту, що включають 226 рисунків і 28 таблиць, 42 сторінки списку використаних джерел із 367 назв та 21 сторінка додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, що вирішується, сформульовано мету, завдання дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів роботи, наведено відомості про особистий внесок та апробацію матеріалів дисертації, представлено її загальну структуру та обсяг.

У **першому розділі** дисертації проаналізовано та систематизовано інженерно-конструкторські методи й заходи створення попередніх напружень у компонентах СЗБК, виявлено методи самонапруження та оптимізації робочих схем, що дозволило розробити нові конструкції та методи їх самонапруження. Під самонапруженням маються на увазі попередні напруження, створені за допомогою конструктивних заходів чи технологій будівництва без застосування енерговитратних методів процесу напруження.

Попередній аналіз стану проблеми регулювання зусиль у будівельних конструкціях дозволив розробити структурно-логічну схему досліджень, показану на рисунку 1, першим кроком якої є аналіз існуючого стану проблеми.

Дослідженнями створення раціональних попередніх напружень і раціональних поперечних перерізів СЗБК займалися Бібік Д.В., Ватуля Г.Л., Веревичева М.А., Вибранець Ю.Ю., Віхоть С.І., Воскобійник О.П., Гасій Г.М., Демчина Б.Г., Дериземля С.В., Іваник І.Г., Іваник Ю.І., Ізбаш М.Ю., Китов Ю.П., Крупченко О.А., Кушнір Ю.О., Круль Ю.М., Пенц В.Ф., Семко О.В., Стороженко Л.І., Чихладзе Е.Д., Шмуклер В.С., Cao D.F., Chiorean C., Faella C., Jiang A., Martinelli E., Nigro E., Ohta T., Plavidal W., Ranzi G., Shen Y., Teruhiko Y., Vasdravellis G., Wang C., Wang K., Yang R., Yuan S.F., Zona A. та ін.

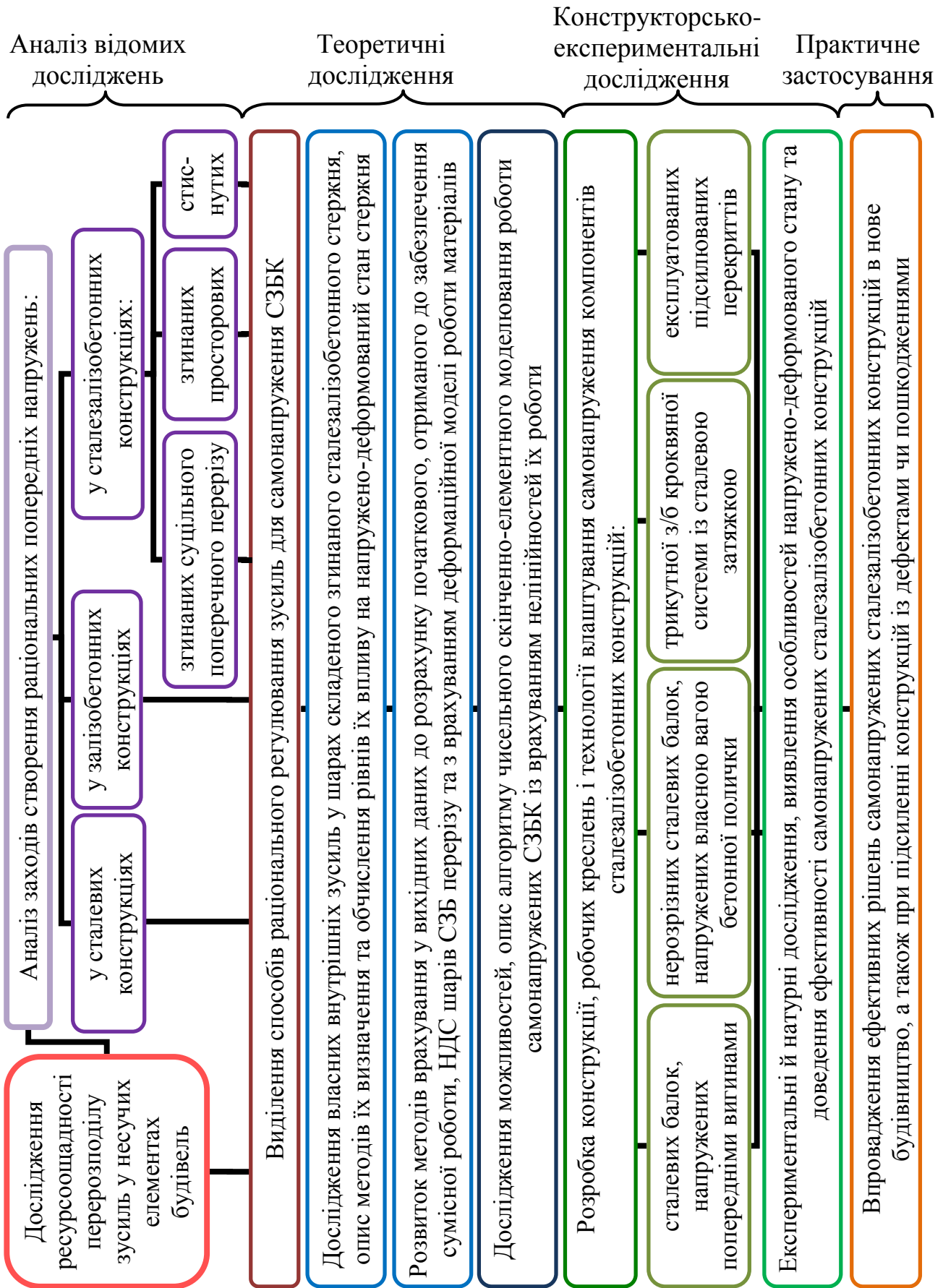


Рис. 1 – Структурно-логічна схема досліджень ресурсоощадного самонапруження сталезалізобетонних конструкцій

У галузі дослідження попереднього напруження трубобетонних конструкцій серед робіт широкого кола науковців слід відмітити роботи Єрмоленка Д.А., Єфіменка В.І., Клименка Ф.Є., Кришан А.Л., Стороженка Л.І., Харченка С.А., Чеканович М.Г., Чихладзе Е.Д., Шагіна О.Л., Beaudion, J.J., Chiritiescu M., Lam J.Y.K., Ho J.C.M., Kwan A., Silva R.D., Xu G. та їхніх учнів.

Серед запропонованих переліченими дослідниками заходів з регулювання зусиль, можна виділити заходи самонапруження СЗБК (див. рис. 2).

<i>А. Згинаних СЗБК суцільного поперечного перерізу:</i>	
1) влаштування сталевих зтяжок з використанням самонапружуючих систем;	} заходи оптимізації розрахункових схем і поперечного перерізу
2) розробка стадійності виготовлення і монтажу збірно-монолітних конструкцій;	
3) уточнення дійсних розрахункових схем конструкцій;	
4) створення нерозрізних статично невизначених схем;	
5) заміна стиснутої полицки з сталеві на залізобетонну.	
<i>Б. Згинаних просторових СЗБК:</i>	
6) варіація кількості й розташування стійок і величин стріл підйому залізобетонної плити та сталевих шпренгеля;	
7) розробка стадійності виготовлення і монтажу збірно-монолітних конструкцій.	
<i>В. Стиснутих СЗБК:</i>	
8) застосування для виготовлення бетонного осердя:	- напружуючого цементу; - центрифугування.

Рис. 2 – Заходи самонапруження СЗБК

Основними заходами регулювання зусиль залізобетонних конструкцій є їх попереднє напруження під час виготовлення та створення нерозрізних статично-невизначених схем їх роботи під час монтажу. Дослідженню таких конструкцій присвятили свої роботи Буракас А.І., Гладишев Д.Г., Гладишев Г.М., Гнідець Б.Г., Карпюк В.М., Кінаш Р.І., Клименко Є.В., Кривошеєв П.І., Лаххам Л., Литвин Г.Я., Першаков В.М., Салій Г.Ш., Семірненко Ю.І., Чеканович М.Г., Чеканович О.М., Чемер А.В., Шагін О.Л., Ben Mekki, Biegus, Vishnu P.A., Chen Ke, Chiritiescu M., Czaderski C., Daman K.P., Fu C., Kiss Z., Mohamed H., Motavalli M., Mureşan R.-M., Pfyl-Lang K. та ін.

Дослідженню регулювання зусиль сталевих конструкцій силовими (попереднім напруженням зтяжками чи деформуванням під час створення) та розрахунковими (зміною статичної схеми чи поперечного перерізу конструкцій, передбаченням зон пластичних деформацій матеріалу, встановленням проміжних пружних опор тощо) методами присвячено роботи Більського М.Р., Володимирського В.О., Гоголя М.В., Голоднова О.І., Данильченка О.Ф., Єгорова Є.А., Іваніка І.Г., Нілова О.О., Олькова Я.І., Пелешко І.Д., Перельмутера А.В., Пермькова В.О., Пічугіна С.Ф., Поповича Б.С., Романюка В.В., Савіна Г.Н., Салія Г.Ш., Трофимовича В.В., Cai M., Gardner L., Jiang X., Jianguo N., Liew A., Lin C., Kamali S., Pisani M.A., Przemyslaw J., Tolga C., Yan X., Ziolkо J. та ін.

Під час експлуатації в будівельних конструкціях теж може відбуватися перерозподіл зусиль. Принципи формоутворення дійсних розрахункових моделей будівельних конструкцій під навантаженням розвивали Азізов Т.Н., Бамбура А.М., Барашиков А.Я., Білик С.І., Бліхарський З.Я., Володимирський В.О., Голишев О.Б., Воскобійник О.П., Гриневич Є.О., Губій М.М., Дорофєєв В.С., Карпюк В.М., Кваша В.Г., Клименко Є.В., Кос Ж., Кулябко В.В., Лозовий Ю.І., Лучко Й.Й., Моргун А.С., Налєпа О.І., Пашинський В.А., Ромашко-Майструк О.В., Семко О.В., Хміль Р.Є., Фомиця Л.М., Шагін О.Л., Юрченко В.В., Яковенко І.А., Яременко О.Ф., Chen S., Kurdi B.V., Kusumastuti D., Moestopo M., Muslih M.R., Olteanu I., Urbański A.

Під час багатостадійного створення та експлуатації попередньо напружених СЗБК, виникають такі види нелінійностей як генетична, геометрична, фізична, конструктивна. Рекомендації щодо врахування фізичної нелінійності бетону відображені у ДБН В.2.6-98:2009. Однак врахування багатостадійності створення і попереднього напруження СЗБК (генетичної нелінійності), взаємного зсуву компонентів (геометричної нелінійності), має недостатню повноту і ясність викладення у національних нормах, як-от у ДБН В.2.6-160:2010, ДБН В.2.3-14:2006.

У **другому розділі** досліджено ресурсоощадність перерозподілу зусиль у несучих елементах будівель (див. табл. 1), що оцінювалася рівнем підвищення їхньої несучої здатності та жорсткості. Визначено, що для СЗБК з початковим коефіцієнтом армування  $\mu = 0,05 \dots 0,23$  та його додатковим підвищенням в процесі регулювання зусиль не більше, ніж на 20%, несуча здатність збільшується до 70%, а жорсткість – до 2,5 разів (рис. 3). Змінюючи розрахункову схему та застосувавши багатостадійне створення СЗБК без зміни коефіцієнту армування, досягається збільшення їх несучої здатності та жорсткості в 1,4 і 1,42 рази відповідно. Для СЗБК з оптимізованим поперечним забезпечується на тому ж рівні несучу здатність та жорсткість із одночасним зменшенням до 35% коефіцієнта армування. Це доводить можливість ресурсоощадного регулювання зусиль у СЗБК без застосування додаткового армування чи енерговитратних методів попереднього напруження.

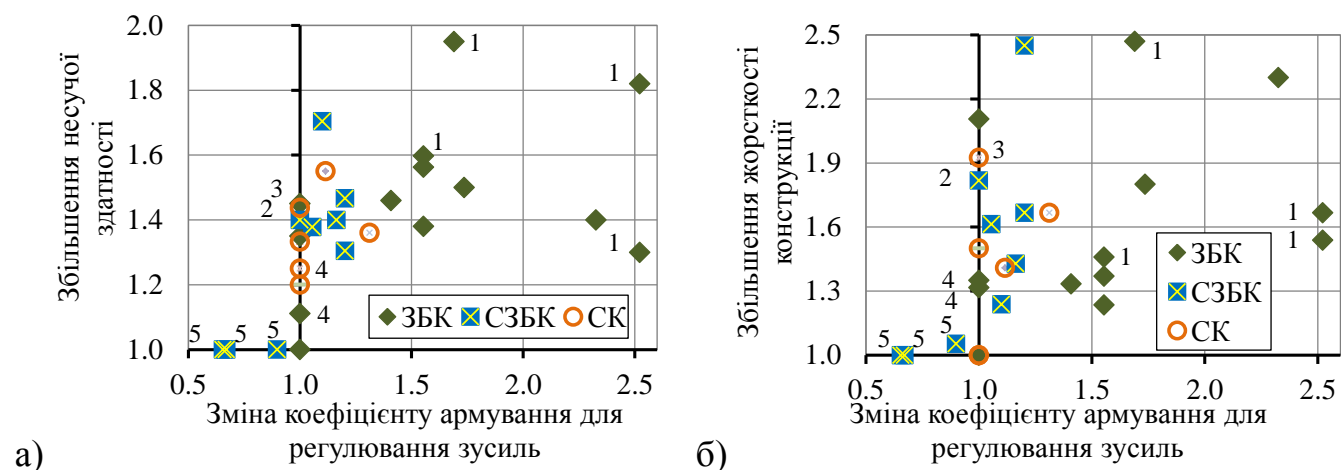


Рис. 3 – Збільшення несучої здатності (а) та жорсткості (б) конструкцій при зміні коефіцієнту армування для регулювання зусиль (нумерацію маркерів самонапружених СЗБК див. рис. 2; повна нумерація зазначена в тексті дисертації)

Результати дослідження ресурсоощадності перерозподілу зусиль  
у несучих конструкціях будівель

№ п/п	Причина, що викликає перерозподіл зусиль	Наслідок перерозподілу зусиль	Ресурсоощадний ефект
<i>Розрахункові методи регулювання зусиль</i>			
1	Влаштування нерозрізної схеми роботи конструкцій	Зменшення пролітних і збільшення опорних згинальних моментів	Можливість зменшення розмірів поперечного перерізу
2	Врахування фактичної жорсткості нерегулярних опор	Зменшення опорних згинальних моментів	
3	Вибір оптимальних прольотів поперечної рами будівлі	Вирівнювання пролітних згинальних моментів суміжних прольотів	
4	Зміна кута нахилу поздовжньої вісі конструкції відносно вісі навантаження	Досягнення мінімальних внутрішніх зусиль в конструкції	
5	Зміна типу опор	Оптимізація значень опорних реакцій; розвантаження пролітних частин	
6	Врахування дійсних діаграм роботи матеріалів	Визначення фактичного напружено-деформованого стану конструкцій	Визначення критичних точок перерізу
7	Врахування початкового НДС частин композитних конструкцій		
<i>Силові методи регулювання зусиль</i>			
8	Попереднє напруження чи вигин окремих елементів комбінованого перерізу	Підвищення жорсткості конструкцій	Підвищення несучої здатності та жорсткості
9	Влаштування монолітної нерозрізної схеми роботи конструкцій	Підвищення загальної «живучості» конструкцій	
<i>Перерозподіл зусиль під час експлуатації за малої зміни початкових параметрів</i>			
10	Наявність послаблень чи отворів поперечного перерізу	Робота конструкцій на складні види деформацій	Перевантаження, зменшення несучої здатності
11	Зміна розрахункової схеми чи планово-висотного положення конструкцій	Виникнення додаткових навантажень	
12	Корозійні пошкодження сталевих елементів	Зменшення площі перерізу та фізико-механічних властивостей сталі	

На основі аналізу процесів регулювання зусиль встановлено, що він можливий тільки у випадку, якщо забезпечена сумісна робота компонентів конструкції. Ідея ефективного використання фізико-механічних властивостей сталі і бетону у СЗБК (робота бетону тільки на стиск, а сталі – на розтяг) приводить до їхньої взаємодії лише контактними поверхнями, а не розташуванням сталевих елементів у бетоні, як це реалізовано у залізобетонних конструкціях. Сумісна робота цих компонентів має забезпечуватися за допомогою анкерних засобів, що працюють на зсув і виключають можливість поздовжнього відносного ковзання бетону і сталі та відшарування між собою. Проте з урахуванням дійсної жорсткості анкерних засобів, що не є нескінченною, контактний шов матиме певну податливість. Це дозволить деякий відносний зсув  $\Delta_{zc}$  між плитою і балкою, а площа поперечного перерізу стержня перетворюватиметься на сукупність двох площин, тобто відбудеться депланація перерізу. Відносно проковзування двох шарів між собою приведе до порушення лінійної залежності між навантаженням, деформаціями нормального перерізу та прогинами. Описана нелінійна залежність розглядається як геометрична.

Описаним вище аргументована актуальність виконаних у **третьому розділі** досліджень величини зсувних зусиль у контактному шві між залізобетонною і сталеву прокатною частинами, а також геометричної нелінійності під час регулювання зусиль у згинаних сталезалізобетонних стержнях.

Поставлену задачу вирішено двома частинами. Перша – визначення зсувного зусилля у контактному шві між залізобетонною і сталеву прокатною частинами згинаного сталезалізобетонного стержня із врахуванням жорсткостей зв'язків зсуву (анкерів) та уточненням крайових умов їх роботи в бетонному шарі, а також жорсткостей з'єднувальних шарів. Друга – визначення впливу зсувного зусилля на напружено-деформований стан компонентів сталезалізобетонного стержня. Для вирішення поставленої задачі прийняті вихідні гіпотези, зазначені на рисунку 4.

↪ Вихідні гіпотези під час дослідження: ↩

*НДС зв'язків зсуву (анкерів)*

*зсувного зусилля між шарами СЗБ стержня*

- гіпотеза плоских перерізів;	- відносні деформації шарів СЗБ стержня визначають з використанням гіпотези плоских перерізів із врахуванням можливого стрибка у зоні їх взаємного контакту, який дорівнює величині відносного зсуву. Цей стрибок також виникає в результаті двостадійної технології виготовлення СЗБК (див. розділ 4);
- поперечні перерізи мають осі симетрії;	
- бетон не працює на розтяг;	
- відсутність реактивних поздовжніх зусиль вздовж осі анкера;	
- сумісна робота анкера та бетону на продавлювання описана аналітичними залежностями теорії пружності;	
- відсутні деформації обтиснення між анкером і бетоном, між шарами СЗБ стержня;	
- нейтральні осі напружень та деформацій у перерізі елементів збігаються;	
- залежності «напруження-деформації» для бетону і сталі є наперед визначеними.	

Рис. 4 – Прийняті гіпотези при дослідженні геометричної нелінійності СЗБ стержня

Для визначення зусиль у зв'язках зсуву згинаних сталезалізобетонних стержневих елементів розглянуто стержень, завантажений тільки поперечним навантаженням (див. рис. 5). Жорсткості сталевий і бетонної частин прийняті постійними по всій довжині стержня та позначені відповідно  $E_s \cdot I_s$  та  $E_c \cdot I_c$ .

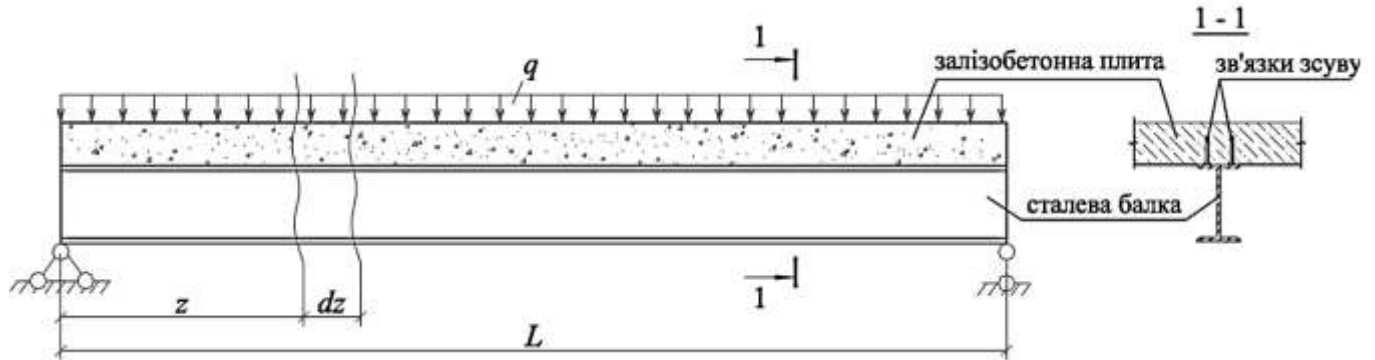


Рис. 5 – Загальний вигляд двошарової сталезалізобетонної стержневої конструкції

Розподіли відносних деформацій у перерізах кожної частини двошарового стержня згідно положень теорії складених стержнів мають бути між їх значеннями для монолітної балки із жорсткими зв'язками зсуву і балки-пакета із повністю відсутніми зв'язками зсуву. Ці відносні деформації можна знайти за формулою:

$$\varepsilon = \varepsilon_{mon} \cdot \psi + \varepsilon_{pak} \cdot (1 - \psi), \quad (1)$$

де  $\varepsilon_{mon}$  та  $\varepsilon_{pak}$  – відносні деформації нормального перерізу балки із абсолютно жорсткими чи повністю відсутніми зв'язками зсуву;

$\psi$  – коефіцієнт, який залежить від розмірів балки, навантаження на неї та конструкції зв'язків зсуву між шарами комбінованої балки. Для орієнтовних розрахунків цей коефіцієнт можливо знаходити за формулою:

$$\psi = \frac{\lambda^2 \cdot L^2}{\lambda^2 \cdot L^2 + \pi^2}, \quad (2)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт, що залежить від жорсткостей зв'язків зсуву (анкерних засобів) та жорсткостей самих шарів композитної балки.

Для знаходження коефіцієнту  $\lambda$  розглянуто елементарну ділянку довжиною  $dz$  з пружними зв'язками зсуву та недеформованими поперечними зв'язками (див. рис. 6), вирізану із стержневої СЗБК, зображеної на рисунку 5. Цю ділянку із заміною зв'язків зсуву на дотичні зусилля  $q_\tau$  прийнято у якості основної системи. Поперечні сили та згинальні моменти від зовнішнього навантаження, які діють на відсічену частину без врахування зусиль, що передаються від зв'язків зсуву, позначено  $Q^0$  та  $M^0$  відповідно. За зайву невідому прийнято рівнодіючу  $T_z$  дотичних зусиль  $q_\tau$ , що діють по один бік від перерізу на ділянці довжиною  $dz$ . Рівнодіюча  $T_z$  та погонні дотичні зусилля  $q_\tau$  пов'язані такими диференціальними залежностями:

$$T_z(z) = T_z(z=0) + \int_0^z q_\tau(t) dt \quad \text{або} \quad T_z'(z) = q_\tau(z). \quad (3)$$



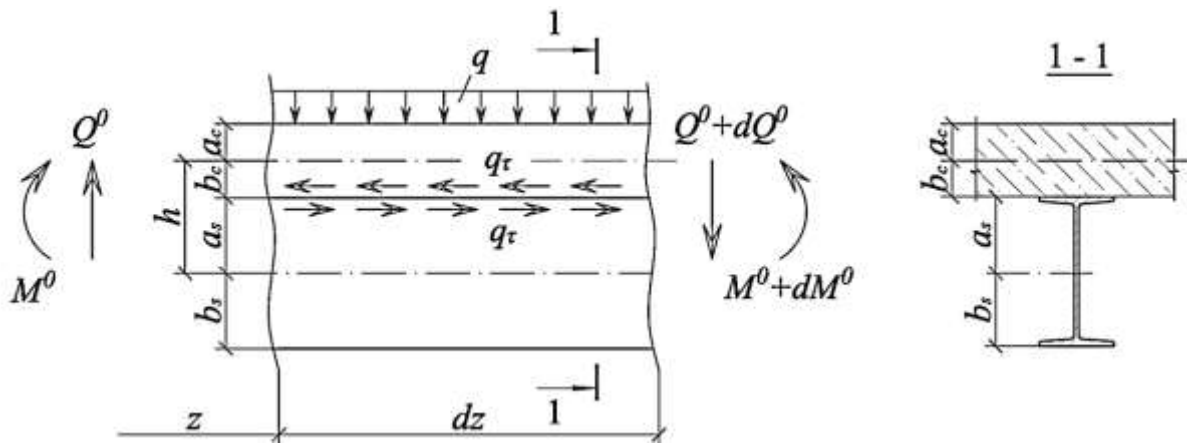


Рис. 6 – Основна система ділянки двохшарового згинаного сталезалізобетонного елемента із заміною зв'язків зсуву на дотичні зусилля

Погонні дотичні зусилля  $q_\tau$  у шві та взаємний зсув  $\Delta_{zc}$  верхніх волокон нижче розташованого шару відносно нижніх волокон вище розташованого шару пропорційні, тобто

$$q_\tau = \chi \cdot \Delta_{zc}, \quad (4)$$

де  $\chi$  – жорсткість зв'язків зсуву (анкерних засобів).

Для визначення коефіцієнту жорсткості  $\chi$  зв'язків зсуву розглянуто роботу анкера (рис. 7), як консольну балку жорстко приєднану одним кінцем до сталевій частині перерізу та завантаженої нерівномірно розподіленою реакцією опору бетону  $q_a(y)$ , що залежить від функції переміщень анкера в бетоні. У випадку вінклерівської залежності між навантаженням та величиною просідань анкера в бетоні, реакція опору бетону на анкер дорівнює:

$$q_a(y) = -k(y) \cdot w(y), \quad (5)$$

де  $k(y)$  – змінний коефіцієнт внаслідок фізичної нелінійності бетону.

Диференціальне рівняння зігнутої осі затиснутого у бетоні анкера із врахуванням функції (5) реактивного нерівномірно розподіленого навантаження бетону на анкер матиме вигляд:

$$\frac{d^4 w(y)}{dy^4} = -\frac{k(y) \cdot w(y)}{E_a \cdot I_a}, \quad (6)$$

де  $E_a \cdot I_a$  – жорсткість на згин поперечного перерізу анкера.

Внаслідок наявності змінної функції  $k(y)$  у правій частині рівняння (6), загальний аналітичний його розв'язок (а також можливість його існування) залежить від вигляду самої функції  $k(y)$ . Крім цього, якщо маємо функцію  $k(y)$  заданою не неперервною залежністю, а дискретно (наприклад, за результатами експерименту), аналітичний розв'язок рівняння (6) відшукати неможливо. Тому для розв'язку

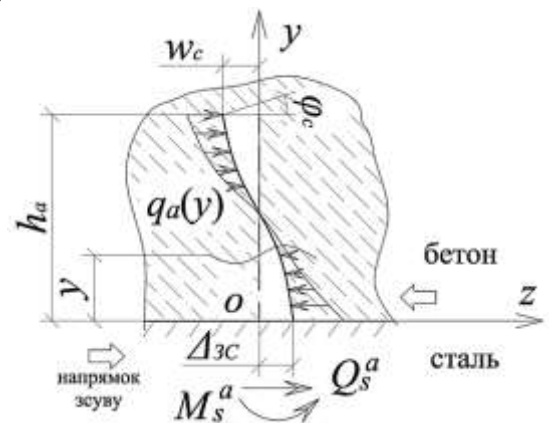


Рис. 7 – Розрахункова схема анкера в бетоні

рівняння (6) доцільно застосовувати ітераційні підходи. Проінтегрувавши рівняння (6) по змінній  $y$ , отримаємо інтегральне рівняння зігнутої вісі анкера в бетоні:

$$w(y) = C_1 + C_2 \cdot y + C_3 \cdot y^2 + C_4 \cdot y^3 - \Delta(y), \quad (7)$$

де  $\Delta(y)$  – інтегральний оператор чотирикратного інтегрування по змінній  $y$  параметра реактивного нерівномірно розподіленого опору бетону на анкер  $q_a(y)$ ;

$C_1 \dots C_4$  – сталі інтегрування.

Збіжність результатів досягається за допомогою декількох ітерацій, у результаті чого визначається деформований стан анкера та максимальні переміщення перерізу його закріплення до сталевго профілю  $w_c$ , що рівні величині зсуву  $\Delta_{zc}$ . За відомої величини відносного зсуву  $\Delta_{zc}$  при записі погонного дотичного зусилля  $q_t$  у шві двошарової конструкції через зсувну силу  $T_a$ , що діє на один анкер згідно (4), вираз для знаходження коефіцієнту жорсткості зв'язків зсуву має вигляд:

$$\chi = \frac{q_t}{\Delta_{zc}}. \quad (8)$$

За описаною методикою та відповідними залежностями теорії складених стержнів визначення погонних  $q_t$  та зосереджених  $T_z$  зсувних зусиль у контактному шві балок із врахуванням дійсної жорсткості з'єднувальних засобів  $\chi$  та деформативності бетону в зоні контакту з анкерами визначено числове значення зсувних зусиль у зв'язках зсуву для однопролітних сталезалізобетонних балок чотирьох типорозмірів, завантажених по трьох розрахункових схемах (див. табл. 2).

На рисунку 8 показані зміни значень взаємного зсуву бетонної та сталевгої частин перерізу, визначених теоретично та під час проведення експериментальних випробувань, із збільшенням навантаження. Математичне сподівання відношення теоретично визначеного значення взаємного зсуву від експериментального дорівнює 1,16; коефіцієнт варіації відхилень – 24,9%. Досить великі значення відхилень пояснюються ціною поділки зняття відліків електротензорезисторів.

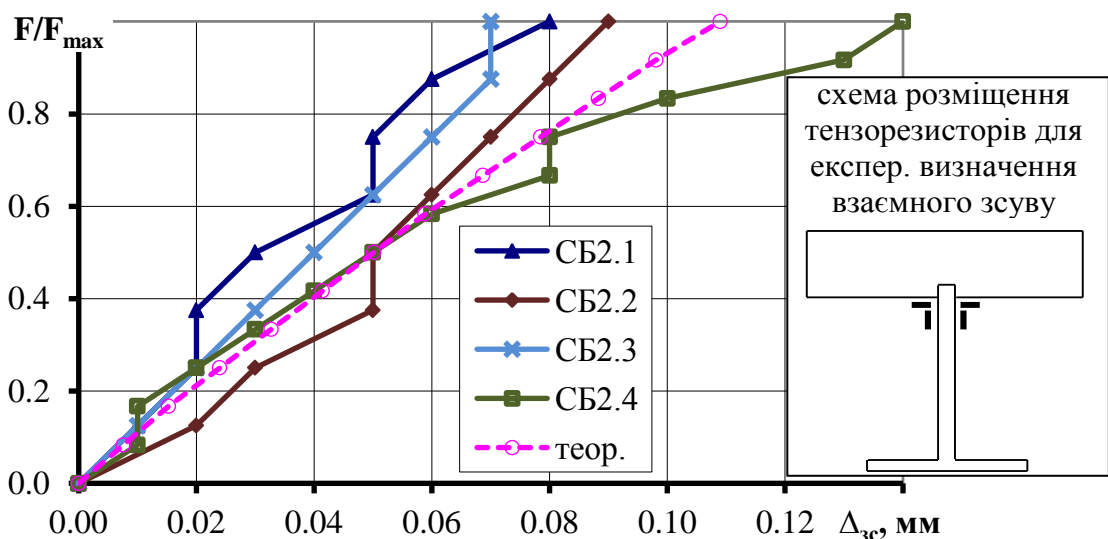
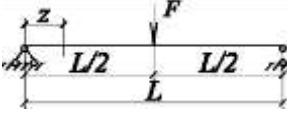
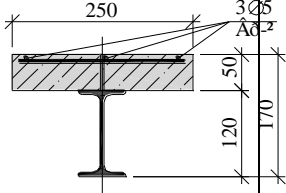

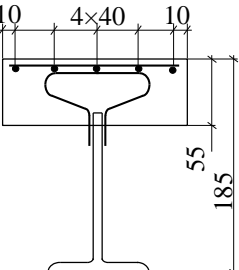
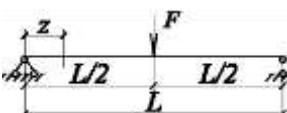
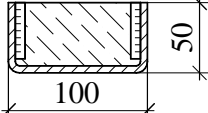
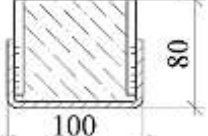

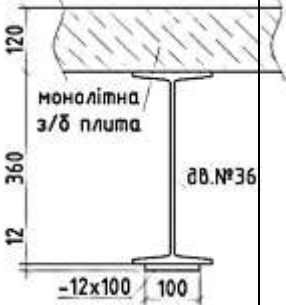


Рис. 8 – Зміна взаємного зсуву бетонної та сталевгої частин перерізу із збільшенням зовнішнього навантаження

Загальний перелік досліджених двошарових згинаних стержневих СЗБК

№ серії	Шифр серії балок	Кількість балок-близнюків у серії	Розрахункова схема	Геометричні параметри:		Коефіцієнт армування, %	Наявність попереднього напруження
				проліт	поперечний переріз		
1	СБ4	2		1,44 м		10,5	—
2	СБ2	4		1,94 м		11,4	—
3	СБ1	2		2,85 м		11,4	—
4	ПСБ1	2				7,3	+
	ПСБ2	2					(сталевого швелера)
5	ПСБ3	3		8,7 м		5,8	+
							(сталевого двотавра)

У четвертому розділі визначено вплив рівнодійної зсувних зусиль  $T_z$  на внутрішні зусилля у шарах згинаних стержневих СЗБК. Для знаходження сумарних внутрішніх зусиль в кожному шарі сталезалізобетонної двошарової балки, зображеної на рисунку 5, розглянуто окремо рівновагу нижнього сталевого та верхнього залізобетонного шарів вирізаної ділянки балки довжиною  $dz$  із заміною впливу відкинутого шару зосередженими зсувними зусиллями  $T_z$ , як показано на рисунку 9. При проектуванні з одного боку перерізу всіх сил на поздовжню вісь стержня або записі суми моментів відносно точки, розташованої на поздовжній вісі відповідного шару, отримано залежності для визначення внутрішніх зусиль:

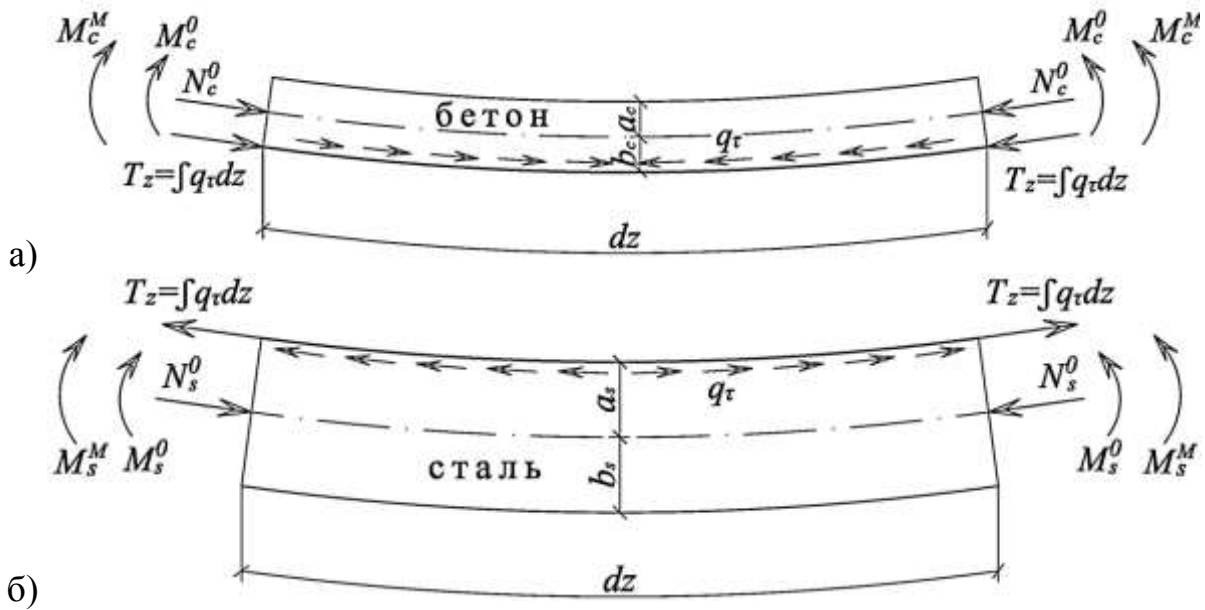


Рис. 9 – Верхній залізобетонний (а) та нижній сталевий (б) шари сталезалізобетонної балки, із заміною внутрішніми зусиллями відкинутих лівої та правої частин балки, а також нижнього чи верхнього шару

– у бетонній верхній полиці:

$$N_c = -N_c^0 - T_z; \quad (9)$$

$$M_c = M_c^0 - M_c^T + M_c^M = M_c^0 - T_z \cdot b_c + M \cdot \frac{E_c \cdot I_c}{E \cdot I}; \quad (10)$$

– у сталевій нижній частині:

$$N_s = -N_s^0 + T_z; \quad (11)$$

$$M_s = M_s^0 - M_s^T + M_s^M = M_s^0 - T_z \cdot a_s + M \cdot \frac{E_s \cdot I_s}{E \cdot I}, \quad (12)$$

де  $N_c^0$ ,  $N_s^0$ ,  $M_c^0$ ,  $M_s^0$  – поздовжні зусилля та згинальні моменти, які виникають в бетоні та сталі до забезпечення сумісної їх роботи від дії зовнішнього навантаження без урахування зусиль, що передаються від зв'язків зсуву;

$M_c^M$ ,  $M_s^M$  – частини згинального моменту, визначені за результатами статичних розрахунків, що сприймаються бетонною і сталеві частини відповідно.

Для знаходження цих моментів розглянуто вирізану ділянку довжиною  $dz$  СЗБ балки із вказуванням на ній радіуса її кривизни  $\rho$  (див. рис. 10). На основі рівняння пружної осі балки, визначено кривизну всієї балки по контактному шву й окремо бетонної та сталеві частин із нехтуванням при цьому відмінністю радіусів кривизни контактної шару та центральних осей бетону і сталі через малість відстаней  $a_s$  та  $b_c$  у порівнянні із радіусом кривизни  $\rho$ :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{E \cdot I} = \frac{M_c^M}{E_c \cdot I_c} = \frac{M_s^M}{E_s \cdot I_s}, \quad (13)$$

де  $E \cdot I$ ,  $E_c \cdot I_c$ ,  $E_s \cdot I_s$  – жорсткості на згин відповідно всього поперечного перерізу та окремо бетонного і сталеві шару сталезалізобетонної балки.

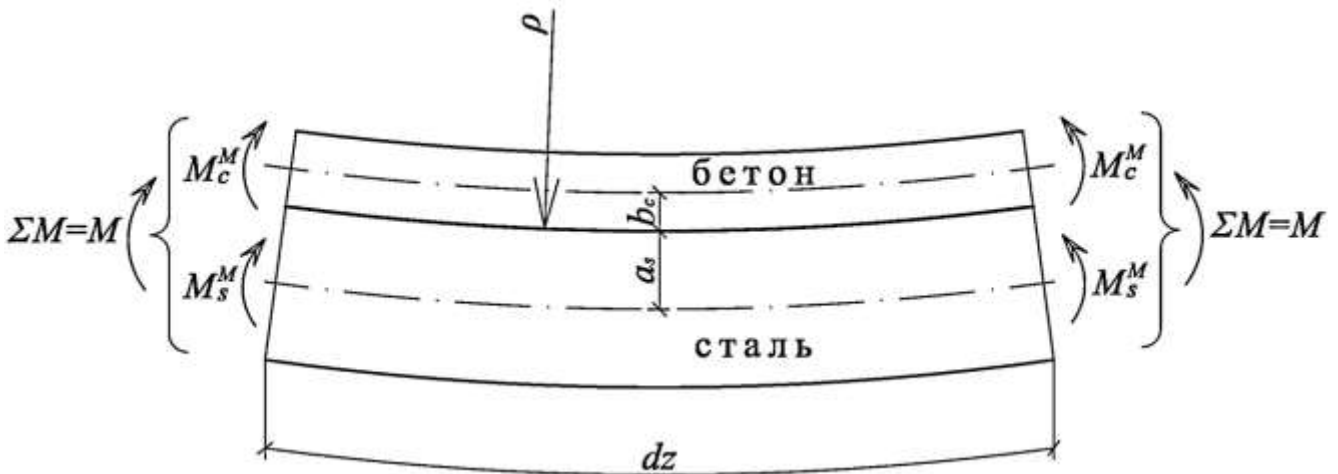


Рис. 10 – До визначення частин згинальних моментів від дії зовнішнього навантаження, що сприймаються окремо кожним шаром сталезалізобетонної балки

Із залежності (13) знайдено:

– частину згинального моменту, що сприймається бетонною частиною:

$$M_c^M = M \cdot \frac{E_c \cdot I_c}{E \cdot I}, \quad (14)$$

– частину згинального моменту, що сприймається сталеву частину:

$$M_s^M = M \cdot \frac{E_s \cdot I_s}{E \cdot I}. \quad (15)$$

За відомими залежностями для визначення внутрішніх зусиль, отримано формули для підрахунку деформацій крайніх волокон шарів комбінованого перерізу:

– у бетонній верхній полиці:

$$\varepsilon_c^{\text{верх}} = -\frac{N_c^0}{E_c \cdot A_c} - \frac{T_z}{E_c \cdot A_c} - \frac{M_c^0 \cdot a_c}{E_c \cdot I_c} + \frac{M_c^T \cdot a_c}{E_c \cdot I_c} - \frac{M \cdot y_1}{E \cdot I}; \quad (16)$$

$$\varepsilon_c^{\text{нижн}} = -\frac{N_c^0}{E_c \cdot A_c} - \frac{T_z}{E_c \cdot A_c} + \frac{M_c^0 \cdot b_c}{E_c \cdot I_c} - \frac{M_c^T \cdot b_c}{E_c \cdot I_c} - \frac{M \cdot y_2}{E \cdot I}; \quad (17)$$

– у сталевій нижній частині:

$$\varepsilon_s^{\text{верх}} = -\frac{N_s^0}{E_s \cdot A_s} + \frac{T_z}{E_s \cdot A_s} - \frac{M_s^0 \cdot a_s}{E_s \cdot I_s} + \frac{M_s^T \cdot a_s}{E_s \cdot I_s} - \frac{M \cdot y_2}{E \cdot I}; \quad (18)$$

$$\varepsilon_s^{\text{нижн}} = -\frac{N_s^0}{E_s \cdot A_s} + \frac{T_z}{E_s \cdot A_s} + \frac{M_s^0 \cdot b_s}{E_s \cdot I_s} - \frac{M_s^T \cdot b_s}{E_s \cdot I_s} + \frac{M \cdot y_3}{E \cdot I}. \quad (19)$$

Особливістю цих залежностей є те, що вони дозволяють враховувати внутрішні зусилля попереднього напруження окремих частин сталезалізобетонного перерізу до забезпечення сумісної їх роботи. Для перевірки достовірності отриманих залежностей та формул, необхідних для аналізу напружено-деформованого стану самонапружених СЗБК, проведено експериментальні дослідження 4-х серій зразків, що склалися із 6-ти балок прольотом 1,5 м (серія СБ4) і 2 м (серія СБ2); 6-ти балок прольотом 3 м (серії СБ1, ПСБ1, ПСБ2); 3-х балок прольотом 8,7 м СЗБ перекриття (серія ПСБ3). Геометричні параметри досліджених конструкцій наведено у таблиці 2.

На рисунках 11 і 13 показано розвиток відносних деформацій у крайніх волокнах нормального перерізу балок серії СБ4 і СБ2, що склалися відповідно із двотаврової або таврової сталеві частини без попереднього напруження та залізобетонної верхньої полицки. На рисунках 12 і 14 показано порівняння деформацій нормального перерізу балок серії СБ4 і СБ2, отриманих за запропонованою і нормативною методиками та експериментально, при навантаженні на балку, що відповідає межі пружної роботи сталеві балки ( $F = 55$  кН і  $2F = 120$  кН відповідно). Вплив зсувного зусилля на внутрішні зусилля у перерізах балок серій СБ2 і СБ4 склав близько 0,86%, що доводить можливість розрахунку сталезалізобетонних балок без попереднього напруження за методикою діючих нормативних документів. Проте за формулою (12) для балок серії СБ2 виявлено концентратори згинальних моментів у сталевій частині перерізу під зосередженими силами, що на 0,8% більше моменту на ділянці чистого згину.

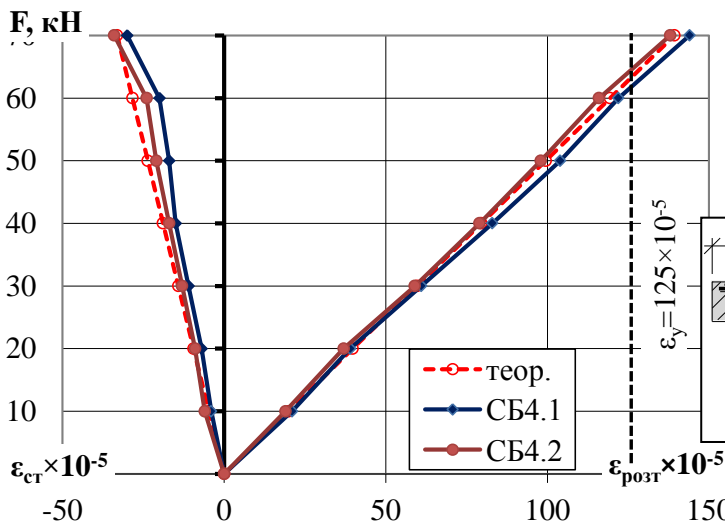


Рис. 11 – Відносні деформації крайніх волокон сталеві частини перерізу балок СБ4

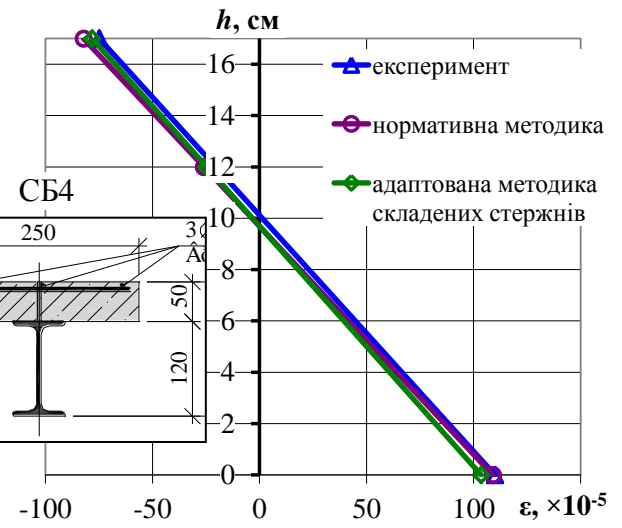


Рис. 12 – Деформації нормального перерізу СЗБ балок серії СБ4

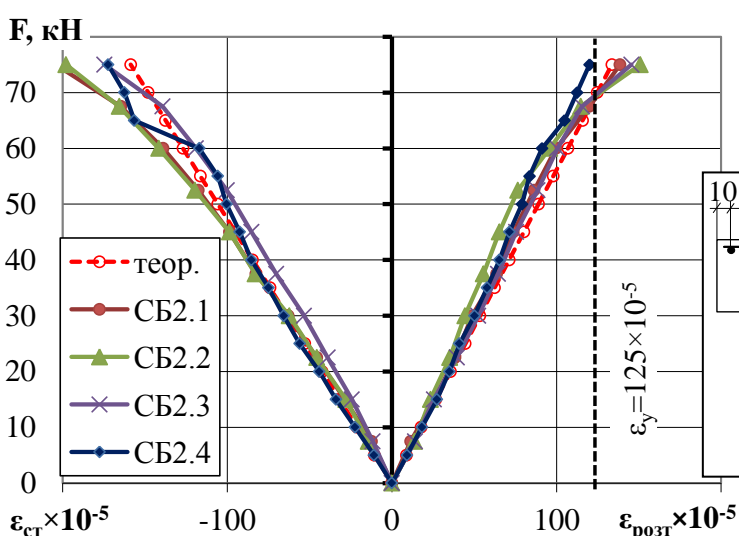


Рис. 13 – Відносні деформації крайніх волокон перерізу СЗБ балок серії СБ2

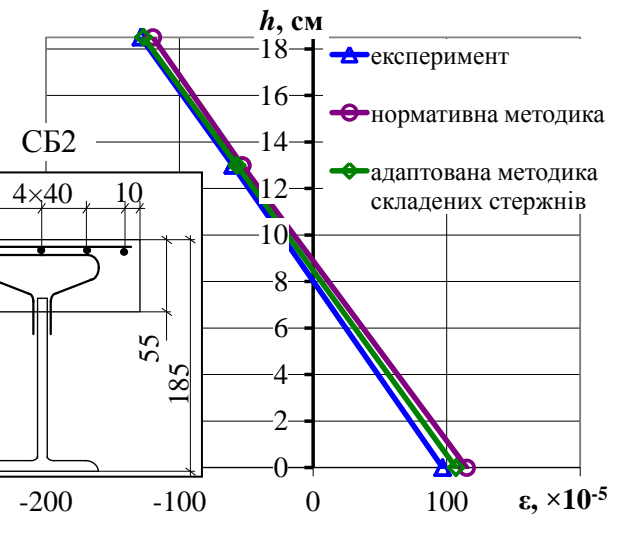


Рис. 14 – Деформації нормального перерізу СЗБ балок серії СБ2

У результаті експериментальних досліджень ефективності попереднього напруження сталеві частини перерізу (гнутого швелеру №10) балок серій ПСБ1, ПСБ2, СБ1 встановлено (рис. 15), що шляхом заповнення бетоном коритоподібного профілю можливо фіксувати попередньо вигнутий стан балки. Після набору бетоном міцності та відпуску домкрату, попередній вигин зменшується на 81% або 31% для зразків відповідно із заповненням бетоном в рівень чи на 30 мм вище рівня пер швелеру (серії ПСБ1 і ПСБ2 відповідно). Заповнення бетоном порожнини швелера без попереднього вигину підвищує на 19% несучу здатність і на 27% жорсткість. Попередній вигин швелера підвищує на 24% несучу здатність і на 29% жорсткість. Збільшення на 60% висоти перерізу бетонного осердя попередньо напруженого зразка підвищує на 31% несучу здатність і на 57% жорсткість.

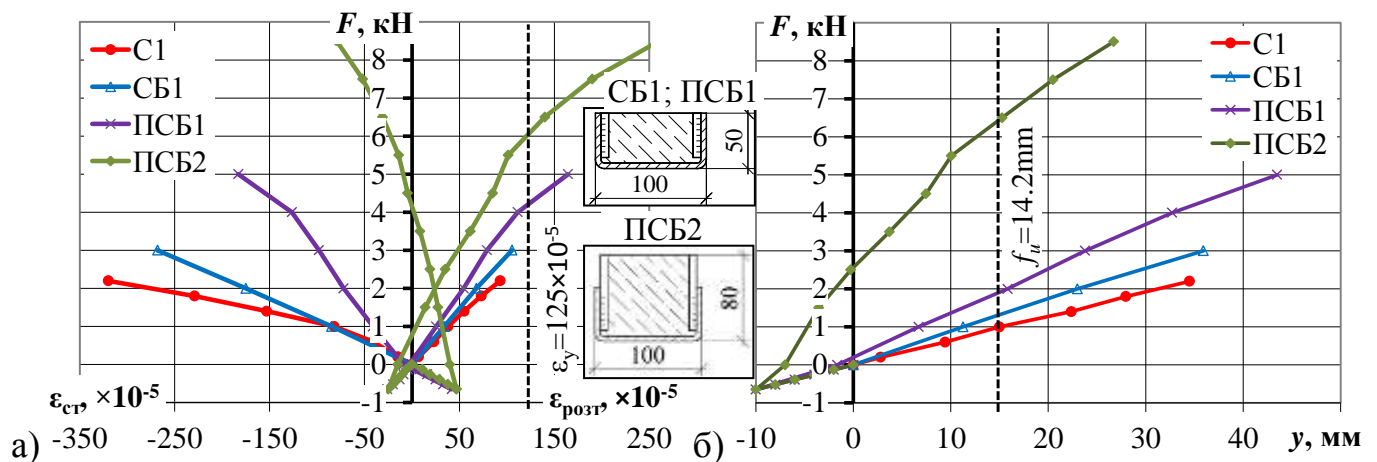


Рис. 15 – Порівняння розвитку відносних деформацій нормального перерізу сталеві частини (а) та прогинів (б) зразків серій СБ1, ПСБ1 і ПСБ2

Під час натурних випробувань ділянки сталезалізобетонного вбудованого перекриття габаритним розміром  $7,5 \times 9$  м із самонапруженими двотавровими сталевими балками серії ПСБ3 (рис. 16) встановлено, що при навантаженні  $900 \text{ кг/м}^2$  із врахуванням власної ваги прогини балок від попередньо вигнутого стану склали  $1/300$  прольоту, несуча здатність збільшилася на 15,9% та забезпечена робота всього сталевого перерізу на розтяг. Обмежені естетико-психологічними вимогами прогини балок зменшилися на 1,7 рази. Самонапруження сталевих балок реалізовано шляхом приварювання до нижньої полицки додаткового листа. Попередній вигин балок зафіксований на період бетонування плити тимчасовими стійками. Застосування попереднього напруження сталевих балок дозволило зменшити їх переріз із прокатного двотавра №45 на двотавр №36 із половою по нижньому поясу.

На рисунку 17 показано розвиток відносних деформацій у крайніх волокнах перерізу балок ПСБ3 сталезалізобетонного перекриття із збільшенням прикладеного навантаження. На графіку зміни відносних деформацій по висоті перерізу балки ПСБ3 на кожному етапі навантаження (див. рис. 18) спостерігається стрибок деформацій на межі верхньої полицки сталевого двотавра та низу бетонної плити,



що пояснюється різними напружено-деформованими станами компонентів попередньо напруженого СЗБ стержня до забезпечення сумісної їх роботи.

У таблиці 3 записано статистичні характеристики порівняння значень відносних деформацій, отриманих за запропонованою і нормативною методиками та експериментально. Визначено економічний ефект від попереднього напруження.



Рис. 16 – Балки ПСБЗ: а) виготовлення; б) навантаження; в) вимірювання прогинів

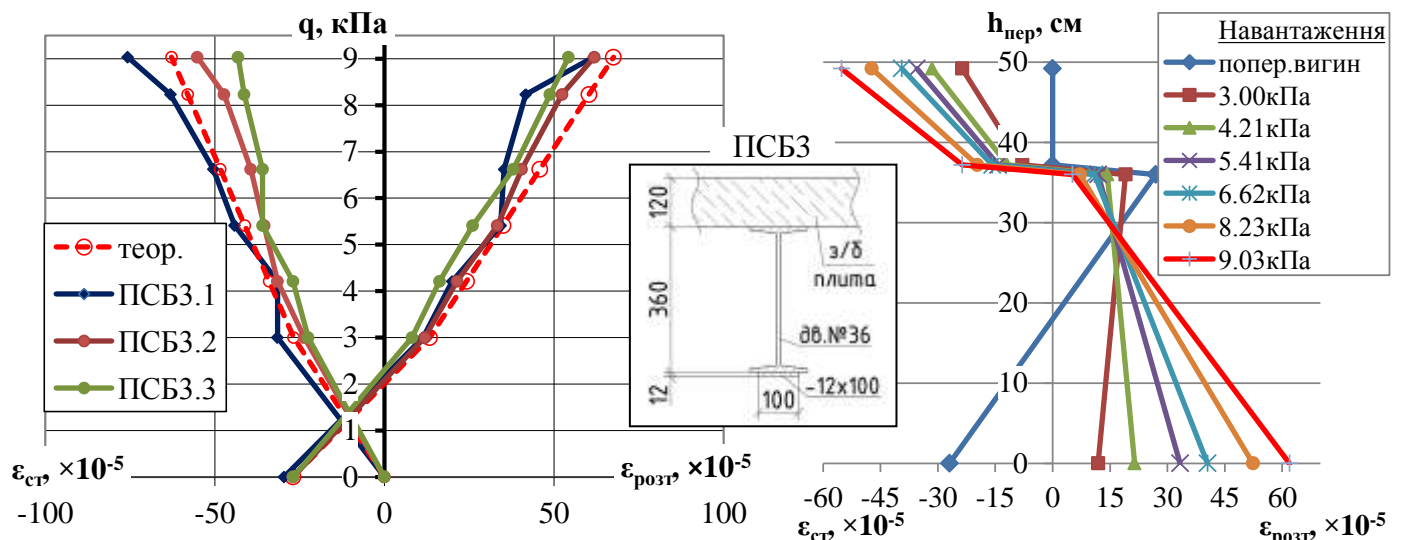


Рис. 17 – Відносні деформації крайніх волокон перерізу СЗБ балок серії ПСБЗ

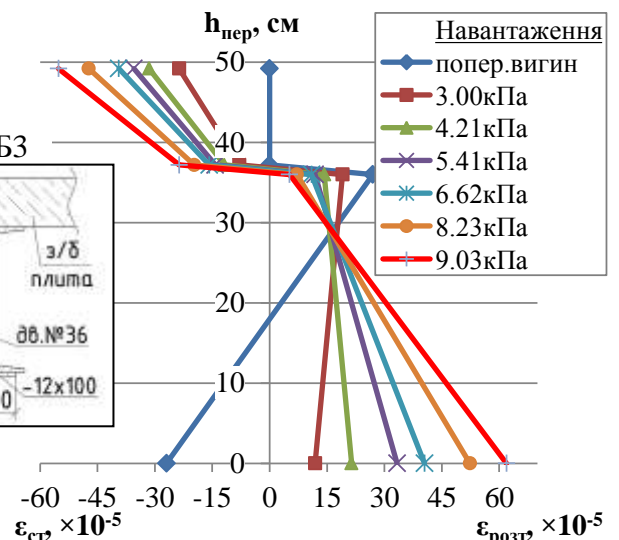


Рис. 18 – Деформації нормального перерізу СЗБ балок серії ПСБЗ

Таблиця 3

Статистичні характеристики порівняння значень відносних деформацій

Шифр серії балок	$m_X$	$V_X, \%$	Розбіжність $\varepsilon_{\text{норм}} / \varepsilon_{\text{теор}}, \%$	Причина розбіжності $\varepsilon$	Зменшення витрат сталі, %
	для $\varepsilon_{\text{теор}} / \varepsilon_{\text{експ}}$				
СБ4	1,083	12,4	5	–	–
СБ2	1,017	9,5	7	–	–
ПСБ1	0,960	14,9	24,6	неврахування генетичної нелінійності	18,9
ПСБ2	0,914	14,8	41,7		55,8
ПСБ3	1,030	13,2	18,8		11,1
середнє	1,001	12,9			



У п'ятому розділі розроблено технологію двостадійного самонапруження власною вагою бетонної полицки нерозрізних багатопролітних СЗБК з урахуванням генетичної нелінійності. У випадку трипролітної конструкції на першій стадії влаштовується монолітна плита середнього прольоту (рис. 19, а). На цьому етапі сталева балка на ділянці бетонування від власної ваги бетонної суміші прогинається вниз, чим змушує крайні вільні від навантаження ділянки вигинатися вгору. Ширина ділянки бетонування визначається точками нульових згинальних моментів. Після набору бетоном першої черги бетонування проектної міцності, виконують бетонування крайніх прольотів (див. рис. 19, б). При цьому крайні прольоти від ваги бетонної суміші прогинаються вниз, змушуючи середній проліт, що має вже сталезалізобетонний переріз, вигинатися вгору. Прогини суміжних прольотів під час двостадійного виготовлення визначаються із врахуванням пролітних та опорних жорсткостей балки, що має на стадіях виготовлення сталевий або СЗБ перерізи.

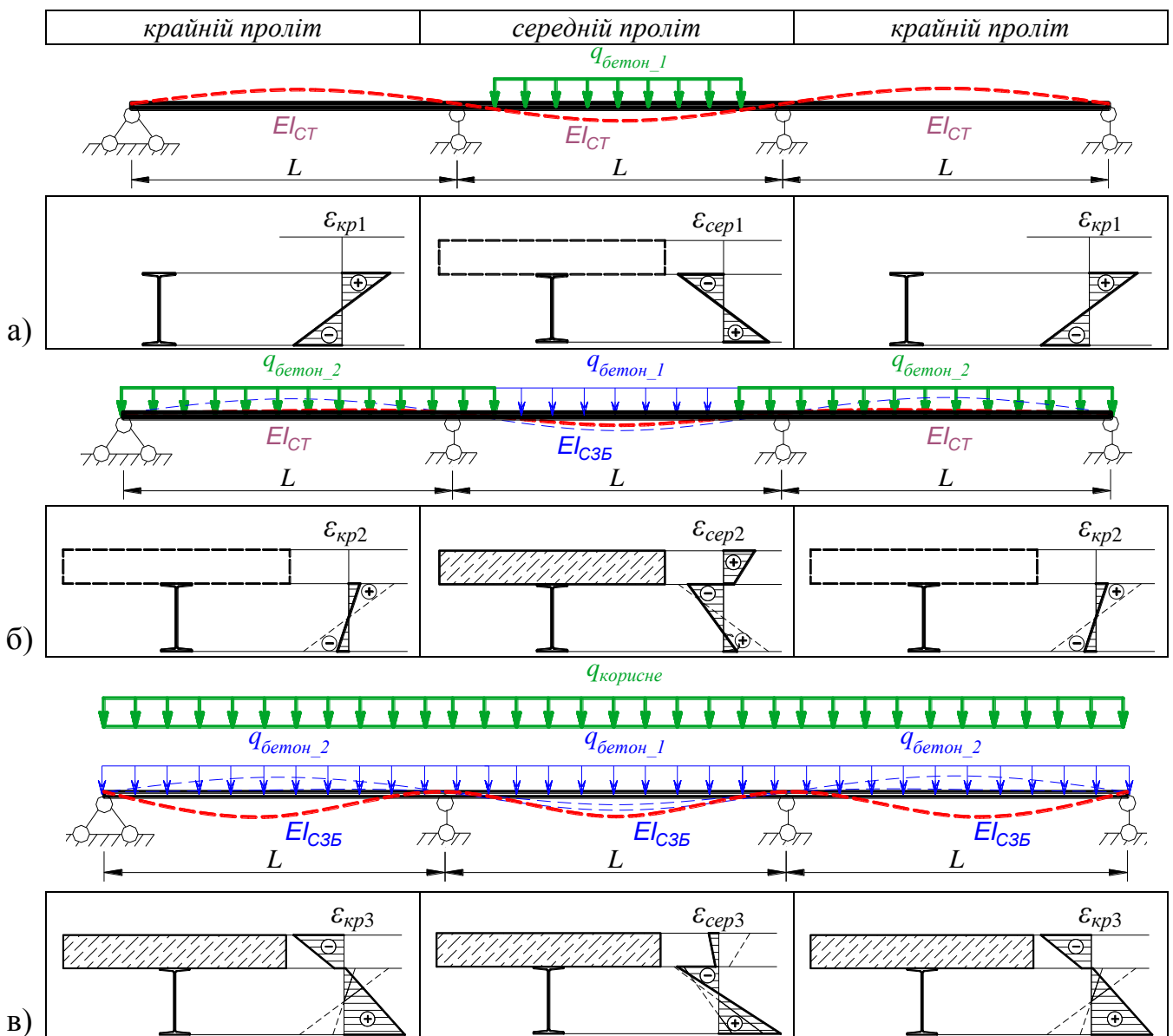


Рис. 19 – Створення попередніх самонапружень у нерозрізних згинаних СЗБК: бетонування середнього (а) та крайніх (б) прольотів; в) експлуатаційна стадія

Самонапруження утвореної нерозрізної СЗБК (див. рис. 19, в) полягає у створенні протилежних експлуатаційним попередніх напружень у сталевій частині перерізу ділянок балки, що розташовані у прольотах другої черги бетонування, та монолітній залізобетонній плиті першої черги бетонування.

Розрахунок самонапружених нерозрізних СЗБК розроблений на основні залежностей теорії складених стержнів, за допомогою яких можливо враховувати різний напружено-деформований стан компонентів конструкції до забезпечення сумісної їх роботи та зміну жорсткостей перерізу на кожному етапі створення і завантаження конструкції. На першій стадії бетонування відносні деформації сталеві частини перерізу знаходяться за формулою:

$$\varepsilon_{s1} = \pm \frac{M_1}{E_s \cdot W_s}, \quad (20)$$

де  $M_1$  – розрахунковий момент в перерізі від ваги бетонної суміші.

При несиметричному перерізі сталеві частини під час визначення  $\varepsilon$  необхідно враховувати відстань від центральної вісі перерізу до розглядуваної точки.

На другій стадії бетонування відносні деформації у перерізах крайніх прольотів, де працює тільки сталеві частини перерізу, знаходяться за залежністю:

$$\varepsilon_{s2}^{кр} = \frac{\pm M_1 \mp M_2}{E_s \cdot W_s}. \quad (21)$$

Відносні деформації у перерізах бетонної і сталеві частин середньої ділянки:

$$\varepsilon_{c2}^{сеп} = \frac{M_2 \cdot y_T}{E \cdot I}, \quad \varepsilon_{s2}^{сеп} = \pm \frac{M_1}{E_s \cdot W_s} \pm \frac{M_2 \cdot y_T}{E \cdot I}. \quad (22)$$

На стадії експлуатації (розрахунковий момент  $M_3$ ) відносні деформації рівні:

– у перерізах крайніх прольотів у бетонній та сталеві частинах відповідно:

$$\varepsilon_{c3}^{кр} = \frac{M_3 \cdot y_T}{E \cdot I}, \quad \varepsilon_{s3}^{кр} = \frac{\pm M_1 \mp M_2}{E_s \cdot W_s} \pm \frac{M_3 \cdot y_T}{E \cdot I}. \quad (23)$$

– у перерізах середнього прольоту у бетонній та сталеві частинах відповідно:

$$\varepsilon_{c3}^{сеп} = \frac{(M_2 - M_3) \cdot y_T}{E \cdot I}, \quad \varepsilon_{s3}^{сеп} = \pm \frac{M_1}{E_s \cdot W_s} \pm \frac{(M_2 - M_3) \cdot y_T}{E \cdot I}. \quad (24)$$

Достовірність наведених теоретичних залежностей аналізу напружено-деформованого стану підтверджено результатами фізичного експерименту. Випробувано дві сталезалізобетонні трипролітні плити довжиною 6 м із коефіцієнтом зовнішнього армування 1,7%. Зразки відрізнялися шириною ділянок бетонування на кожній стадії, що дало можливість дослідити регулювання розвитку прогинів у крайніх і середньому прольотах за рахунок зміни жорсткості перерізу на опорах (див. рис. 20). Виявлено, що несуча здатність і деформативність трьох прольотів на дію експлуатаційного навантаження буде однаковою за умови не доведення бетонування на першій стадії бетонування на 1/10 прольоту (див. рис. 21). На рисунку 22 показано зміну відносних деформацій нормальних перерізів крайніх та середнього прольотів на кожному етапі створення та навантаження конструкції.

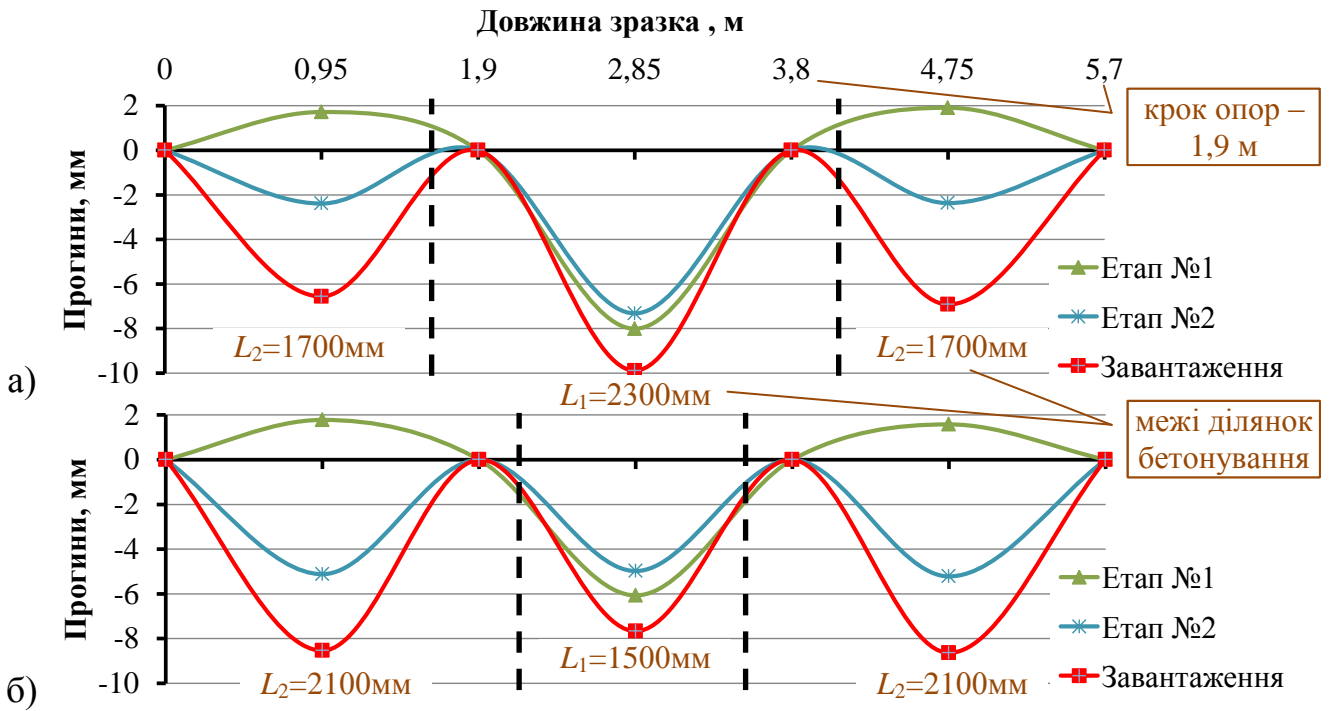


Рис. 20 – Зміна прогинів в кінці двох етапів бетонування та при максимальному завантаженні зразків: а) 1,7-2,3-1,7 СЗБП 0,53×6,0; б) 2,1-1,5-2,1 СЗБП 0,53×6,0

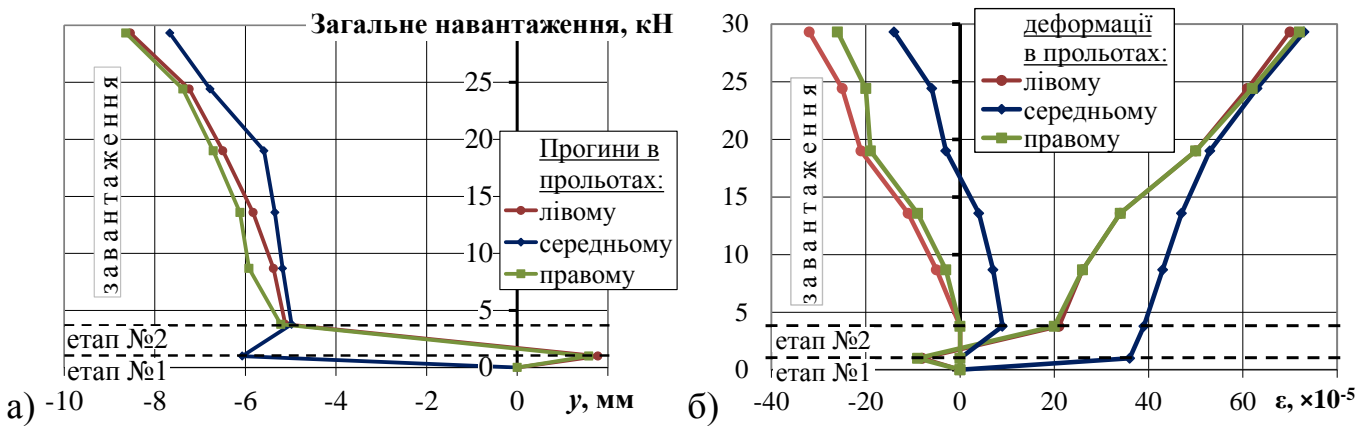


Рис. 21 – Розвиток прогинів у прольотах (а) та відносних деформацій нижньої і верхньої фібри перерізу (б) в процесі створення та навантаження СЗБ плит

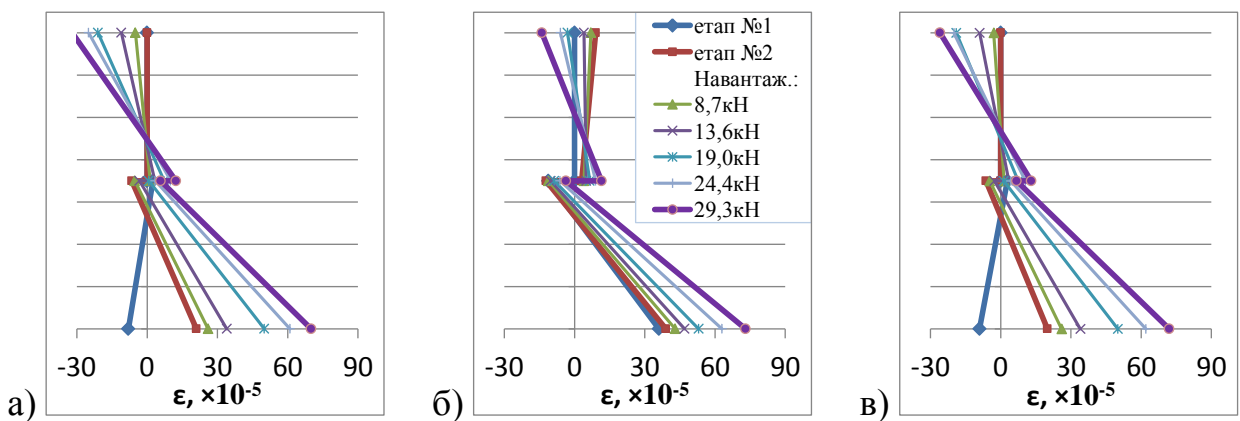


Рис. 22 – Експериментальні розподіли деформацій нормальних перерізів крайніх (а, в) та середнього (б) прольотів плити 2,1-1,5-2,1 СЗБП 0,53×6,0

У шостому розділі розглянуто ресурсоощадне використання конструктивної нелінійності для самонапруження СЗБК під час укрупнювальної збірки. Розроблено конструкцію, робочі креслення і технологію самонапруження трикутної кроквяної системи аркового типу із сталеву зтяжкою, виготовленої з типових ребристих залізобетонних плит. Обґрунтування оптимальних розмірів показано на рисунку 23. Розвантажувальні опорні моменти, що дозволяють подвоювати проліт кроквяної системи, запропоновано створювати від власної ваги плит, а саме: у карнизних вузлах – за рахунок збільшення плеча пари сил від зтяжки до нейтральної вісі стиснутої зони бетону, а у гребеневому вузлі – за рахунок влаштування гребеневого шарніру нижче нейтральної вісі стиснутої зони бетону (див. рис. 24).

До новизни розробки конструкцій такої кроквяної системи відносяться дослідження, по-перше, створення розвантажувальних опорних моментів у гребеневому та карнизних вузлах, по-друге, впливу форми та розмірів розрахункових перерізів залізобетонних покрівельних та стінових панелей на зміну внутрішніх зусиль в них та, по-третє, можливості виготовлення залізобетонних плит кроквяної системи в типовій опалубці, призначеній для виготовлення серійних ребристих залізобетонних плит покриття із габаритними розмірами в плані 3×12 м.

Конструктивну нелінійність самонапружених СЗБК також досліджено під час включення в роботу із сталевими фермами збірно-монолітного перекриття, влаштованого за арковою схемою по нижньому поясу ферм. Після набору міцності бетону замоноличення швів, розпірне аркове збірно-монолітне перекриття сприймає корисне навантаження, завдяки чому розвантажує сталеві ферми.

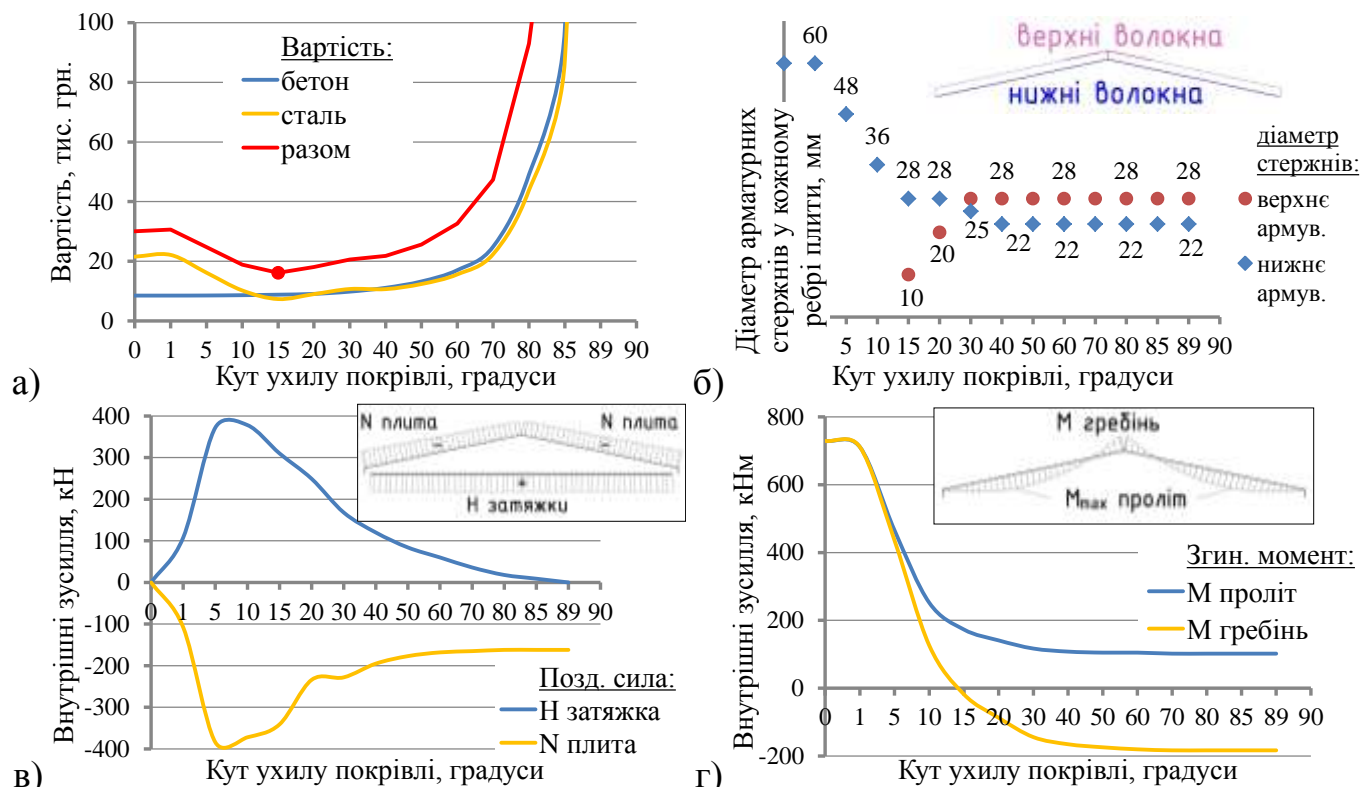


Рис. 23 – Обґрунтування оптимальних розмірів кроквяної системи: а) зміна вартості; б) діаметри армування плити; в-г) зміна поздовжньої сили і згинального моменту

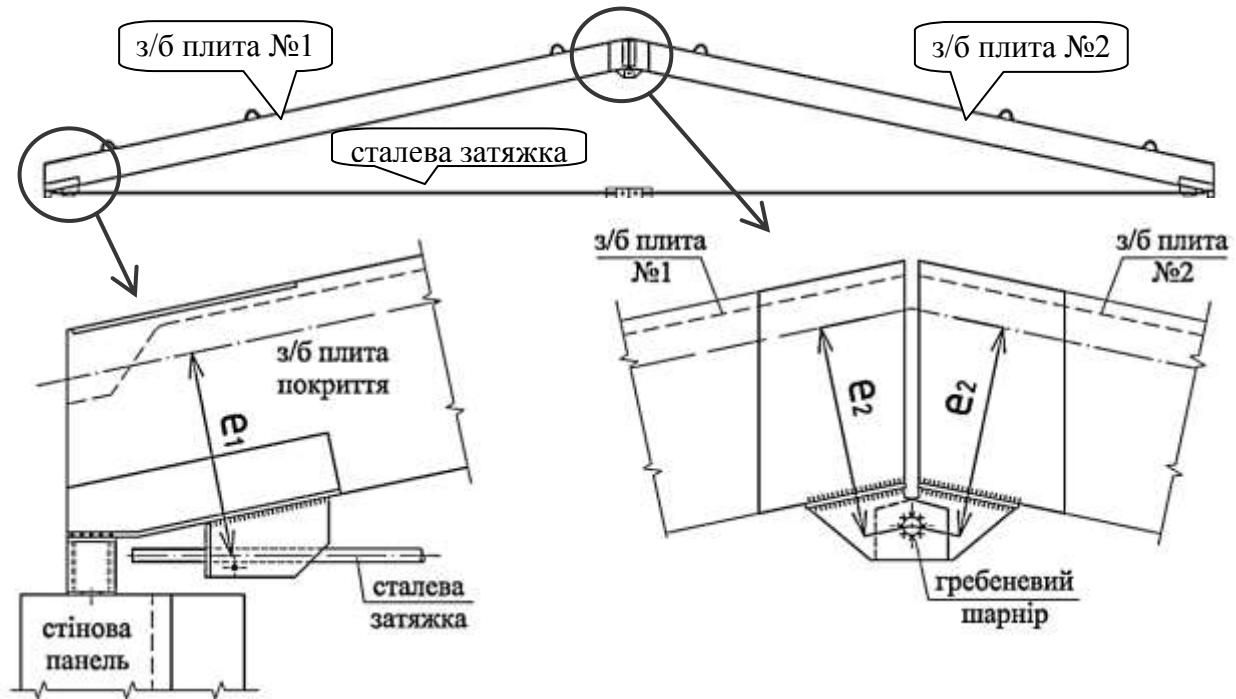


Рис. 24 – Ексцентричні вузли з'єднання конструктивних елементів кровляної системи, за допомогою яких створюють розвантажувальні опорні моменти у плитах

У **сьомому розділі** досліджено створення самонапружень у СЗБК каркасів експлуатованих будівель із врахуванням конструктивно нелінійної їх роботи. Розглянуто вплив встановлення підкосів між деформованими від власної ваги сталезалізобетонного перекриття сталевими балками та колонами на врівноваження пролітних та опорних згинальних моментів у балках (див. рис. 25). Неврахування початкового деформованого стану балок (див. рис. 26, а-б) дає похибку результатів визначення розрахункового згинального моменту до 27%; стріли прогину – до 25%.

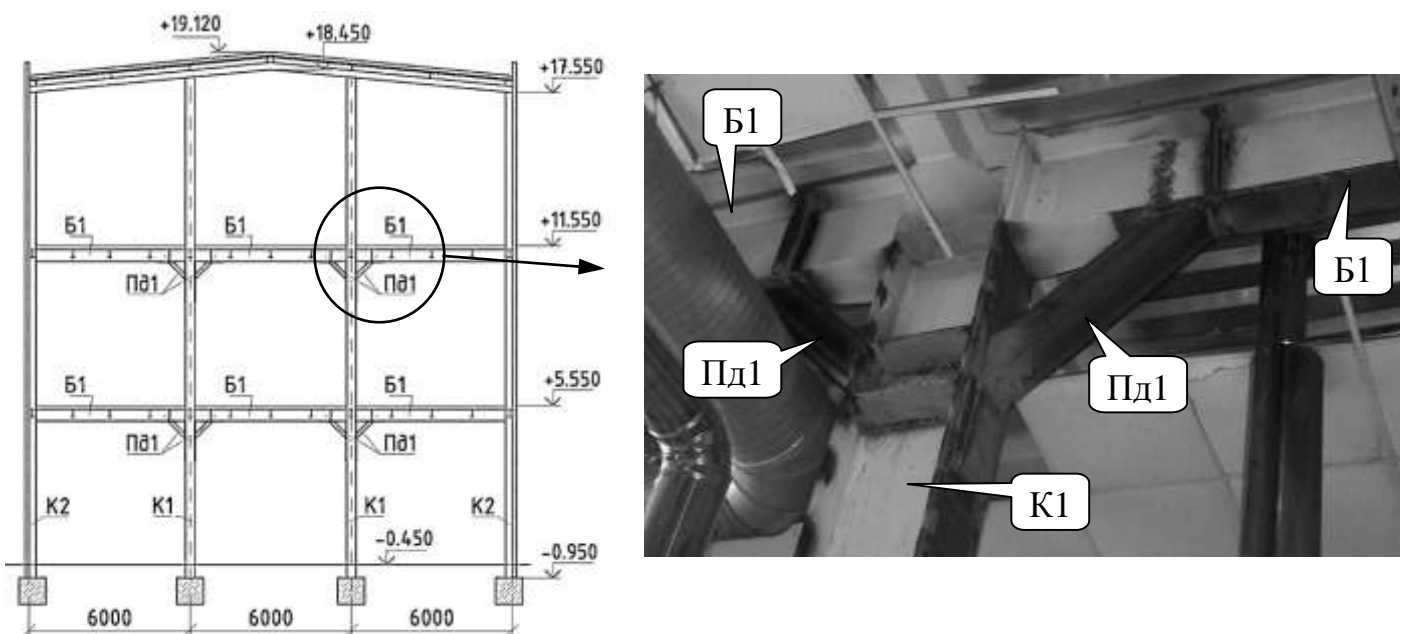


Рис. 25 – Встановлення підкосів між деформованими від власної ваги сталезалізобетонного перекриття сталевими балками та колонами

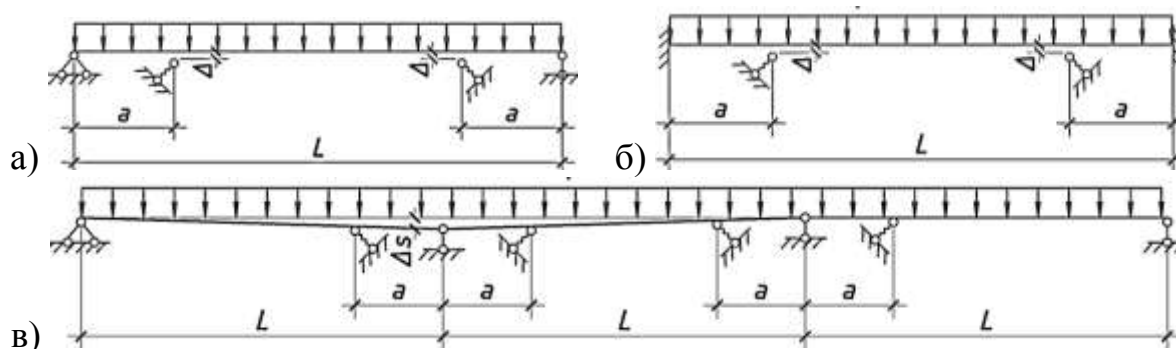


Рис. 26 – Приклади розрахункових схем під час дослідження конструктивної нелінійності СЗБК перекриттів: а-б) монтаж підкосів; в) просідання суміжних опор

Конструктивно нелінійну роботу сталезалізобетонного перекриття досліджено при нерівномірних просіданнях основ суміжних колон (рис. 26, в). Неврахування зазору між підкосами підсилення та сталевими балками, влаштованими по розрізній схемі, завищує розрахунковий згинальний момент до 56%, а при нерозрізній схемі балок – до 54%. Відповідно величину стріли прогину таке неврахування завищує у 2,14 рази при розрізній схемі балок та до 38% при нерозрізній схемі.

Розроблено конструктивні заходи самонапруження створених СЗБК під час підсилення пошкоджених елементів, а саме під час підсилення сталевих колон бетонуванням та залізобетонних колон підсиленних трубобетонною обіймою.

На рисунку 27 показано порівняння ресурсоощадності (підвищення несучої здатності та жорсткості в результаті конструктивних особливостей чи технологій створення) розроблених та досліджених самонапружених СЗБК. Підвищення даних характеристик обчислено для кожної серії зразків відносно аналогічних зразків без попереднього напруження. На рисунку 27 також показані види нелінійностей, що досліджені під час створення та експлуатації запропонованих самонапружених конструкцій. Результати, висвітлені на рисунку 27, доводять ефективність та доцільність використання самонапружених СЗБК як при новому будівництві, так і під час підсилення експлуатованих конструкцій.

Порівнюючи ресурсоощадність розроблених самонапружених СЗБК можна відзначити, що вплив фізичної та геометричної нелінійностей на несучу здатність досліджених конструкцій незначний (1,9% і 0,86% відповідно). Підвищення несучої здатності до 47% та жорсткості до 70% досягнуто за рахунок зміни жорсткості поперечного перерізу під час створення СЗБК (генетична нелінійність) та заходів з оптимізації розрахункової схеми конструкцій (конструктивна нелінійність). Найбільше підвищення несучої здатності виявлено для зразків нерозрізних самонапружених сталезалізобетонних плит (СЗБП2), що виготовлялися за двостадійною технологією бетонування. Найбільше підвищення жорсткості зафіксовано для самонапружених балок сталезалізобетонного перекриття (ПСБ3), що напружувалися попередніми вигинами. Значне підвищення несучої здатності і жорсткості попередньо напруженої балки ПСБ2 пояснюється не тільки її попереднім вигином до бетонування, а й оптимізованими розмірами бетонного осердя.

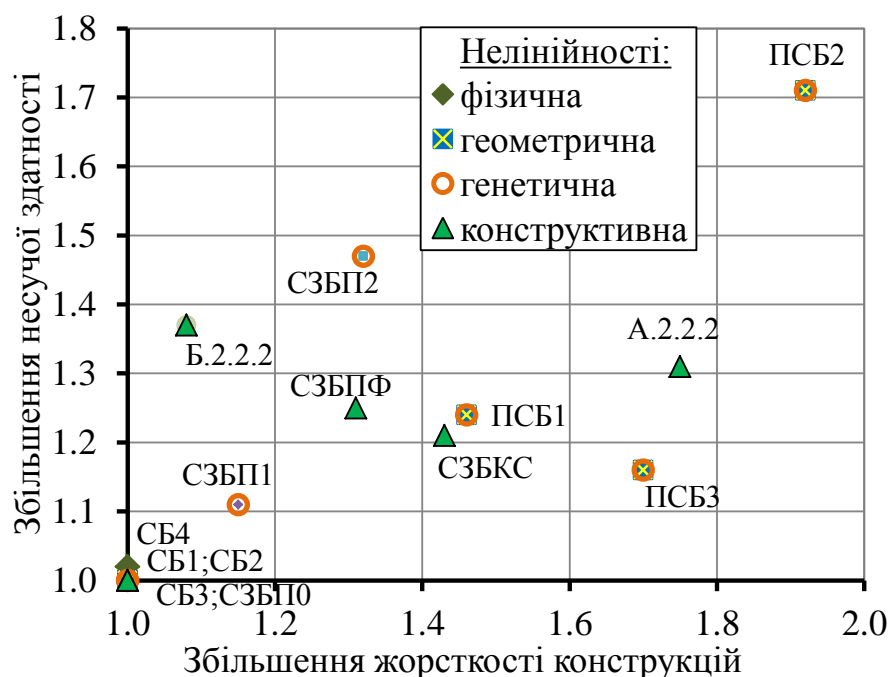


Рис. 27 – Відносні показники ресурсоощадності самонапружених СЗБК

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-технічну проблему розроблення теоретичних основ розрахунку, конструювання і виготовлення ресурсоощадних самонапружених сталезалізобетонних конструкцій з урахуванням їх нелінійних властивостей. Проведені в роботі теоретичні й експериментальні дослідження дають змогу зробити наступні висновки.

1. Проаналізовано і систематизовано інженерно-конструкторські методи та заходи створення попередніх напружень у компонентах СЗБК, що дозволило виявити методи їх самонапруження й оптимізації робочих схем. До них відносять: застосування власної ваги під час багатостадійної технології створення статично невизначених згинаних конструкцій; влаштування зовнішніх сталевих затяжок, натягнутих саморегулюючими системами; заміна верхньої стиснутої полицки із сталеві на залізобетонну; уточнення дійсних розрахункових схем.

2. Досліджено ресурсоощадність перерозподілу зусиль у несучих елементах будівель. Доведено, що в процесі регулювання зусиль у СЗБК додаткове підвищення коефіцієнту армування не більше, ніж на 20%, збільшує їх несучу здатність до 70%, а жорсткість – до 2,5 разів. Зміна розрахункової схеми та поперечного перерізу в процесі створення самонапружених СЗБК без зміни коефіцієнту армування сприяє збільшенню їх несучої здатності та жорсткості в 1,4 і 1,82 рази відповідно. Для СЗБК із оптимізованим поперечним перерізом шляхом заміни стиснутої сталеві полицки на бетонну або оптимізації топології та кроку отворів у стінці сталеві елемента, забезпечено на тому ж рівні несучу здатність та жорсткість з одночасним зменшенням до 35% коефіцієнта армування.

3. Розвинуто метод визначення внутрішніх зусиль із врахуванням зсувного зусилля у шарах згинаючого сталезалізобетонного стержня. Жорсткість зв'язків зсуву



запропоновано визначати з уточненням крайових умов їх закріплення в бетонному шарі та жорсткостей з'єднувальних шарів. Математичне сподівання відношення теоретично визначеного значення взаємного зсуву до експериментального дорівнює 1,16; коефіцієнт варіації відхилень – 24,9%. Вплив зсувного зусилля на внутрішні зусилля у перерізах досліджуваних згинаних СЗБК склав близько 0,86%, що доводить можливість розрахунку таких конструкцій за методикою чинних нормативних документів.

4. Удосконалено розрахункову модель згинаного двошарового сталезалізобетонного елемента шляхом врахування у вихідних даних до розрахунку генетичної нелінійності (різного напружено-деформованого стану компонентів конструкції до забезпечення сумісної їх роботи). Досліджено 4 серії зразків, що склалися із 6-ти балок прольотом 1,5 м і 2 м; 6-ти балок стінових прогонів прольотом 3 м та 3-х балок прольотом 8,7 м перекриття громадської будівлі. Удосконалена розрахункова модель дає уточнення значень деформацій нормального перерізу досліджених сталезалізобетонних балок на 24%. Серед всіх серій випробуваних зразків середній коефіцієнт варіації відношення теоретично отриманих значень відносних деформацій на експериментальні дорівнює 12,5%.

5. Розглянуто алгоритми чисельного скінченно-елементного моделювання роботи самонапружених СЗБК із врахуванням нелінійностей. Врахування геометричної нелінійності згинаних СЗБК дає уточнення експлуатаційних напружень в перерізах досліджуваних конструкцій на 0,86%; фізичної нелінійності – до 1,9%; генетичної нелінійності – до 24%; конструктивної нелінійності – до 37%; генетично-конструктивної – до 47%.

6. Розроблено конструкції, робочі креслення і технологію самонапруження компонентів сталезалізобетонних конструкцій, зокрема:

- сталевих балок сталезалізобетонних перекриттів та сталезалізобетонних прогонів, напружених попередніми протилежно експлуатаційним вигинами;
- нерозрізних сталевих конструкцій багатопролітних сталезалізобетонних перекриттів, напружених власною вагою монолітної залізобетонної плити;
- трикутної залізобетонної кроквяної системи аркового типу із сталеву зтяжкою, напруженої власною вагою залізобетонних плит шляхом створення розвантажувальних опорних моментів, що дозволяє подвоювати проліт кроквяної системи із застосуванням типових ребристих залізобетонних плит;
- експлуатованих підсилюваних підкісною системою сталезалізобетонних перекриттів, напружених власною вагою монолітної залізобетонної плити, що дозволяє врівноважити пролітні та опорні згинальні моменти в балках та приводить до збільшення корисного навантаження на перекриття на 37% та зменшення прогинів до 75%.

7. Проведено випробування розроблених самонапружених СЗБК, виявлено особливості їх напружено-деформованого стану та доведено ефективність розроблених методів самонапруження, зокрема:



- під час натурних випробувань ділянки сталезалізобетонного перекриття габаритним розміром 7,5×9 м із самонапруженими сталевими балками встановлено, що їх несуча здатність збільшилася на 15,9% та забезпечена робота всього сталевого перерізу на розтяг;

- під час експериментальних досліджень зразків СЗБ нерозрізних трипролітних плит загальною довжиною 6 м доведено можливість змінювати жорсткість перерізу в процесі виготовлення та регулювати прогини для одночасного вичерпування несучої здатності плити у всіх прольотах, що дає можливість збільшити корисне навантаження до 47%.

8. Впроваджено ефективні рішення самонапруження СЗБК в нове будівництво та під час реконструкції існуючих будівель, а саме під час влаштування вбудованих самонапружених СЗБ перекриттів житлової будівлі у м. Харків (досягнуто зменшення витрат сталі на 11,1%); під час влаштування самонапруженого за двостадійною технологією бетонування СЗБ перекриття будівлі у м. Пологи (досягнуто зменшення витрат сталі на 8,7%); під час встановлення підкосів під деформоване СЗБ перекриття реконструйованої промислової будівлі у м. Полтава (отримана можливість збільшення корисного навантаження на 28%); під час визначення технічного стану сталевих ферм з розташованим по нижньому поясу збірним бетонним перекриттям будівлі Полтавського краєзнавчого музею; під час виконання перевірочних розрахунків комбінованих СЗБ перекриттів підвальних приміщень громадської будівлі у м. Пирятин (доведена можливість подальшої безпечної експлуатації).

## **СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

*Публікації, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації*

1. Гасенко, А.В. (2022). *Самонапруження сталезалізобетонних конструкцій: монографія*. Полтава: ПП «Астроя».

2. Семко, О.В., Гасенко, А.В., Дарієнко, В.В. (2009). Теоретичне моделювання напружено-деформованого стану гнучких анкерів. *Зб. наук. пр.: Вісник ОДАБА. Серія: Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Сейсмостійкість будівель та споруд*, 33, 140-145.

3. Семко, О.В., Гасенко, А.В., Дарієнко, В.В. (2009). Визначення несучої здатності сталезалізобетонних нерозрізних балок з гнучкими анкерами. *Зб. наук. пр. ПДАБА: Будівництво, матеріалознавство, машинобудування*, 50, 510-514.

4. Гасенко, А.В., Пігуль, О.В., Маган, І.В. (2010). Моделювання напружено-деформованого стану безкапітельних вузлів монолітного залізобетонного перекриття із сталобетонними колонами. *Зб. наук. пр.: Вісник СНАУ. Серія : Будівництво*, 11 (14), 53-60.

5. Семко, О.В., Воскобійник, О.П., Гасенко, А.В. (2010). Напружено-деформований стан сталезалізобетонних балкових конструкцій з дефектами. *Зб. наук. пр. ПДАБА: Будівництво, матеріалознавство, машинобудування*, 56, 476-482.

6. Семко, О.В., Гасенко, А.В. (2010). Аналіз розрахунку методом скінченних елементів напружено-деформованого стану проміжного вузла сталезалізобетонних рам. *Зб. наук. пр. НУ «Львівська політехніка». Серія: Теорія і практика будівництва*, 662, 345-349.

7. Семко, О.В., Гасенко, А.В., Дарієнко, В.В., Богуш, О.І. (2011). Поєднання сталеві та бетонної частин сталезалізобетонних конструкцій за допомогою анкерів системи Nelson. *Наук.-техн. зб. ХНАМГ: Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*, 97, 77-82.

8. Пічугін, С.В., Семко, О.В., Трусів, Г.М., Бібік, В.М., Гасенко, А.В., Патенко, Ю.Є. (2011). Результати обстежень несучих конструкцій будівель виробничої бази будівельно-монтажного управління. *Зб. наук. пр. НУВГП: Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 21, 517-524.

9. Гасенко, А.В., Крупченко, О.А. (2011). Визначення величини зсувного зусилля у двотаврових сталезалізобетонних балках. *Зб. наук. пр. НДІБК: Будівельні конструкції*, 74, кн. 2, 402-406.

10. Гасенко, А.В., Пащенко, А.М., Голов, О.О., Северин, В.О. (2011). Розрахунок на стійкість сталобетонних колон, виконаних із швелерів, методом скінченних елементів з урахуванням дійсних діаграм роботи матеріалів. *Зб. наук. пр. ОДАБА: Сучасні будівельні конструкції з металу і деревини*, 15, ч. 2, 70-74.

11. Гасенко, А.В. (2012). Конструктивні рішення вузлів поєднання сталобетонних колон з перекриттям у громадських та промислових будівлях. *Зб. наук. пр. ПНТУ. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*, 3 (33), 55-61.

12. Пічугін, С.Ф., Семко, О.В., Трусів, Г.М., Бібік, В.М., Гасенко, А.В. (2012). Типові пошкодження несучих конструкцій складських і виробничих будівель та шляхи запобігання їх утворення. *Зб. наук. пр. НУВГП: Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 23, 715-720.

13. Гасенко, А.В., Пащенко, А.М., Дарієнко, В.В. (2012). Чисельне дослідження положення нульової лінії по довжині нерозрізних сталезалізобетонних балок з різним кроком встановлення гнучких анкерів. *Наук.-техн. зб. ХНАМГ: Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*, 103, 68-73.

14. Гасенко, А.В., Кириченко, В.А., Крупченко, О.А. (2013). Чисельні дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених залізобетонних ребристих плит покриття. *Зб. наук. пр. ПНТУ. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*, 4 (39), Т.1, 78-83.

15. Стороженко, Л.І., Семко, О.В., Воскобійник, О.П., Гасенко, А.В. (2013). До питання розроблення національного додатку до ДСТУ-Н Б EN 1994-1-4:2010. *Зб. наук. пр. НУВГП: Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 27, 247-257.

16. Гасенко, А.В., Гудзь, С.А., Дарієнко, В.В. (2014). Оптимізація розмірів сталезалізобетонних балок при їх розрахунку згідно з вимогами ДСТУ Б EN 1994-1-1:2010. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ*, 148, ч. 2, 123-129. (НМБД Index Copernicus).

17. Семко, О.В., Гасенко, А.В., Дарієнко, В.В. (2014). Про можливість зменшення перерізу сталевих балок перекриття шляхом урахування сумісної роботи з монолітною залізобетонною плитою. *Зб. наук. пр. ПНТУ. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*, 3 (42), т. 2, 115-119. (НМБД Index Copernicus).

18. Гасенко А.В., Юрко, П.А. (2014). Прогнозування напружено-деформованого стану стиснутих залізобетонних елементів шляхом комп'ютерного моделювання. *Зб. наук. пр.: Вісник СНАУ. Серія : Будівництво*, 10 (18), 85-90.

19. Пічугін, С.Ф., Семко, О.В., Бібк, В.М., Трусів, Г.М., Бібік, М.В., Гасенко, А.В. (2015). Особливості зміни зусиль в елементах сталевих каркасів промислової будівлі за 80 років експлуатації. *Зб. наук. пр.: Вісник ОДАБА. Серія: Будівельні матеріали та технології*, 61, 339-346.

20. Hasenko, A.V., Yurko, I.A., Fenko, O.G. & Yurko, P.A. (2017). Causes of the eccentric compression reinforced concrete elements fixed joint stanchion and rafter gable frame of agricultural buildings. *The Int. Sc. Period. Journal: Modern Technology and Innovative Technologies*, 2, 2, 126-129. <https://doi.org/10.21893/2567-5273.2017-02-02-033> (НМБД Index Copernicus).

21. Гасенко, А.В., Новицький, О.П., Рожко, В.Н. (2017). Особливості створення скінченно-елементної моделі системи «основа – віброармована ґрунтоцементна паля». *Зб. наук. праць УкрДУЗТ*, 167, 34-41. (НМБД Index Copernicus).

22. Гудзь, С.А., Гасенко, А.В. (2017). Розбіжність результатів розрахунку позацентрово стиснутих сталевих двотаврових елементів за згинально-крутильною формою втрати стійкості. *Нові технології в будівництві*, 32, 85-90.

23. Гарькава, О.В., Гасенко, А.В. (2017). Визначення міцності залізобетонних колон при косому стиску. *Наука та будівництво*, 4 (14), 29-35.

24. Pavlikov, A.M., Mykytenko, S.M. & Hasenko, A.V. (2018). Effective structural system for the construction of affordable housing. *International Journal of Engineering & Technology*. 7, 3.2, 291-298. (НМБД Scopus).

25. Semko, O.V., Fenko, O.G., Hasenko, A.V., Harkava, O.V. & Kyrychenko, V.A. (2018). Influence of external and internal cooling at solidification on strength of brittle duralumin in compression. *MATEC Web of Conferences*, 230, 02029. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823002029> (НМБД Scopus).

26. Semko, O.V., Hasenko, A.V., Mahas, N.N. & Sirobaba, V.O. (2018). Bearing Capacity and Deformability of Three-Component Steel Reinforced Concrete Constructions Made of Lightweight Concrete. *International Journal of Engineering & Technology*. 7, 4.8, 53-57. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27213>

27. Гудзь, С.А., Гасенко, А.В. (2018). Вплив жорсткості приєднаних конструкцій на стійкість балок. *Зб. наук. пр. КНУБА: Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*, 35, 114-123.

28. Семко, О.В., Гасенко, А.В., Гарькава, О.В., Данисько, В.Ю. (2018). Вплив зведення інженерних споруд на розвиток пошкоджень несучих конструкцій будівель

прилеглих територій. *Зб. наук. пр. ДНУЗТ: Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 14, 49-56. <https://doi.org/10.15802/bttrp2019/152875>

29. Semko, O.V., Hasenko, A.V., Mahas, N.M., Fenko, O.G. & Sirobaba, V.O. (2019). Stability of light steel thin-walled structures filled with lightweight concrete. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 708(1). (HMБД Scopus).

30. Hudz, S.A., Gasii, G.M., Hasenko, A.V. & Dariienko, V.V. (2019). Plastic bearing capacity of the steel element cross-section by internal forces combination and restraint. *Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 2 (53), 73-78. <https://doi.org/10.26906/znp.2019.53.1893> (HMБД Index Copernicus).

31. Pavlikov, A.M., Harkava, O.V., Hasenko, A.V. & Andriiets, K.I. (2019). Comparative analysis of numerical simulation results of work of biaxially bended reinforced concrete beams with experimental data. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 77, 84-92. <https://doi.org/10.31650/2415-377X-2019-77-84-92>

32. Semko, O.V., Hasenko, A.V., Kyrychenko, V.A. & Sirobaba, V.O. (2020). The rational parameters of the civil building steel frame with struts. *Lecture Notes in Civil Engineering book series*, 73, 235-243. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_25) (HMБД Scopus).

33. Hasenko, A.V., Semko, O.V., Drobotia, O.V. & Sirobaba, V.O. (2020). Experimental and numerical studies of nodes of light steel-reinforced concrete structures. *Proceeding of the 2020 session of the 13<sup>th</sup> fib Intern. PhD-Symposium In Civil Engineering*. Paris, France. 173-178. (HMБД Scopus).

34. Semko, O.V., Hasenko, A.V., Filonenko, O., & Mahas, N. (2020). Civil building frame-struts steel carcass optimization by efforts regulation. *Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1 (54), 47-54. <https://doi.org/10.26906/znp.2020.54.2269> (HMБД Index Copernicus).

35. Semko, O.V., Hasenko, A.V., Fenko, O.G., Godwin Emmanuel B. Arch., J. & Dariienko, V.V. (2020). Architectural and constructive decisions of a triangular reinforced concrete arch with a self-stressed steel brace. *Зб. наук. пр.: Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, 3 (34), 209-217. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).209-217](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).209-217)

36. Гасенко, А.В., Новицький, О.П., Пенц, В.Ф. (2021). Реконструкція багатопверхових промислових будівель під доступне житло із використанням ресурсозберезувальних конструктивних рішень. *Зб. наук. пр.: Вісник НУВГП. Серія: Технічні науки*, 2 (94), 27-40. <https://doi.org/10.31713/vt220214>

37. Hasenko, A.V. (2021). Deformability of bends continuous three-span preliminary self-stressed steel concrete slabs. *Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1 (56), 135-141. <https://doi.org/10.26906/znp.2021.56.2518> (HMБД Index Copernicus).

38. Semko, O. & Hasenko, A.V. (2021). Self-stressed steel-reinforced concrete floor slab stress-strain state numerical analysis taking into account the concreting stages. *IOP*

*Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1141, 1, id.012043, 7.  
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1141/1/012043>

39. Hasenko, A.V., (2021). Previous self-stresses creation methods review in bent steel reinforced concrete structures with solid cross section. *Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 2 (57), 82-89.  
<https://doi.org/10.26906/znp.2021.57.XXXX> (НМБД Index Copernicus).

40. Гасенко, А.В. (2022). Досвід створення попередніх самонапружень у стиснутих сталезалізобетонних елементах. *Український журнал будівництва і архітектури* 3, 009, 35-43. <https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.050722.35.862>

41. Гасенко, А.В. (2022). Огляд методів створення попередніх самонапружень у згинаних просторових сталезалізобетонних конструкціях. *Зб. наук. пр. НУВГП: Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 41, 110-118.  
<https://doi.org/10.31713/budres.v0i41.12>

42. Семко, О.В. Гасенко, А.В., Фенко, О.Г., Дарієнко, В.В. (2022). Рациональне використання несучої здатності сталевих профільованих листів незнімної опалубки сталезалізобетонних перекриттів. *Зб. наук. пр. КНТУ: Центральноукраїнський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 5 (36), Ч. 2, 153-161.  
[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).153-161](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).153-161) (НМБД Index Copernicus).

43. Hasenko, A.V. (2022). The constructive nonlinearity of a self-stressing steel-reinforced concrete overlapping during uneven deformations of adjacent columns basis. *Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1 (58), 82-89.  
<https://doi.org/10.26906/znp.2022.58.XXXX> (НМБД Index Copernicus).

44. Semko, O.V. & Hasenko, A.V. (2022). Classification of self-stressed steel-concrete composite structures. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 181, 367-374.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_34) (НМБД Scopus).

45. Semko, O.V., Hasenko, A.V., Drobotia, O.V. & Marchenko, D.P. (2022). Experimental studies of prestressed steel concrete wall girders. *Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 2 (59), XX-XX.  
<https://doi.org/10.26906/znp.2022.59.XXXX> (НМБД Index Copernicus).

*Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації*

46. Семко, О.В., Воскобійник, О.П., Гасенко, А.В. (2012). *Сталезалізобетонна конструкція підсилення* (пат. 67776 Україна, МПК Е 04 С 1/00; патентовласник ПНТУ ім. Юрія Кондратюка. № у 2011 08262; заявл. 01.07.11; опубл. 12.03.12). Бюл. №5. <https://uapatents.com/5-67776-stalezalizobetonna-konstrukciya-pidsilennya.html>

47. Павліков, А.М., Гасенко, А.В., Жарий, С.С. (2012). *Спосіб улаштування стику колон та надколонних плит уніфікованої системи збірно-монолітного безригельного каркасу* (пат. 75554 Україна, МПК Е 04 В 5/43; патентовласник ПНТУ ім. Юрія Кондратюка. № у 2012 04830; заявл. 17.04.2012; опубл. 10.12.2012). Бюл. №23. <https://uapatents.com/5-75554-sposib-ulashtuvannya-stiku-kolon-ta-nadkolonnikh-plit-unifikovano-sistemi-zbirno-monolitnogo-bezrigelnogo-karkasa.html>

48. Гасенко, А.В., Качан, Т.Ю., Пінчук, Н.М., Юрко, І.А. (2016). *Спосіб підсилення залізобетонних колон металевою обоймою* (пат. 112604 Україна, МПК Е 04 G 23/00; патентовласник ПНТУ ім. Юрія Кондратюка. № у 2016 06041; заявл. 03.06.2016; опубл. 26.12.2016). Бюл. №24. <https://uapatents.com/5-112604-sposib-pidsilennya-zalizobetonnikh-kolon-metalevoyu-oboijmoyu.html>

49. Hasenko, A.V. & Novytskyi, O.P. (2018). Numerical experiment for the determination of the stress-strain condition of the system «Basis – Vibroreinforced soil-cement pile». *International Journal of Engineering & Technology. Publisher of International Academic Journals*, 7, 4.8, 41-47. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27211>

*Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації*

50. Гасенко, А.В., Крупченко, О.А. (2013). Аналіз чисельних досліджень напружено-деформованого стану пошкоджених залізобетонних колон виробничого цеху. *Матеріали Всеукраїнської конф. молодих учених і студентів: Перспективи розвитку будівельної галузі*. Полтава: ПНТУ, 86-89.

51. Hasenko, A.V. & Rozhko, V.N. (2016, 7-9 December). Typical damages of the polyhedral void reinforced concrete poles for yard overhead transmission lines. *Collection of scientific papers by materials IX Intern. Scientific and Practical Conf.: Problems and prospects of development of academic and university science*. Poltava: PNTU, 263-267.

52. Гудзь, С.А., Гасенко, А.В. (2017, 16-17 листопада). Збереження стійкості сталевих балок покриття за рахунок жорсткості приєднаних конструкцій. *Зб. тез доповідей VI Міжнародної наук.-техн. конф. молодих учених та студентів: Актуальні задачі сучасних технологій*. Тернопіль: ТНТУ, Т I , 77-78.

53. Гасенко, А.В., Миколаєнко, Є.М. (2018, 23 квітня – 18 травня). Чисельне моделювання монолітного ребристого залізобетонного перекриття із експлуатаційними пошкодженнями другорядних балок. *Тези 70-ї наук. конф. професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету*. Полтава: ПНТУ, Т. 2, 73-74.

54. Добрик, Я.О., Гасенко, А.В., Гарькава, О.В. (2018, 25-26 жовтня). Результати оцінки технічного стану несучих конструкцій будівлі Полтавської загальноосвітньої школи. *Зб. матеріалів VI Всеукр. студ. наук.-практ. семінару: Досвід впровадження у навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій*. Кропивницький: ЦНТУ, 160-162.

55. Semko, O.V., Fenko, O.G., Hasenko, A.V., Harkava, O.V. & Kyrychenko, V.A. (2018, 14-16 листопада). Influence of external and internal cooling at solidification on strength of brittle duralumin in compression. *Тези доповідей 7-ої міжн. наук.-техн. конф.: Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті*. Харків: УкрДУЗТ, 79-81.

56. Гасенко, А.В., Гарькава, О.В., Фенко, О.Г., Добрик, Я.О. (2018, 20-21 грудня). Чисельне моделювання підсилення багатопустотної плити цивільної будівлі нарощуванням перерізу бетону й арматури. *Зб. наук. пр. XI Міжнар. наук.-*

*практ. конф.: Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки.* Полтава: ПНТУ, 232-235.

57. Гасенко, А.В., Фенко, О.Г., Кириченко, В.А. (2019, 22 квітня – 17 травня 2019 р.). Визначення величини фізико-механічних характеристик зразків бурильних труб до та після їх роботи в корозійному середовищі. *Тези 71-ї наук. конф. професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету.* Полтава: ПолтНТУ, 268-269.

58. Семко, О.В., Гасенко, А.В., Крутибіч, О.В. (2020, 21 квітня – 15 травня). Перерозподіл внутрішніх зусиль під час укрупнювальної збірки залізобетонної арки із затяжкою. *Тези 72-ї наук. конф. професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету.* Полтава: НУПП, Т.1., 106-107.

59. Крутибіч, О.В., Семко, О.В., Гасенко, А.В. (2020, 20-21 травня). Інноваційні технології у моделюванні розрахункових схем самонапруженої сталезалізобетонної арки. *Зб. матеріалів VI міжнар. наук.-практ. конф.: Transfer of Innovative Technologies 2020.* Київ: КНУБА – Дзянсу – Забже, 38-39. <http://doi.org/10.32347/tit2020.conf.06>.

60. Семко, О.В., Гасенко, А.В. (2020, 1-2 червня). Класифікація самонапружених сталезалізобетонних конструкцій. *Зб. наук. пр. III Міжнар. українсько-азербайджанської конф.: BUILDING INNOVATIONS-2020.* Баку – Полтава: НУПП, 167-169.

61. Семко О.В., Гасенко, А.В. (2020, 11-12 червня). Вплив конструкції вузлів трикутної залізобетонної арки покриття із затяжкою на зміну внутрішніх зусиль в її перерізах. *Тези доповідей міжнар. наук.-техн. конф.: Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини.* Одеса: ОДАБА, 43-45.

62. Семко, О.В., Гасенко, А.В., Павлик, В.Г. (2020). Оптимізація геометричних параметрів рамно-підкісного каркасу будівлі. *Зб. наук. пр. XIII Міжнар. наук.-практ. конф.: Академічна й університетська наука: результати та перспективи.* Полтава: НУПП, 262-267.

63. Семко, О.В., Гасенко, А.В. (2021, 03-04 червня). Підвищення несучої здатності сталезалізобетонного перекриття встановленням тимчасових опор на час його бетонування. *Зб. тез міжнар. наук.-техн. конф.: Гідротехнічне і транспортне будівництво.* Одеса: ОДАБА, 74-75.

64. Семко, О.В., Гасенко, А.В. (2021, 20-21 травня). Геодезичний моніторинг влаштування вбудованого самонапруженого сталезалізобетонного перекриття. *Зб. наук. пр. за матеріалами IV Міжнар. українсько-азербайджанської наук.-практ. конф.: BUILDING INNOVATIONS-2021.* Баку – Полтава: НУПП, 164-166.

65. Семко, О.В., Гасенко, А.В., Погребняк, І.М. (2021, 21 квітня – 13 травня). Перерозподіл зусиль у деформованому сталезалізобетонному перекритті після встановлення підкосів. *Тези 73-ї наук. конф. професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету.* Полтава: НУПП, 217-218.

66. Семко, О.В., Гасенко, А.В. (2021, 09-11 вересня). Експериментальні дослідження використання несучої здатності сталевими профільованими листами сталезалізобетонних перекриттів. *Тези доповідей міжнар. конф.: Експлуатація та реконструкція будівель і споруд*. Одеса: ОДАБА, 145-146.

67. Семко, О.В., Гасенко, А.В. (2021, 19-22 вересня). Оптимізація прольотів монолітної плити сталезалізобетонних перекриттів. *Тези XIX Міжн. наук.-практ. конф: Інноваційні технології у будівництві, цивільній інженерії та архітектурі*. Чернігів: ЧНТУ – ПДАБА, 289-290.

68. Гасенко, А.В., Штанько, К.Г. (2021, 28-29 жовтня). Методи чисельного моделювання самонапруженої сталезалізобетонної прогінної частини штучної споруди. *Зб. матеріалів III Всеукр. студент. наук.-практ. конф.: Досвід впровадження у навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій*. Кропивницький: ЦНТУ, 138.

69. Семко, О.В., Гасенко, А.В., Магас, Н.М. (2021, 17-19 листопада). Експериментальні дослідження самонапруженої нерозрізної трипролітної сталезалізобетонної плити. *Тези доповідей 9-ої Міжнар. наук.-техн. конф.: Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті*. Харків: УкрДУЗТ, 164-165.

70. Гасенко, А.В., Семко, О.В., Штанько, К.Г. (2021, 01-03 грудня). Застосування перерозподілу зусиль для створення попередніх самонапружень у конструктивних частинах сталезалізобетонних перекриттів. *Зб. тез міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених: BUILD-MASTER-CLASS-2021*. Київ: КНУБА, 148-149.

71. Гасенко, А.В., Новицький, О.П. (2022, 25 квітня – 21 травня). Схеми завантаження ділянки сталезалізобетонного перекриття під час його натурального випробування. *Тези 74-ї наук. конф. професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету*. Полтава: НУПП, Т.1, 171-172.

72. Семко, О.В., Гасенко, А.В. (2022, 17-20 травня). Оптимізація кроку опор нерозрізних балок сталезалізобетонного самонапруженого перекриття. *Тези доповідей IX Міжнар. конф.: Актуальні проблеми інженерної механіки*. Одеса: ОДАБА, 153-154.

73. Семко, О.В., Гасенко, А.В. (2022, 29-30 червня). Небажаний перерозподіл зусиль в пошкоджених будівельних конструкціях та заходи щодо його усунення. *Тези доповідей всеукр. наук.-практ. форуму: ПЕРЕМОЖЕМО – ВІДБУДУЄМО!* Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 91-93.

74. Семко О.В., Гасенко А.В., Марченко Д.П. (2022, 24-25 листопада). Ресурсозберезувальна технологія врівноваження несучої здатності нерозрізних конструкцій сталезалізобетонних мостів. *Тези доповідей міжн. конф.: Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проектуванні, будівництві та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури в рамках програми «Велике будівництво»*. Київ: НТУ, 351-352.



## АНОТАЦІЯ

*Гасенко А.В.* Самонапружені сталезалізобетонні конструкції. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди (19 – архітектура та будівництво). – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2023.

Дисертаційна робота присвячена розробці теоретичних основ розрахунку, проектування і виготовлення ресурсощадних самонапружених СЗБК з урахуванням їх нелінійних властивостей. У роботі на основі існуючих інженерно-конструкторських методів та заходів створення попередніх напружень будівельних конструкцій, розроблено технологію самонапруження та методи розрахунку таких СЗБК. Під самонапруженням маються на увазі попередні напруження, створені за допомогою конструктивних заходів чи технологій будівництва без застосування енерговитратних методів процесу напруження.

Внутрішні зусилля у шарах згинаного сталезалізобетонного стержня визначено за диференціальними рівняннями теорії складених стержнів із уточненням коефіцієнту податливості контактної шва шляхом врахування ітераційною методикою дійсної жорсткості з'єднувальних засобів (анкерів) та деформативності бетону в зоні контакту з анкерами. Удосконалено розрахункову модель згинаного двошарового сталезалізобетонного елемента шляхом врахування у вихідних даних до розрахунку генетичної нелінійності (різного напружено-деформованого стану компонентів конструкції до забезпечення сумісної їх роботи).

Достовірність отриманих автором залежностей та формул, необхідних для аналізу напружено-деформованого стану самонапружених СЗБК, підтверджується задовільним збігом з результатами фізичного експерименту. Проведено експериментальні дослідження 4-х серій зразків, що склалися із 6-ти балок прольотом 1,5 м і 2 м; 6-ти балок стінових прогонів прольотом 3 м та 3-х балок прольотом 8,7 м сталезалізобетонного перекриття. Окрім цього випробувано та доведено ефективність двостадійної технології виготовлення нерозрізних сталезалізобетонних плит.

Досліджено ресурсощадне використання конструктивної нелінійності для самонапруження СЗБК під час укрупнювальної збірки та підсилення каркасів експлуатованих будівель. Впроваджено ефективні рішення самонапруження сталезалізобетонних конструкцій як в нове будівництво, так і при підсиленні існуючих будівельних конструкцій.

**Ключові слова:** сталезалізобетонні конструкції, нелінійна робота, попередні напруження, самонапруження, напружено-деформований стан, розрахунок, проектування, виготовлення, експлуатація.

**ABSTRACT**

*Hasenko A.V.* Self-stressed Steel Reinforced Concrete Structures. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.23.01 – building constructions, buildings and structures (19 – architecture and civil engineering). – National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, 2023.

The **introduction** substantiates the relevance of the problem to be solved, formulates the goal, task of the research, scientific novelty and practical significance of the obtained work results, provides information about the personal contribution and approval of the dissertation materials, presents its general structure and scope.

The **first chapter** of the dissertation analyzed and systematized engineering design methods and measures for creating pre-stressing in the components of steel-reinforced concrete structures, revealed methods of their self-stressing and working schemes' optimization, which made it possible to develop new structures and methods of such structures' self-stressing. Self-stressed refers to previous stresses created by constructive measures or construction technologies without the use of energy-consuming methods of the stressing process. The methods of steel-reinforced concrete structures' pre-stressing are divided into groups depending on the type of deformations on and the shape of the section. During the multi-stage technology of prestressed structures' creation and operation, such types of nonlinearities as genetic, geometric, structural and physical occur.

In the **second chapter**, further development of the resource-saving effort redistribution in the load-bearing buildings' elements research was carried out, on the basis of experimental tests' new results and numerical modeling, with the aim of effectively creating it by self-stress in steel-reinforced concrete structures. During the operation of building structures, the damages accumulation can lead to an undesirable forces redistribution, which must be detected during inspections of the operated building structures' technical condition. The efforts redistribution between the components of building structures is possible only if they are compatible with each other. This explains the relevance of research into the shape and size of anchoring means for steel and concrete parts combination in steel-reinforced concrete structures.

In the **third chapter**, the geometric nonlinearity that occurs during two-layer steel-reinforced concrete rod bending is taken into account by the shear force in the contact seam between the reinforced concrete and steel rolling parts. The shear force in the contact seam is determined according to the differential equations of the composite rods theory with refinement of the contact seam compliance coefficient by taking into account the actual stiffness of the connecting means (anchors) and the deformability of concrete in the area of contact with the anchors using an iterative method.

The **fourth chapter** is devoted to the determination of internal forces, deformations and stresses in the layers of bent steel-reinforced concrete structures, taking into account the determined shear forces. The shear force influence on the internal forces in the cross-

sections of the investigated bent steel-reinforced concrete structures amounted to about 0.86%, which proves the possibility of calculating such structures according to the methodology of current regulatory documents. The calculation model of a bent two-layer steel-reinforced concrete element has been improved by taking into account the initial data for genetic nonlinearity calculation. 4 series of samples consisting of 6 beams with a span of 1.5 m and 2 m; 6 beams of wall spans with a span of 3 m and 3 beams with a span of 8.7 m, covering a public building with a total area of 67.5 m<sup>2</sup>, were investigated.

In the **fifth chapter**, the design was developed, the effectiveness of the two-stage technology for uncut steel-reinforced concrete slabs' production was experimentally investigated and proven. Preliminary bends of more deformed extreme spans are suggested to be created by the weight of the slab and the manufacturing technology. The calculation of self-stressed uncut steel-reinforced concrete slabs is performed using the main dependencies of composite rods theory, which make it possible to take into account genetic nonlinearity. Algorithms for numerical finite-element modeling of self-stressed steel-reinforced concrete structures, taking into account genetic, structural, physical and geometric nonlinearities, which provide clarification of the values of operational stresses in the studied structures cross-sections, are considered.

In the **sixth chapter**, the resource-saving use of constructive nonlinearity for self-tension during the steel-reinforced concrete structures bulk assembly is considered. The design, working drawings and self-tensioning technology of a triangular reinforced concrete rafter system of the arch type with a steel tie, stressed by the reinforced concrete slabs own weight by creating unloading support moments, which allows doubling the span of the rafter system using typical ribbed reinforced concrete slabs, have been developed.

Constructive nonlinearity during the self-tensioned steel-reinforced concrete structures creation was also investigated during the inclusion in the work with steel trusses of a prefabricated monolithic floor arranged according to the arch scheme.

In the **seventh chapter**, the creation of operating self-stresses in steel-reinforced concrete structures of the operated buildings' frames is investigated, taking into account their structurally nonlinear operation. The effect of installing braces between steel beams and columns deformed by the self-weight of the steel-reinforced concrete floor on the balancing of span and support bending moments in the beams is considered. The structurally nonlinear operation of the steel-reinforced concrete floor with uneven subsidence of adjacent columns' foundations was also investigated.

Constructive measures of steel-reinforced concrete structures' self-tension during the strengthening of damaged elements, namely during the strengthening of steel columns with concreting and reinforced concrete columns reinforced with a steel bracket, have also been developed.

**Keywords:** steel-reinforced concrete structures, non-linear work, preliminary stress, self-stress, stressed-deformed state, calculation, design, production, operation.

