Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет будівництва та архітектури

Бугаєвський Сергій Олександрович

УДК 69.057.53:693.5

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ЗВЕДЕННЯ ПОЛЕГШЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

05.23.08 – технологія та організація промислового та цивільного будівництва

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеню
доктора технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис

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

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Шмуклер Валерій Самуілович
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри будівельних конструкцій, Харків.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Григоровський Петро Євгенович,
Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва ім. В.С. Балицького» Міністерства розвитку громад та територій України, перший заступник директора, Київ;

доктор технічних наук, професор
Шатов Сергій Васильович,
Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України, професор кафедри будівельних і дорожніх машин, Дніпро;

доктор технічних наук, доцент
Шумаков Ігор Валентинович
Харківський національний університет будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України, професор, завідувач кафедри технології будівельного виробництва, Харків.

Захист відбудеться 16 вересня 2021 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.056.01 при Харківському національному університеті будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Харківського національного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40, та на сайті університету: http://kstuca.kharkov.ua/ndial/nauka/.

Автореферат розісланий «10» серпня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
канд. техн. наук, доцент О.В. Гвоздецький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Сутність наукової проблеми, що розглядається у дисертації, полягає у створенні методологічних основ забезпечення ефективності зведення полегшених залізобетонних конструкцій через раціоналізацію параметрів зведення горизонтальних та вертикальних конструкцій з використанням самоущільнюючих бетонів та вкладишів-порожниноутворювачів, що не виймаються, а для криволінійних конструкцій – внутрішньої незнімної опалубки у складі самонесучого остову із арматурного каркасу та способу мокрого торкретування.

У наукових працях з удосконалення конструктивних, організаційно-технологічних рішень та питань комплексної механізації при зведенні полегшених залізобетонних конструкцій у вітчизняних і закордонних джерелах розглянуто, що зведення таких конструкцій супроводжується комплексом специфічних особливостей, впливом дестабілізуючих факторів на техніко-економічні показники. При цьому теоретичні та прикладні дослідження характеризуються незавершеністю, оптимізація організаційно-технологічних рішень в цьому науковому сегменті виконана недостатньо.

Серед нерозкритих питань можна позначити: некомплексність методологічних рішень прогнозування конструктивно-технологічних параметрів процесу зведення полегшених залізобетонних конструкцій; відсутність розробок з оптимізації формування їх внутрішньої геометрії; недосконалість методик прогнозування напружено-деформованого стану конструкцій в залежності від положення вкладишів-порожниноутворювачів; недостатність досліджень впливу точності укладання вкладишів на величину потенційної енергії і щільність її розподілу в конструкції; фрагментарність основ організаційно-технологічного проектування зведення полегшених залізобетонних конструкцій; недостатня оптимізація процесів розкрою, фіксації, порушення положення, руйнування вкладишів-порожниноутворювачів та їх вплив на параметри конструкції; відсутність методології експериментальних досліджень для математичного прогнозування параметрів процесу зведення полегшених залізобетонних конструкцій. Крім того, характерними завданнями представляються: створення конструкції з довільною геометрією; необмежена комбінаторика об’ємно-композиційних рішень; створення умов для вільного внутрішнього планування; раціоналізація витрат матеріалів, зменшення ваги конструкцій; підвищення несучої здатності; обмежена деформативність; формування ефективних технологій зведення.

Актуальність теми. В цьому науковому напрямку нерозробленим є теоретичне узагальнення і вирішення наукової проблеми створення конструктивних та організаційно-технологічних рішень зведення полегшених залізобетонних конструкцій будівель та споруд, що можливо шляхом теоретичних досліджень з раціоналізації складу самоущільнюючих бетонів (СУБ), розробки технологічних основ зведення горизонтальних та вертикальних конструкцій полегшених залізобетонних конструкцій із

використанням вкладишів із пінополістиролу, які створюють складну геометрію внутрішніх порожнин в залізобетоні, дослідження впливу порушення положення вкладишів на параметри полегшених залізобетонних конструкцій, вивчення можливостей створення внутрішньої незнімної опалубки із пінополістиролу для формування геометрії полегшених криволінійних конструкцій, а також розробки технологічних регламентів зведення полегшених залізобетонних конструкцій.

Скорочення тривалості будівництва та подовження термінів експлуатації будівель і споруд є актуальною техніко-економічною проблемою. У цьому зв'язку **наукова концепція** даної роботи полягає у можливості скорочення матеріаломісткості та тривалості будівництва і подовження терміну експлуатації будівель і споруд за рахунок реалізації ефективних технічних та організаційно-технологічних рішень, які раціоналізують параметричні характеристики технологічних процесів при зведенні горизонтальних та вертикальних полегшених залізобетонних конструкцій з використанням самоущільнюючих бетонів та вкладишів-порожниноутворювачів, які не виймаються, та процесів зведення криволінійних полегшених залізобетонних конструкцій із використанням способу мокрого торкретування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Робота відповідає одному з важливих напрямів розвитку будівельної галузі – підвищенню ефективності зведення залізобетонних конструкцій будівель різного призначення відповідно до Концепції державної політики, схваленої постановою Верховної Ради України від 30.06.1995 р.; постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд» № 1764 від 20.12.2006 р.; Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» № 124-VIII від 15.01.2015 р.; Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» № 3038-VI від 17.02.2011 р.; постанови Кабміну України «Про науково-практичну концепцію технічного оновлення та модернізації будівельної галузі та інвестиційної сфери в цілому» № 1201-050/01 від 12.09.2010 р. Робота виконана на кафедрі будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова і відповідає одному з найважливіших наукових напрямків його діяльності. Дисертаційна робота виконана згідно з Держбюджетною темою №53-63/15 «Розробка та дослідження нової конструктивної системи багатокритеріальної відповідальності», 2015–2016 рр., Харків, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова (номер державної реєстрації 0115U000154).

Мета дисертаційної роботи: створення теоретико-методологічних основ формування організаційно-технологічних рішень зведення полегшених залізобетонних конструкцій.

Для досягнення мети дисертації визначено основні **завдання дослідження:**

– виконати аналіз відомих результатів теоретичних і експериментальних досліджень, методик і технологічних рішень зведення полегшених залізобетонних конструкцій;

– розробити загальну методику досліджень і методи вирішення окремих завдань, що забезпечують отримання достовірних результатів і прийняття ефективних технологічних рішень;

– розробити методологію прогнозування конструктивно-технологічних параметрів процесу зведення полегшених залізобетонних конструкцій; дослідити вплив компонентів на властивості самоущільнюючих бетонних сумішей; раціоналізувати формування внутрішньої геометрії полегшених залізобетонних конструкцій;

– розробити методологію прогнозування напружено-деформованого стану залізобетонних перекриттів в залежності від положення вкладишів-порожниноутворювачів; дослідити вплив точності укладання вкладишів на величину потенційної енергії і щільність її розподілу в конструкції;

– виконати оптимізацію конструктивних і організаційно-технологічних рішень зведення полегшених залізобетонних конструкцій методом торкретування;

– розробити основи організаційно-технологічного проектування зведення полегшених залізобетонних конструкцій; дослідити процеси розкрою, фіксації, порушення положення, руйнування вкладишів-порожниноутворювачів та їх вплив на параметри конструкції;

– виконати експериментальне моделювання та математичне прогнозування параметрів процесу зведення полегшених залізобетонних конструкцій;

– виконати апробацію і впровадження результатів досліджень у практику проектування та зведення будівель із полегшених залізобетонних конструкцій.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси зведення полегшених залізобетонних конструкцій.

Предмет дослідження – параметри технологічних процесів зведення полегшених залізобетонних конструкцій.

Методи дослідження. Для обґрунтування актуальності, формулювання мети та завдань досліджень застосовано методи аналізу та узагальнення. Ретроспектива, як метод дослідження об’єктів у часі, використано для збирання статистичної інформації за основними параметрами будівництва. Емпіричні методи дослідження – обстеження, моніторинг, узагальнення досвіду, опитування фахівців, експертні оцінки, наукове прогнозування – для прогнозування параметрів процесів зведення полегшених залізобетонних конструкцій. При виявленні комплексного впливу різних умов і факторів на техніко-економічні показники застосовано метод багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу. Зв’язок між умовами зведення полегшених конструкцій та параметрами конструктивних та організаційно-технологічних рішень визначено за допомогою математичного моделювання. При розробці алгоритмів оптимізації процесів бетонування – метод імітаційного моделювання та метод структурно-параметричного синтезу. Метод експериментальних досліджень – для визначення ступеню обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій шляхом практичного використання їх в будівельних і проектних організаціях.

Метод планування експериментів дозволив скоротити їх кількість, при цьому отримати адекватні функції відклику з оцінкою рівня впливу на неї кожного з факторів. Для оцінки впливу технологічних факторів на параметри зведення полегшених залізобетонних конструкцій при бетонуванні СУБ виконано побудову і аналіз експериментально-статистичних моделей із застосуванням діалогової системи, розробленої в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті.

За допомогою AutoCAD та Autodesk Inventor раціоналізовано кількість типорозмірів вкладишів-порожниноутворювачів та оптимізовано їх розкрой для створення незнімної опалубки. Засобами програмно-обчислювальних комплексів ANSYS та ЛІРА виконувалося моделювання роботи полегшених залізобетонних конструкцій при різних варіантах порушення положення вкладишів-порожниноутворювачів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

вперше:

– встановлено закономірності впливу технічних та організаційно-технологічних факторів на параметри зведення горизонтальних та вертикальних полегшених залізобетонних конструкцій із використанням самоущільнюючих бетонів та криволінійних елементів із використанням способу мокрого торкретування на самонесучий остов;

– визначено сукупність параметрів, що впливають на ефективність зведення полегшених залізобетонних конструкцій, на цьому підґрунті розроблено методологію прогнозування їх конструктивно-технологічних параметрів;

– визначено закономірності впливу точності укладання порожниноутворювачів, що не виймаються, на величину потенційної енергії і щільність її розподілу в конструкції, на підставі чого запропонована методологія прогнозування напружено-деформованого стану залізобетонних полегшених перекриттів;

– розроблено теоретичні основи організаційно-технологічного проєктування зведення полегшених залізобетонних конструкцій через прогнозування параметрів фіксації, спливання, руйнування вкладишів-порожниноутворювачів та раціоналізацію параметрів розкрою незнімної опалубки для бетонування криволінійних легких конструкцій;

удосконалено:

– систему оптимізації параметричних характеристик рішень при зведенні горизонтальних та вертикальних полегшених залізобетонних конструкцій із використанням самоущільнюючих бетонів та вкладишів-порожниноутворювачів, які не виймаються;

– методологічну структуру моделювання процесів зведення криволінійних полегшених залізобетонних конструкцій із використанням способу мокрого торкретування;

отримали подальший розвиток:

– принципи системного удосконалення структури експериментального обґрунтування технічних та організаційно-технологічних рішень, що підвищують ефективність зведення полегшених залізобетонних конструкцій;

– метод структурно-параметричного синтезу при розробці алгоритмічної структури моделювання комплексного процесу зведення полегшених залізобетонних конструкцій.

Практичне значення одержаних результатів полягає:

– у розробці технічних, технологічних і організаційних рішень, що підвищують ефективність зведення полегшених залізобетонних конструкцій;

– у підвищенні ефективності організаційно-технологічного проектування та якості проектної документації на основі використання запатентованих технічних рішень, науково-методологічного забезпечення процесів проектування, що базується на розвинутій у роботі методології проектування технологічних процесів, типових проектів організації і виконання бетонних робіт;

– у використанні наукових розробок при будівництві та реконструкції низки об'єктів: при ліквідації наслідків вибуху в житловому будинку по пр. Московському в м. Харкові; при реконструкції будинку по пр. Тракторобудівників під центр адміністративних послуг в м. Харкові; при капітальному ремонті мосту через р. Сухий Торець у м. Барвінкове Харківської області; при реабілітації нежитлової будівлі по майдану Павловському в м. Харкові; при зведенні монолітного залізобетонного каркасу будівлі багатофункціонального центру по вул. Полтавський шлях у м. Харкові.

Наукові результати було використано проектними, будівельними і інвестиційними компаніями. Підтверджений сумарний ефект від впровадження розробок та пропозицій склав 467,8 тис. грн.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційне дослідження є самостійно підготовленою науковою працею, в якій викладено авторський підхід щодо розробки системи науково обґрунтованого вибору організаційно-технологічних рішень, що забезпечують принципи формування і методи зведення будівель та споруд із полегшених залізобетонних конструкцій. З наукових публікацій, виданих у співавторстві, в дисертації використані тільки матеріали, які становлять особистий внесок автора. Особистий внесок здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві, полягає у: розроблені наукових основ впровадження нових конструктивно-технологічних рішень зведення горизонтальних та вертикальних полегшених залізобетонних конструкцій з використанням самоущільнюючих бетонних сумішей та криволінійних залізобетонних конструкцій з використанням способу мокрого торкретування на самонесучий остов [1–4, 6–10, 12, 15–22, 26, 27, 30, 34–36, 38, 43, 45, 46, 53, 55, 56, 58, 60–73]; теоретичному обґрунтуванні та експериментальних дослідженнях бетонування самоущільнюючими бетонними сумішами полегшених залізобетонних конструкцій [2, 5, 11, 24, 25, 39, 40, 49, 57]; визначено закономірностей впливу технологічних факторів на параметри зведення полегшених залізобетонних конструкцій [2, 4, 8, 15, 17, 20, 23, 28, 32, 33, 37, 41, 42, 44, 47, 59, 74, 75]; встановленні параметрів впливу положення

вкладишів із пінополістиролу на характеристики міцності полегшеного залізобетонного перекриття та величину потенційної енергії і щільність її розподілу [2, 29, 48, 50, 51, 76]; отриманні закономірностей впливу геометричних параметрів полегшеної конструкції на ефективність розкрою листів пінополістиролу для виготовлення елементів внутрішньої незнімної опалубки для криволінійних полегшених залізобетонних конструкцій у вигляді фрагментів сфери, циліндра, гіпару та нодоїда [2, 13, 14, 31, 52, 54, 77].

Апробація роботи. Основні положення дисертації, результати теоретичних і експериментальних досліджень доповідалися на науково-технічних конференціях, конгресах і семінарах, у тому числі: Науковому семінарі молодих вчених та аспірантів «Сучасні технології та матеріали для будівництва й експлуатації автомобільних доріг» (23–24 вересня 2004 р., Харків, ХНАДУ); III Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Будівництво, реконструкція і відновлення будівель міського господарства» (15 квітня – 15 травня 2012 р., Харків, ХНАМГ); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Енергозбережні технології теплогазопостачання, будівництва і муніципальної інфраструктури» (23 жовтня – 22 листопада 2013 р., Харків, ХНАМГ ім. О.М. Бекетова); 78 науково-технічній та науково-методичній конференції Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Секція мостів, конструкцій та будівельної механіки (Харків, ХНАДУ, 2014); IV Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Будівництво, реконструкція і відновлення будівель міського господарства» (25 листопада – 25 грудня 2014 р., Харків, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова); VII Міжнародній науковій конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд» (20–21 жовтня 2015 р., Харків, ХНУБА); Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні технологічні рішення в будівництві з використанням бетонів нового покоління» (28–29 жовтня 2015 р., Харків, ХНУБА); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві» (23–24 березня 2016 р., Харків, ХНУБА); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні геоінформаційні і комп’ютерно-інноваційні технології дорожньої галузі, аеродромного будівництва і землеустрою» (26–27 травня 2016 р., Харків, ХНАДУ); Міжнародній науково-технічної конференції «Ефективні технології в будівництві» (7–8 квітня 2016 р., Київ, КНУБА); XIV Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Стан сучасної будівельної науки – 2016» (2016, Полтава); The International Academic Congress «European Research Area: Status, Problems and Prospects» (01–02 September 2016, Riga, Latvia); III Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека життєдіяльності на транспорті і виробництві – освіта, наука, практика» (13–15 вересня 2016 р., Херсон, ХДМА); VII Всеукраїнському науковому семінарі «Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур» (11–12 жовтня 2016 р., Харків, ХНУБА); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг» (03–04 листопада 2016 р., Харків, ХНАДУ); V Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі

сучасних технологій» (17–18 листопада 2016 р., Тернопіль, ТНТУ); Всеукраїнській науково-методичній інтернет-конференції «Впровадження технологій комп'ютерного моделювання для підвищення якості підготовки фахівців з будівельної та машинобудівельної галузей» (24 листопада 2016 р., Харків, ХНАДУ); II Міжнародній науково-технічній конференції «Ефективні технології в будівництві» (6–7 квітня 2017 р., Київ, КНУБА); VI Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (19–21 квітня 2017 р., Харків: УДУЗТ); The 13th International Conference Mechatronic Systems and Materials (MSM–2017) (3–5 July 2017, Vilnius, Lithuania); Всеукраїнській науково-практичній Інтернет конференції «Мости, тунелі і дороги: стан, проблеми утримання та перспективи підвищення довговічності» (25 травня 2018 р., Харків, ХНАДУ); VII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (14–16 листопада 2018 р., Харків, УДУЗТ).

Публікації. Основні результати досліджень опубліковані в 77 наукових працях (в т.ч. 8 публікацій без співавторів) [1–77]: з них 3 монографії за темою досліджень [1–3], 17 статей у фахових виданнях, які входять до переліку, затвердженого МОН України [15–31], 11 публікацій в іноземних фахових періодичних виданнях, а також у вітчизняних фахових виданнях, що входять до міжнародних науково-метричних баз (в т.ч, 3 статті у виданнях, що індексуються у МНБД Scopus) [4–14], 26 публікацій апробаційного характеру [32–57], 14 патентів України [58–71], 6 додаткових публікацій [72–77].

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел із 233 найменувань та 6 додатків. Обсяг дисертації складає 460 сторінок, з них 267 сторінок основного тексту, вона містить 209 рисунків, 100 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність, необхідність, вихідні дані та підстави для розроблення теми дослідження. Визначені об'єкт і предмет дослідження, сформульовані його мета та основні задачі, розкриті наукова новизна і практична значимість отриманих результатів. Наведені дані про особистий внесок, впровадження та апробацію наукових та практичних результатів роботи.

У першому розділі висвітлено стан проблеми та аналіз конструктивних та організаційно-технологічних рішень зведення полегшених залізобетонних конструкцій. Процес створення ефективних будівельних конструкцій найтіснішим чином пов'язаний із технологією їх зведення. Добре відомі випадки, коли найоригінальніші конструктивні рішення не знаходять застосування через відсутність відповідного технологічного забезпечення. Тому в тісному взаємозв'язку з удосконаленням полегшених залізобетонних конструкцій здійснюється розробка відповідних технологічних процесів, пов'язаних з використанням вкладишів-порожниноутворювачів, що не

виймаються, для формування внутрішньої геометрії залізобетонних конструкцій.

Питання технології та організації будівництва були розглянуті в системних працях таких вчених як, С.М. Анпилов, С.С. Атаєв, В.С. Балицький, М.С. Будніков, А.А. Гусаков, Н.Н. Данилов, О.О. Литвинов, Х. Нестле, В.І. Теличенко, В.І. Рибальський, В.К. Черненко. Значний вклад у системні дослідження технологічних процесів бетонування внесли І.А. Арутюнян, В.Я. Бабиченко, А.І. Білоконь, О.М. Галінський, В.О. Галушко, Д.Ф. Гончаренко, П.Є. Григоровський, Єсипенко А.Д., Т.С. Кравчуновська, О.І. Менейлюк, В.Р. Млодецький, О.М. Пшінько, А.В. Радкевич, В.В. Савйовський, В.П. Сопов, Г.М. Тонкачєєв, О.А. Тугай, Р.Б. Тян, А.В. Ушеров-Маршак, К.І. Шавва, С.В. Шатов, І.В. Шумаков, C. Albrecht, J. Höfler, J. Schlumpf.

Найбільш суттєвих результатів у вирішенні завдань удосконалення конструктивних, організаційно-технологічних рішень та питань комплексної механізації при зведенні полегшених залізобетонних конструкцій досягли такі учені, як В.С. Шмуклер, І.А. Ємельянова, А.О. Задорожний, М.В. Савицький, Hai L.V., Hung V.D., Thi T.M., Nguyen-Thoi T., Phuoc N.T., Sang-Su Ha, Jun-Seon Yoon, Kyoung-Hwan Yoo, J. Jasiczak, W. Majchrzak, W. Czajka, T. Melbye.

Аналіз особливостей технічних та організаційно-технологічних рішень зведення полегшених залізобетонних конструкцій показав, що існує наукова проблема створення методологічних основ забезпечення ефективності зведення таких конструкцій через раціоналізацію параметрів процесів виконання робіт. Це можна вирішити через використання для улаштування горизонтальних та вертикальних полегшених конструкцій самоущільнюючих бетонів та вкладишів-порожниноутворювачів, що не виймаються, а для криволінійних конструкцій – внутрішньої незнімної опалубки, у складі самонесучого остову із арматурного каркасу та способу мокрого набризку.

Сформовано принципи обґрунтування для застосування вкладишів-порожниноутворювачів, що не виймаються, що полягають у: зменшенні ваги конструкції шляхом видалення з неї матеріалу, який не бере участі в роботі, без зменшення характеристик міцності; створенні прольотів більшого розміру; зменшенні загального навантаження на фундамент; зменшенні потреби у бетонній суміші та арматурі для зведення конструкцій та зменшенні трудомісткості їх улаштування.

Проведено класифікацію способів зведення полегшених перекриттів із застосуванням полімерних вкладишів, в т.ч., з урахуванням закордонного досвіду, що дозволило виявити причини, що перешкоджають широкому використанню в будівельній галузі України типових рішень: відсутня необхідна виробнича база для масового виробництва різних за формою полімерних вкладишів; висока вартість таких вкладишів; немає варіативності у зміні форми внутрішніх пустот, що прив’язує рішення до типового кроку і забезпечує обсяг внутрішніх порожнин не більше, ніж 30%; значна кількість вкладишів на 1 м^2 перекриття ускладнює армування і бетонування, одночасно виключаючи процедури раціоналізації перерізів, тому що має прив’язку до типової форми

вкладишів; не забезпечується раціональний переріз для інших конструкцій (фундаменти, колони, діафрагми жорсткості тощо).

У другому розділі розроблена загальна методологія та методики дослідження. Принципи аналізу складних систем з обчисленням основних елементів і взаємозв’язків між ними застосовували не тільки до досліджуваного об’єкта, а й до самого процесу дослідження. Такий аналіз дозволив забезпечити чітку логіку досліджень, обґрунтувати їх процедуру, виділити як евристичні (аналіз, синтез, аналогія, типологія, порівняння та ін.), так і ті, що формалізовані до рівня стандарту етапи дослідження. При плануванні загальної методики і алгоритму досліджень використано досвід відомих українських і закордонних вчених, які згадувалися в першому розділі. Загальна структура досліджень наведена на блок-схемі (рис. 1).

Встановлено, що прогнозування конструктивно-технологічних параметрів зведення полегшених залізобетонних конструкцій є ефективним при урахуванні аспектів укладання самоущільнюючих бетонів: параметрів формування суцільного шару бетону під вкладишем; закріплення вкладишу із пінополістиролу з щільністю 15 кг/м^3 та міцністю матеріалу на стиск не менш 0,04 МПа, а також утримання його від руйнування; можливість спливання арматурного каркасу разом із вкладишами, які закріплені в ньому; зміни положення вкладиша із порушень геометрії розміщення або закріплення на роботу всієї конструкції під навантаженням.

В реальних умовах будівельного майданчика під час зведення полегшених залізобетонних перекриттів можливі неточності укладання вкладишів, що пов'язані з технологією бетонування (одностадійне або двостадійне), способом фіксації вкладиша, геометричними допусками, а також порушеннями технологічних операцій. Розроблено методи вирішення окремих експериментальних завдань для випробування бетонних сумішей: із використанням *V*-подібної воронки, *L*-подібного коробу, стійкості до розшарування, руйнування та спливання вкладишу. Створено топологію способів управління міцністю залізобетонних конструкцій, способів управління міцністю бетону та жорсткістю залізобетонних конструкцій.

Для дослідження напружено-деформованого стану конструкції і впливу зміщення вкладишів на роботу конструкції в цілому в ЛІРА 10.6 САПР було обґрунтовано розрахунок плити перекриття полегшеного типу та отримання полів розподілення потенційної енергії. Перехід до запропонованих методів уніфікації повністю позбавляє оптимізацію параметрів системи, а заміна всього набору компонентів їх екстремальними значеннями зводить до нуля рівень коректності. Перераховане усувається при наявності блоків візуалізації інформації, що і забезпечено в даному розрахунковому комплексі. Відображення полів зусиль, головних напружень, переміщень, схем деформування дозволяють перейти від чисто обчислювальної проблеми до аналізу напружено-деформованого стану системи, включаючи раціоналізацію параметрів її елементів.

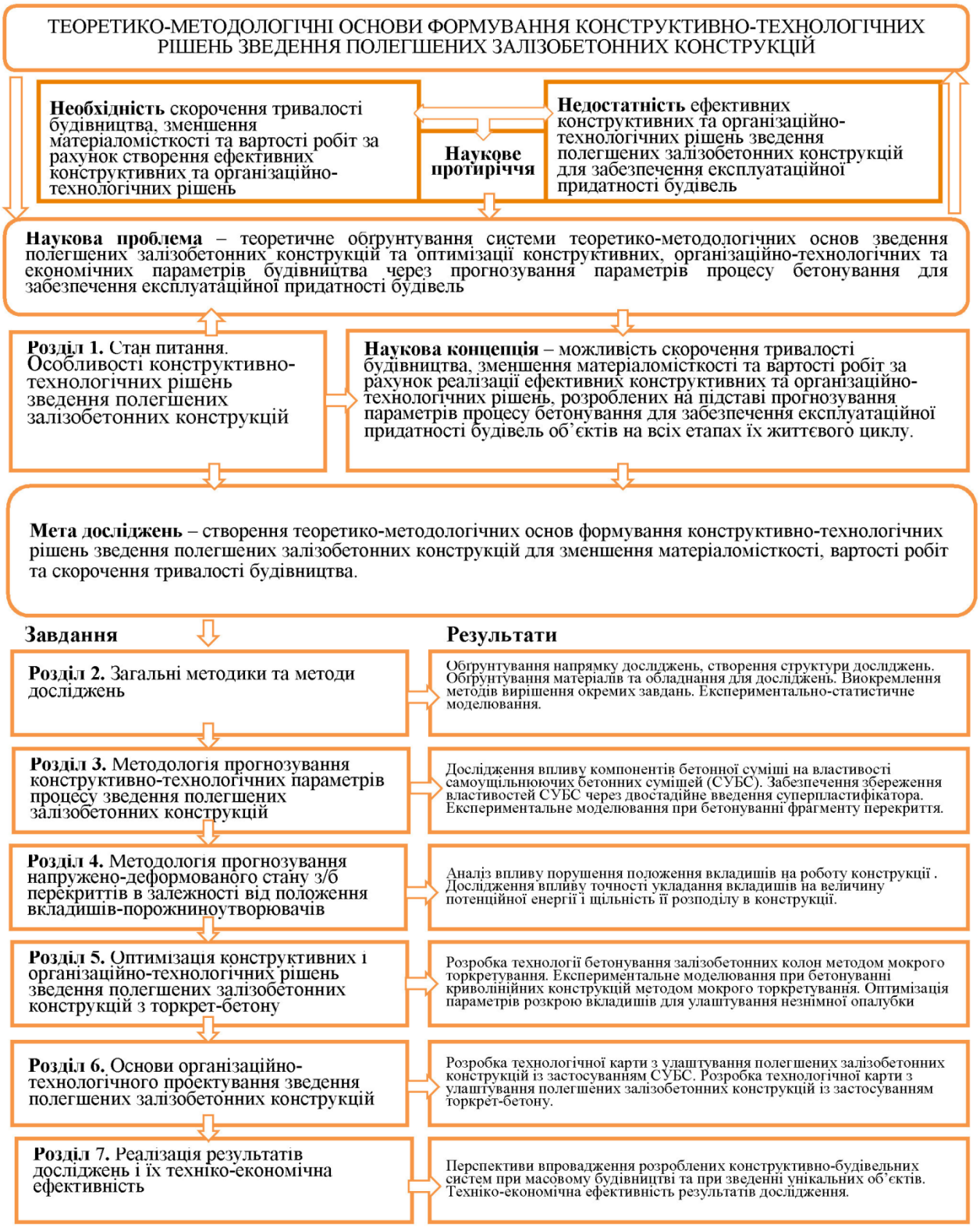


Рисунок 1 – Блок схема досліджень

У третьому розділі викладено методологію прогнозування конструктивно-технологічних параметрів процесу зведення полегшених залізобетонних конструкцій.

Створено алгоритм підбору складу самоущільнюючих бетонних сумішей, відповідно до якого було проведено низку експериментальних досліджень. Найбільш раціональним виявилося співвідношення мінеральної добавки 20%

від маси цементу разом із збільшенням вмісту Ц+МД з 440 кг/м^3 до 480–504 кг/м^3, а також збільшення вмісту піску за рахунок щебню, що забезпечило виконання вимоги долати перешкоди (розплив конусу з блокуючим кільцем та *L*-подібний короб із трьома арматурними стержнями). Побічним ефектом від застосування модифікаторів в'язкості стало зниження міцності бетону або значна втрата рухливості бетонної суміші в результаті введення більшої кількості добавки. Збільшення кількості добавки-суперпластіфікатора *MasterGlenium 116* з 0,7 до 1,5 % не призвело до поліпшення властивостей суміші (табл. 1).

Таблиця 1 – Вплив на характеристики СУБ різного відсотка добавки *MasterGlenium 116*

Компоненти та показники	Склад			
	8.1	8.2	8.3	8.4
Цемент,кг	440	400	400	400
МД вищий сорт, кг	-	80	80	80
Пісок $М_{кр}$=1,6, кг	670	900	900	900
Щебінь фр. 5-10, кг	1140	850	850	850
Добавка (% від Ц+МД)	0,7% MG116	1,5% MG116	0,7% MG116	1% FK59
Вода, л	200	232	237	230
В/(Ц+МД)	0,45	0,48	0,49	0,48
Зручноукладальність, ОК, см	23	-	-	-
Зручноукладальність, РК, см	-	65,5	65	66
Зручноукладальність (з блокуючим кільцем), $РК_{кільце}$, см	-	52	61	63,5
В'язкість, t_{500}, сек	-	3	4	6
В'язкість, $t_{воронки}$, сек	-	10	6,2	9
Здатність долати перешкоду (з трьома арматурними стержнями)	-	0,75	0,8	0,92
$f_{cm,cube}$, МПа, (8 діб)	29,8	23,2	22,0	22,3
$f_{cm,cube}$, МПа, (28 діб)	44,0	37,9	35,9	37,2

Виконано математичне трирівневе планування багатофакторного експерименту в дослідженнях властивостей самоущільнюючого бетону. отримані математичної моделі у вигляді рівнянь регресії, де фактори впливають нелінійно. У якості факторів впливу вивчалися залежність розпливу конусу, розрахунковий опір на стиск, в'язкість, здатність долати перешкоду з трьома стержнями, вплив кількості піску з мінеральною добавкою та кількості добавки суперпластифікатору з мінеральною добавкою. Отримані рівняння регресії:

$$Y1 = 58,89 + 7,17x_1 - 1,50x_2 - 2,17x_1^2 - 0,17x_2^2 - 2,0x_1x_2 \quad (1)$$

$$Y2 = 39,47 - 4,25_1 - 1,48x_2 - 0,05x_1^2 - 0,05x_2^2 + 0,9x_1x_2 \quad (2)$$

$$Y3 = 8 - 2,67x_1 + 2,0x_1x_2 \quad (3)$$

$$Y4 = 11,11 - 3,67x_1 + 3,83x_2 + 1,67x_1^2 + 0,17x_2^2 - 2,75x_1x_2 \quad (4)$$

$$Y5 = 0,78 + 0,118x_1 - 0,035x_2 - 0,0483x_1^2 + 0,00167x_2^2 + 0,0225x_1x_2 \quad (5)$$

$$Y6 = 59,39 + 3,0x_1 + 1,67x_2 - 5,17x_1^2 - 7,17x_2^2 - 0,25x_1x_2 \quad (6)$$

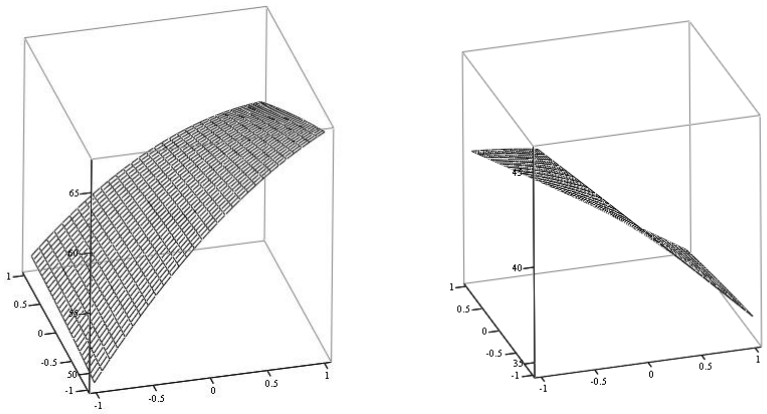
$$Y7 = 39,06 + 2,87x_1 - 1,12x_2 - 4,77x_1^2 - 3,02x_2^2 - 0,6x_1x_2 \quad (7)$$

$$Y8 = 7,89 - 1,83x_1 - 4,33x_2 + 5,83x_1^2 + 7,33x_2^2 + 1,5x_1x_2 \quad (8)$$

$$Y9 = 19,22 + 1,5x_1 - 4,17x_2 + 7,83x_1^2 + 15,83x_2^2 - 0,5x_1x_2 \quad (9)$$

$$Y10 = 0,734 + 0,015x_1 + 0,015x_2 - 0,178x_1^2 - 0,138x_2^2 + 0,02x_1x_2 \quad (10)$$

та графічні залежності функцій відгуку (рис. 2).



а) y б) y2

Рисунок 2 – Поверхня відгуку: а) $Y1$; б) $Y2$

Запропоновано удосконалення методу двостадійного введення добавок шляхом введення тільки добавки-суперпластіфікатора для збереження властивостей суміші без застосування додатково добавок сповільнювачів та прискорювачів. Динаміка зміни основних показників у часі показала, що без інтенсивного перемішування бетонної суміші розплив конусу починає значно зменшуватися вже після 60 хв. з моменту замішування, інші показники змінюються більш повільно (рис. 3).

Встановлено, що елементи запропонованої системи «Монофант» мають суттєво меншу власну вагу (економія бетону 30–45 %). Наявність внутрішніх ребер жорсткості в двовимірних елементах найбільш виправдана, в силу того, що не потребує стиків конструкцій, які мають яскраво виражений різний характер напружено-деформованого стану (колона-плита, діафрагма-ригель тощо). Встановлено, що плавність переходу від одновимірного напруженого елементу до двовимірного або тривимірного реалізується через капітель (рис. 4).

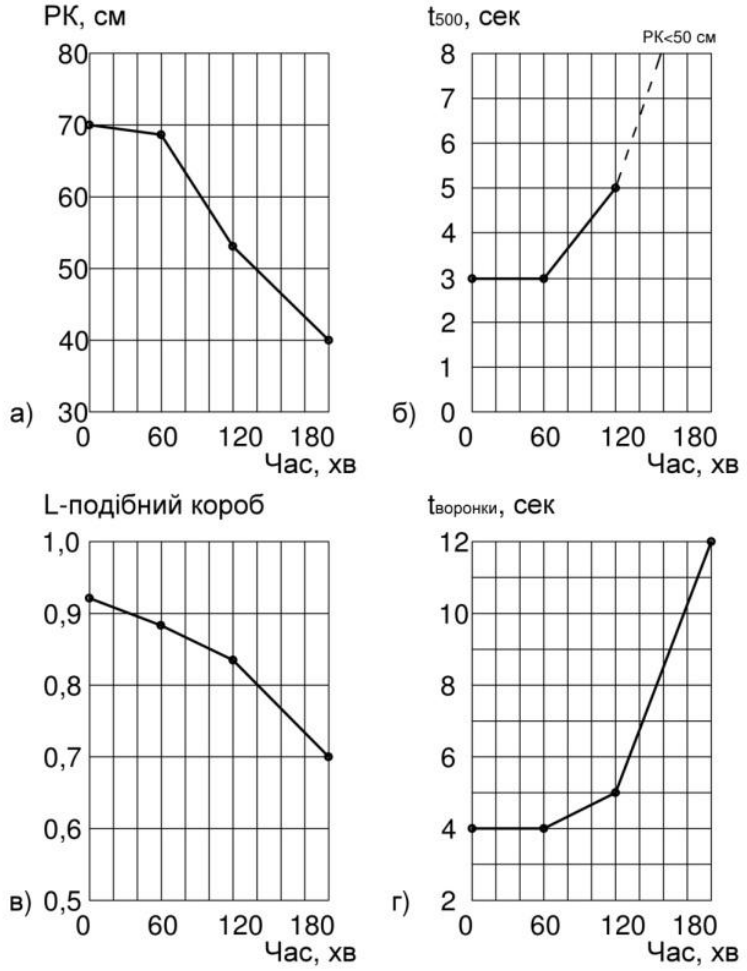


Рисунок 3 – Графіки зміни основних показників бетонної суміші, що самоущільнюється, у часі (при температурі зберігання 22^0С): а) розплив конуса; б) час розтікання до діаметру 500 мм; в) здатність долати перешкоду з трьома арматурними стержнями; г) час витікання бетонної суміші із *V*-подібної воронки

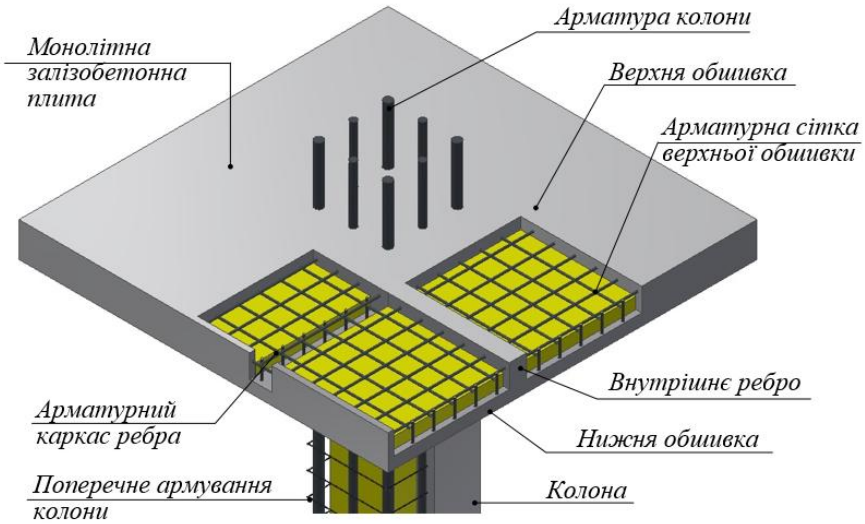


Рисунок 4 – Фрагмент вузла каркаса системи «Монофант»

Збільшення конструктивної висоти перерізів (при незначному збільшенні витрат бетону, продиктованих виключно збільшенням висоти ребер) дає можливість суттєвої економії арматури, що відмічене особливо при великих прогонах.

У четвертому розділі представлено методологію прогнозування напружено-деформованого стану залізобетонних перекриттів в залежності від положення вкладишів-порожниноутворювачів.

Встановлено, що в ході проведення робіт може статися зміщення вкладишів щодо свого проектного положення з наступних причин: при укладанні бетону в дві стадії утримання вкладишів в проектному положенні здійснюється тільки за допомогою привантаження свіжоукладеної бетонної сумішшю або за рахунок послідовності бетонування у верхній частині перекриття; при укладанні бетону в одну стадію утримання вкладишів у проектному положенні здійснюється за рахунок фіксації вкладиша до існуючого армування (зміщення арматурних каркасів або сіток при їх стикуванні призводить до зміщення вкладиша); під час влаштування перекриттів можливі неточності укладання вкладишів, що веде до недобетонування нижньої обшивки при одностадійному бетонуванні; спливання вкладишів при бетонуванні; зміщення вкладишів робітниками під час бетонування або падіння на вкладиш ланок бетоноводу під час їх збирання та розбирання тощо).

З метою моделювання параметрів фрагмента полегшеного залізобетонного перекриття запропонованої системи «Монофант» і визначення переміщень конструкції та розподілу потенційної енергії в залежності від зміни положення вкладишів-порожниноутворювачів було виконано низку експериментальних досліджень. Розглянуто основні варіанти зміни положення вкладиша: вертикальне зміщення за рахунок порушення товщини верхнього шару обшивки або недобетування нижньої обшивки і поворот за рахунок нерівномірного вертикального переміщення вкладиша при одностадійному бетонуванні. В результаті після розрахунків у програмних комплексах ЛІРА та *ANSYS* встановлено, що при бетонуванні плит перекриття особливо впливає на напружено-деформований стан положення вкладиша по висоті для забезпечення прийнятої товщини обшивок плити перекриття (рис. 5, 6).

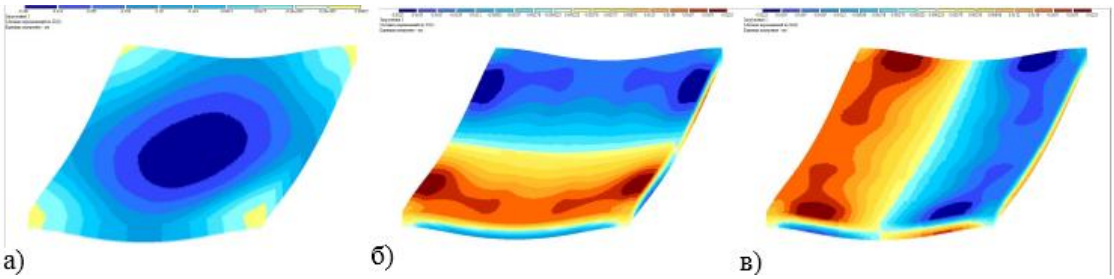


Рисунок 5 – Переміщення (деформації) у плиті перекриття від зсуву вкладиша: а) по осі *Z*; б) по осі *Y*; в) по осі *X*

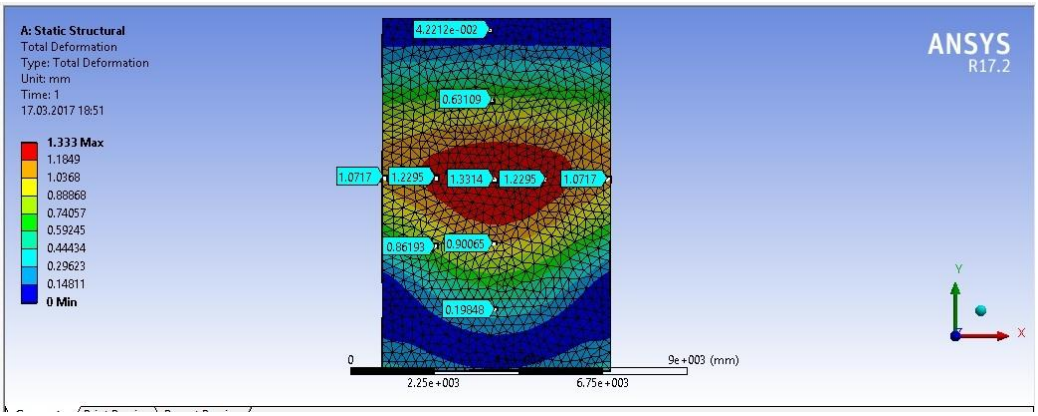


Рисунок 6 – Поля переміщень у програмному комплексі *ANSYS*

Отримано поля переміщення плит перекриття для різних варіантів зміщення вкладиша. Максимальне збільшення величина переміщення плити від власної ваги для різних варіантів зміщення двох вкладишів складає 8,87 % та трьох вкладишів – 10,47 %. При цьому ці переміщення отримані при зміщенні центрального вкладишу разом з крайніми бічними, що показує більший вплив внутрішніх ребер навколо центрального вкладиша на жорсткість та несучу здатність полегшеної плити системи «Монофант». Зважаючи на незначну різницю отриманих значень зміщення вкладишів в межах арматурного каркасу має значного впливу на НДС плити перекриття, але при бетонуванні конструкції слід приділити увагу бетонуванню центральних ребр плити та верхній обшивці, так як дефекти бетонування можуть мати негативний вплив на роботу конструкції.

У п’ятому розділі виконана оптимізація конструктивних і організаційно-технологічних рішень зведення полегшених залізобетонних конструкцій методом торкретування. Виконано оптимізацію конструктивно-технологічних рішень бетонування полегшених конструкцій методом мокрого торкретування з використанням вкладишів із екструдованого і безпресованого пінополістиролу. Виконано бетонування методом торкретування колони круглого січення. Виконано розрахунок методом кінцевих елементів залізобетонних колон за допомогою програми *ANSYS* з урахуванням фізичної нелінійності матеріалів для визначення руйнівного навантаження і порівняння його з експериментальними навантаженнями, після чого проведено аналіз за показниками розподілу об'ємних деформацій; величині головних напружень, що розтягують; оцінці граничного стану за критерієм Мізеса; розподілу вертикальних деформацій; оцінці лінійних горизонтальних переміщень (рис. 7).

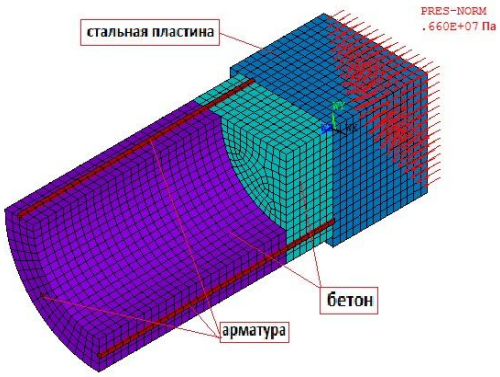


Рисунок 7 – Розрахункова кінцевоелементна схема колони

Аналіз результатів розрахунку і зіставлення їх з експериментальними даними підтвердив адекватність запропонованої моделі.

Відпрацьовано технологію способу мокрого торкретування, що дозволяє бетонувати вертикальні елементи будівель і споруд без вібрації і використовувати мінімальну кількість інвентарних опалубок. Застосування в складі торкрет-бетонної суміші неметалевої фібри не привело до підвищення несучої здатності залізобетонної колони, але дозволило зменшити відскок бетонної суміші до 5–7 % (рис. 8, 9).

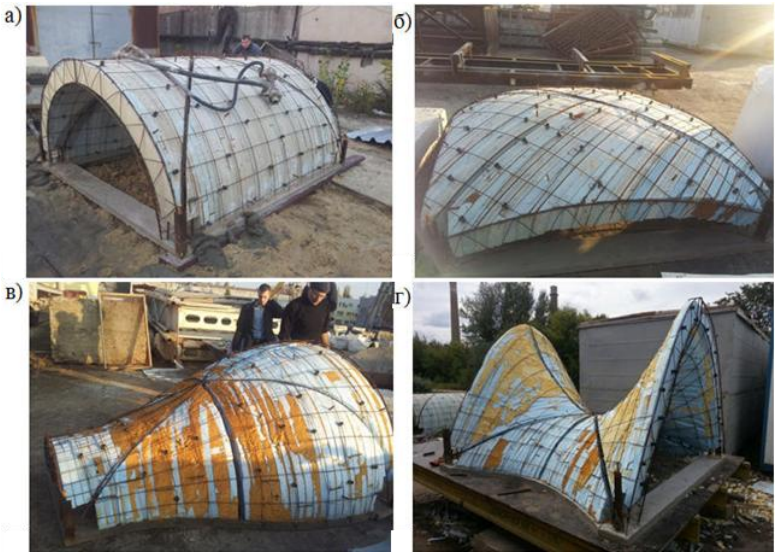


Рисунок 8 – Самонесучі остови залізобетонних оболонок: а)–г) для циліндра, сфери, нодоїда та гіпару

Рисунок 9 – Бетонування монолітної залізобетонної оболонки: а) торкрет-установка; б) заповнення ребер; в) торкретування зовнішньої обшивки; г) нанесений перший шар торкрет-бетону на зовнішню сторону остова

Виконано оптимізацію параметрів розкрою вкладишів для улаштування незнімної опалубки. Встановлено, що напівсферичну оболонку можна створити із застосуванням розробленої системи «Монофант» із різними варіантами конструкції просторового криволінійного арматурного каркасу: з ліводіагональним розподілом решітки; з двостороннім діагональним розподілом решітки; сферичними сегментами з паралельним розподілом решітки; сферичними смугами з шестикутним розподілом решітки.

Розв'язана задача створення технології виготовлення вкладишів із пінополістиролу для зведення полегшених залізобетонних оболонок (сфера, циліндр, гіпар, нодоід), при цьому забезпечено зменшення відходу після розкрою плоского прямокутного листа пінополістиролу і отримання мінімальної кількості елементів у сортаменті для виготовлення вкладишів трикутної форми (рис. 10).

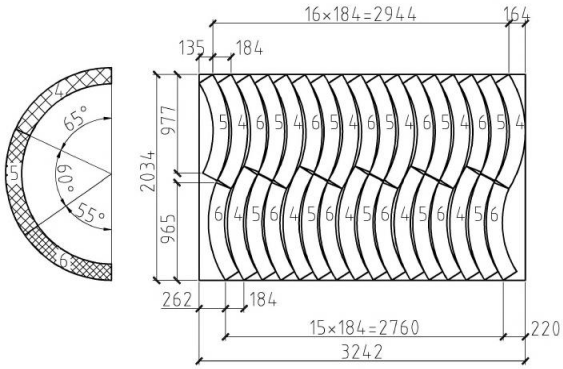


Рисунок 10 – Розкладка елементів оболонки-циліндра: 4, 5, 6 – номери елементів

Отримані результати свідчать про те, що застосування програмного забезпечення для розкрою плоского листа пінополістиролу більш раціонально при розкладці на ньому великої кількості вкладишів, а ручна розкладка може бути застосована тільки для розкрою одного вкладиша на прямокутному аркуші пінополістиролу.

Сформовано результати інформаційного моделювання параметрів конструктивно-технологічних рішень зведення полегшених залізобетонних конструкцій і отримано:

модель технології суміщення:

$$Ms(Ke) \equiv \bigcup_{<i,j>} Ms(Ke, P_i, P_j), \tag{11}$$

геометрична модель:

$$M_G(Ke) = \{Dat_G(Ke), Str_G(Ke)\} \tag{12}$$

критеріальна модель:

$$M_{cr}(Ke) \equiv \{M_{C1} \cup M_{C2} \cup M_{C3} \cup M_{C4} \cup M_{C5}\}, \tag{13}$$

модель локалізації:

$$МЛ(Ke) = МЭН(Ke) \cup МКН(Ke) \cup МНФГ(Ke), \tag{14}$$

де: $МЭН(Ke)$ – модель експлуатаційних навантажень;

$МКН(Ke)$ – модель кінематичних впливів (інсоляція, вітер, гідро-, термовпливи, вібрація, радіація, механіка);

$МНФГ(Ke)$ – модель навантажень на фундаменти і ґрунтову основу.

модель убивання експлуатаційної пригодності:

$$МУЭП(Ke,t) = \left\{ M_G(Ke), M_s(Ke), M_R(Ke), M_t(Ke), \bigcup_p CF(Ke) \right\} \tag{15}$$

Узагальнена аналітична модель поєднує дані різних типів і форматів та побудована як об'єктно-орієнтована параметрична модель; в якості ядра інформаційної моделі ефективно використовується геометрична модель, що семантично пов'язує інформацію про процеси, що відбуваються всередині об'єкта, і про дії, в результаті яких об’єкт змінюється.

У шостому розділі досліджено основи організаційно-технологічного проектування зведення полегшених залізобетонних конструкцій.

Розроблено технологічні рішення зведення полегшених залізобетонних конструкцій із застосуванням самоущільнюючих бетонів, варіанти фіксації арматурного каркасу разом із вкладишами та відповідні блок-схеми технологічного циклу улаштування перекриття (рис. 11). Виконано експериментальне обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вкладишів-порожниноутворювачів.

Розроблені рішення з фіксації вкладишів (рис. 12), досліджено конструктивно-технологічні параметри щодо можливого спливання та руйнування вкладишу при укладанні самоущільнюючих бетонних сумішей. На підставі проведених лабораторних експериментів внесені зміни до технології бетонування полегшених залізобетонних конструкцій із застосуванням СУБС. Для забезпечення утримання арматурного каркаса з вкладишем при

безперервному подаванні бетонної суміші необхідно забезпечити привантажування в 1,5 рази більше, ніж величина сили виштовхування, що при обсязі вкладиша 312,5 л (розмір в плані 125×125 см і висота 20 см) складе 470 кгс. Для вертикального елемента необхідно забезпечити жорстке закріплення арматурного каркаса з вкладишем до випусків арматурних елементів нижче розташованих конструкцій, що забетоновані.

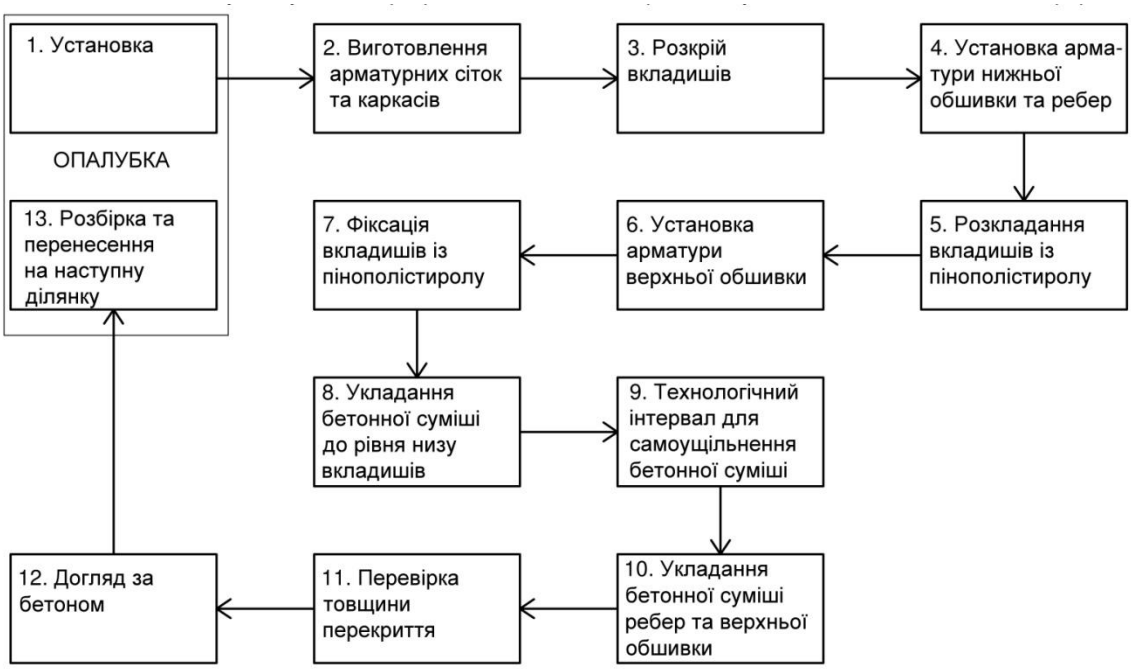


Рисунок 11 – Блок-схема технологічного циклу улаштування перекриття

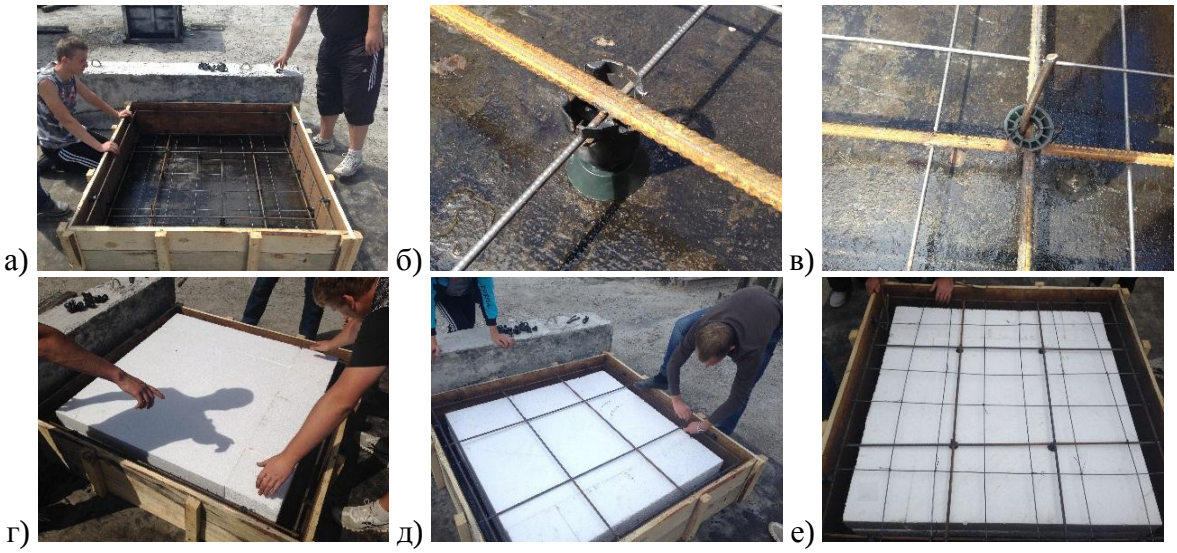


Рисунок 12 – Технологія фіксації арматурних каркасів і вкладишів для горизонтального зразка: а)–е) етапи виконання робіт

Підтверджено, що ваги арматурного каркасу достатньо для утримання вкладишів від спливання при заповненні нижньої обшивки перекриття бетонною сумішшю. Другим варіантом утримання арматурного каркаса з вкладишем в проектному положенні є організація бетонування залізобетонного

полегшеного перекриття таким чином, щоб бетонну суміш спочатку подали в зазор між вкладишами для послідовного формування нижньої обшивки всієї конструкції перекриття. При цьому рівень укладеної бетонної суміші не повинен перевищити рівень низу зафіксованих вкладишів на 2–3 см. За результатами випробувань побудовано графічні залежності залежності опору пенетрації від часу, який характеризує швидкість тужавіння бетонної суміші. Розроблено рішення щодо зменшення ваги залізобетонних конструкцій за рахунок застосування вкладишів із пінополістиролу (рис. 13).

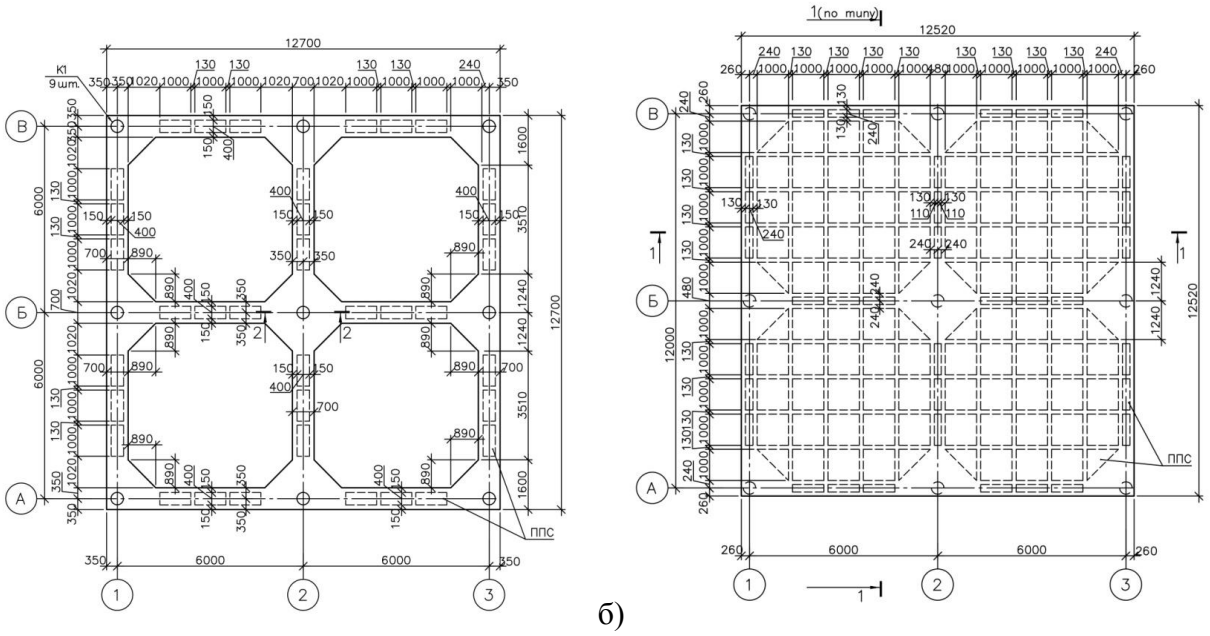


Рисунок 13 – Одноповерхова будівля: а) конструкція ростверку; б) конструкція плити перекриття

У сьомому розділі приведено впровадження результатів досліджень і їх техніко-економічна ефективність.

Наведено результати впровадження у будівельне виробництво при зведенні та реконструкції будівель та споруд різного призначення в межах виконання договорів на розробку конструктивних та організаційно-технологічних рішень та науково-технічний супровід. При реконструкції перекриттів будинків використовувалися полегшені залізобетонні конструкції системи «Монофант».

Практичним впровадженням доведено, що одними з можливих варіантів застосування полегшених залізобетонних конструкцій є використання їх для зведення залізобетонних плит сталезалізобетонних мостів та для зведення збірно-монолітних залізобетонних каркасів будівель. Виконання полегшеного за рахунок запропонованих конструкцій плит і вкладишів, що не виймаються, збірно-монолітного перекриття дозволило скоротити наведену товщину бетону в 1,5–1,6 рази, скоротити витрати арматури на 20–25 %, понизити навантаження на колони, забезпечивши підвищення надійності конструкції і зниження матеріаломісткості як самого каркаса, так і його складових. Скорочуються

терміни будівництва до 30%, знижується собівартість каркаса і будівлі в цілому до 15%.

Запропонована технологія улаштування полегшених залізобетонних конструкцій може бути використана при зведенні монолітних одно- і багатоповерхових цивільних та промислових будівель, що мають стіни, перекриття або інші елементи криволінійної форми. Такі можливості розглянуто на прикладі будівництва складної архітектурної форми для багатоцільового використання у вигляді петлі Мебіуса (рис. 14). Розроблено варіанти компоновки самонесучого остову. Конструкція запропонованого самонесучого остова, що складається з просторового криволінійного арматурного каркаса і вкладишів-порожниноутворювачів, що не виймаються, дозволяє зводити полегшені конструкції з застосуванням торкрет-технології для безопалубочного бетонування.

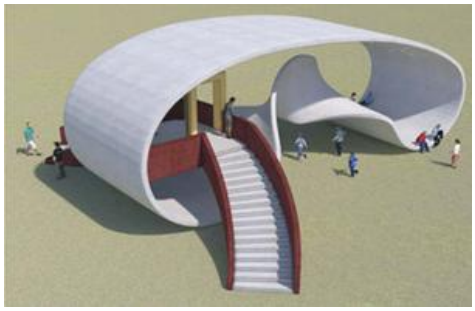
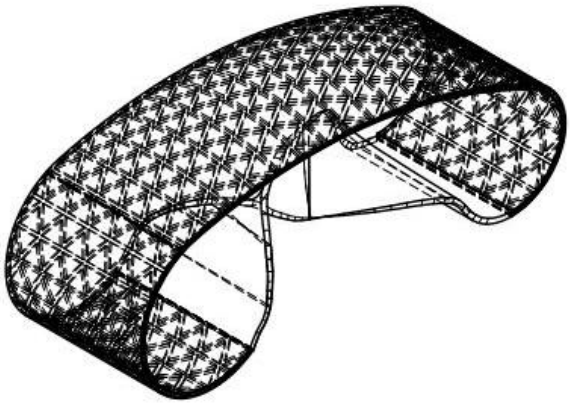
а)  б) 

Рисунок 14 – Складна архітектурної форми у вигляді петлі Мебіуса:
а) вид; б) самонесучий остов

Техніко-економічна ефективність результатів дослідження підрахована з урахуванням правил: об'єкт інвестування абсолютно вигідний, якщо його витрати нижчі ніж витрати в разі альтернативи відмови від його інвестування; об'єкт інвестицій порівняно вигідний, якщо його витрати нижчі ніж витрати на будь-який інший пропонований об'єкт. Застосування технології зведення полегшеного монолітного залізобетонного перекриття з вкладишами пінополістиролу у порівнянні із існуючими технологіями дозволяє скоротити логістичні витрати; зменшити навантаження на фундамент; застосовувати більш широкий спектр проектних рішень; збільшити загальну корисну площі та об’єм будівлі. Наукові результати було використано проектними, будівельними і інвестиційними організаціями. Підтверджений сумарний ефект від впровадження результатів досліджень склав 467,8 тис. грн.

ВИСНОВКИ

На основі виконаних досліджень, викладених у дисертації, сформульовані та обґрунтовані наукові пропозиції, сукупність яких можна кваліфікувати як теоретичне узагальнення й нове рішення актуальної науково-прикладної

проблеми створення теоретико-методологічних основ формування конструктивно-технологічних рішень зведення полегшених залізобетонних конструкцій, що знайшло відображення у наступному:

1. Процес зведення полегшених залізобетонних конструкцій є складною імовірнісною системою, що містить множини окремих елементів, варіативні комбінації яких являють проблемне дослідницьке поле для формування конструктивно-технологічних та організаційних рішень при зведенні конструкцій, що мають просту зовнішню та складну внутрішню геометрію порожнин.

2. На основі аналізу результатів теоретичних, практичних і експериментальних досліджень, методик і технологічних рішень було складено класифікацію існуючих технологій зведення полегшених залізобетонних конструкцій. Встановлено, що на сьогодні не існує ефективної системи утворення внутрішніх порожнин складної геометрії для полегшених залізобетонних конструкцій. Визначено необхідність розробки нових технологій улаштування полегшених залізобетонних конструкцій.

3. Розроблено методику досліджень і методи виконання окремих завдань, які спрямовані на вирішення поставлених завдань і дозволять отримати достовірні та апробовані результати. Обґрунтовано методику експериментальних досліджень через виконання лабораторних та повномасштабних натурних експериментів по створенню технології улаштування полегшених залізобетонних конструкцій.

4. Розроблено методологію прогнозування конструктивно-технологічних параметрів процесу зведення полегшених залізобетонних конструкцій; досліджено вплив компонентів на властивості самоущільнюючих бетонних сумішей; раціоналізовано формування внутрішньої геометрії полегшених залізобетонних конструкцій. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження технології улаштування полегшених залізобетонних конструкцій із застосуванням самоущільнюючих бетонних сумішей як в лабораторних, так і в натурних умовах. Результати досліджень в лабораторії виявили закономірності зміни рухливості бетонних сумішей під впливом технологічних факторів, до яких відносяться відсоток мінеральної добавки та суперпластифікатору, температура навколишнього середовища та час транспортування. Забезпечення збереження раціональних параметрів бетонної суміші отримано при двостадійному введені суперпластифікатору.

5. Розроблено методологію прогнозування напружено-деформованого стану залізобетонних перекриттів в залежності від положення вкладишів-порожниноутворювачів; досліджено вплив точності укладання вкладишів на величину потенційної енергії і щільність її розподілу в конструкції. Розроблено основи організаційно-технологічного проектування зведення полегшених залізобетонних конструкцій; досліджено процеси розкрою, фіксації, порушення положення, руйнування вкладишів-порожниноутворювачів та їх вплив на параметри конструкції. Розраховано технологічно обґрунтовану відстань між вкладишами-порожниноутворювачами із пінополістиролу, а також їх

максимальні розміри при бетонуванні горизонтальних та вертикальних полегшених конструкцій.

6. Виконано оптимізацію конструктивних і організаційно-технологічних рішень зведення полегшених залізобетонних конструкцій методом торкретування. Запропоновано застосувати для улаштування горизонтальних та вертикальних полегшених залізобетонних конструкцій рішення з формування внутрішньої складної геометрії за рахунок вкладишів-порожниноутворювачів із пінополістиролу, а бетонувати із застосуванням самоущільнюючого бетону. Обґрунтовано, що для криволінійних полегшених залізобетонних конструкцій раціональною є технологія застосування самонесучого остова разом із внутрішньою незнімною опалубкою із пінополістиролу, а також бетонування способом мокрого торкретування. Проведено експериментальні дослідження щодо ефективності створення внутрішньої незнімної опалубки із пінополістиролу для формування геометрії криволінійних полегшених залізобетонних конструкцій.

7. Виконано експериментальне моделювання та математичне прогнозування параметрів процесу зведення полегшених залізобетонних конструкцій. Побудовано експериментально-статистичні моделі впливу складу самоущільнюючих бетонів на показники розпливу конуса, в’язкість, здатність долати перешкоду з трьома стержнями, міцність на стиск.

8. Розроблено та експериментально підтверджено методи формування теоретичних, проектних і виробничих рішень з удосконалення організації та технології зведення полегшених залізобетонних конструкцій. Через впровадження на об’єктах будівництва отримано підвищення ефективності технологічного проектування та якості проектної документації при використанні розроблених технологічних карт та науково-методичного забезпечення процесів проектування. На інноваційні технології улаштування полегшених залізобетонних конструкцій отримані патенти на корисну модель та винахід та позитивні результати апробації досліджень в натурних умовах і впроваджені при проектуванні, будівництві і реконструкції реальних об’єктів Харкова. Наукові результати було використано проектними, будівельними і інвестиційними організаціями. Підтверджений сумарний ефект від впровадження результатів досліджень склав 467,8 тис. грн.

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації.

Монографії:

1. Кожушко В.П. Повышение долговечности автодорожных мостов : монография / В.П. Кожушко, А.В. Бильченко, А.Г. Кислов, Е.В. Бережная, О.И. Безбабичева, С.А. Бугаевский, С.Н. Краснов, Е.С. Краснова; под ред. В.П. Кожушко. Харків : ХНАДУ, 2016. 236 с. *Особистий внесок автора: моделювання праці прогонових будов при дії тимчасових навантажень.*

2. Бабаєв В.М. Чисельні та експериментальні методи раціонального проектування і зведення конструктивних систем : монографія / С.О. Бугаєвський, С.М. Євель, І.Д. Євзеров, А.І. Лантух-Лященко,

В.В. Шеветовський, О.В. Шимановський, В.С. Шмуклер. Київ : Видавництво Сталь, 2017. 404 с. *Особистий внесок автора: основні напрямки створення полегшених залізобетонних конструкцій, принципи побудови конструктивно-будівельної системи «Монофант», особливості технології зведення конструкції системи «Монофант».*

3. Більченко А.В. Проблеми розвитку та експлуатації транспортних споруд : колективна монографія / А.В. Більченко, С.О. Бугаєвський, В.П. Кожушко та ін.; під ред. А.В. Більченко. Харків : ХНАДУ, 2020. 344 с. *Особистий внесок автора: організація та технологія процесів при виконанні ремонтнів мостових споруд.*

Статті за кордоном та у виданнях, що включені до міжнародних науковометричних баз:

4. Бугаевский С.А., Глушкова Д.Б., Шепик А.В. Новые методики – новые возможности в строительстве. *Вісник ХНАДУ : зб. наук. пр.* Харків : ХНАДУ. 2014. Вып. 64. С. 147–152. **(Видання включено у МНБД Index Copernicus)**. *Особистий внесок автора: дослідження неруйнівного методу визначення міцності торкретфібробетону.*

5. Бугаевский С.А. Применение самоуплотняющегося бетона в технологии устройства облегченных железобетонных перекрытий. *Вісник ХНАДУ: зб. наук. пр.* Харків : ХНАДУ, 2015. Вып. 69. С. 79–90. **(Видання включено у МНБД Index Copernicus)**.

6. Шмуклер В.С., Бугаевский С.А., Никулин В.Б. Система «Монофант» для возведения монолитных железобетонных каркасов. *Вісник ХНАДУ: зб. наук. пр.* Харків : ХНАДУ, 2015. Вып. 71. С. 70–84. **(Видання включено у МНБД Index Copernicus)**. *Особистий внесок автора: принципи побудови архітектурно-будівельної системи «Монофант».*

7. Bugayevskiy S. Use Of Wet Concrete Spraying In Building Technology Of Reinforced-Concrete Fiber Slabs According To «Monofant» System. *Автомобільний транспорт : зб. наук. пр.* Харків : ХНАДУ, 2016. Вып. 38. С. 126–134. **(Видання включено у МНБД Index Copernicus)**.

8. Емельянова И.А., Бугаевский С.А. Оборудование для возведения монолитных железобетонных конструкций системы «Монофант» способом торкретирования. *Вісник ХНАДУ : зб. наук. пр.* Харків : ХНАДУ, 2016. Вып. 72. С. 107–117. **(Видання включено у МНБД Index Copernicus)**. *Особистий внесок автора: обгрунтування критеріїв порівняння обладнання для виконання торкрет-робіт мокрим способом.*

9. Bugayevskiy S., Voronova Ye., Shtefan O. The use of self-compacting concrete during reconstruction of the building for the administration service centre. *Автомобільний транспорт : зб. наук. пр.* Харків : ХНАДУ, 2016. Вып. 39. С. 21–27. **(Видання включено у МНБД Index Copernicus)**. *Особистий внесок автора: дослідження двостадійного введення добавки суперпластифікатору на властивості бетонної суміші.*

10. V. Babaev, V. Shmukler, S. Bugayevskiy, V. Nikulin. Cast Reinforced Concrete Frame of Buildings and Methods of Its Erection. *Journal of Civil*

Engineering and Construction. September, 2016. Volume 5. Number 2. Pp. 143–156. *Особистий внесок автора: розробка технології бетонування полегшених залізобетонних конструкцій з використанням самоущільнюючих бетонів та метода торкретування.*

11. Bugayevskiy S. Research of the properties of the self-construction concrete in time / S. Bugayevskiy, Ye. Voronova, O. Shtefan, A. Zadorozhny, A. Kovrevsky, M. Bugaevskiy // *Автомобільний транспорт : зб. наук. пр.* Харків : ХНАДУ, 2017. Вып. 41. С. 116–123. **(Видання включено у МНБД Index Copernicus)**. *Особистий внесок автора: дослідження властивостей самоущільнюючих бетонів у часі.*

12. Babayev V. Efficient construction of the motorway and highway bridge superstructure (experimental studies) / V. Babayev, M. Bekker, V. Shmukler, S. Bugayevskiy, R. Kaplin, Y. Krul // *MATEC Web of Conferences. Material science, Engineering and Chemistry.* Transbud-2017. Vol. 116, 02003 (2017). **(Видання включено у МНБД Scopus)**. *Особистий внесок автора: обробка результатів динамічного випробування сталезалізобетонної прогонової будови.*

13. Bugayevskiy S. Basics of modeling and technology of creating reinforced concrete elements of «Monofant» system construction / S. Bugayevskiy, V. Gerasymenko, A. Konyukhov, V. Nikulin // *MATEC Web of Conferences. Material science, Engineering and Chemistry.* Transbud-2017. Vol. 116, 02009 (2017). **(Видання включено у МНБД Scopus)**. *Особистий внесок автора: оптимізація розкрою вкладишів для створення незнімної опалубки полегшених залізобетонних конструкцій циліндричної форми.*

14. Bugaevsky S. Creation of reinforced concrete structures of a complex geometric shape / S. Bugaevsky, N. Smirnova, A. Filatova, E. Sinkovskaya, A. Ignatenko // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.* Vol. 15, № 2, January 2020. Pp. 242–257. **(Видання включено у МНБД Scopus)**. *Особистий внесок автора: оптимізація розкрою вкладишів для створення незнімної опалубки полегшених залізобетонних конструкцій нодоїдальної та гіпарідальної форми.*

Статті у наукових фахових виданнях:

15. Бугаевский С.А., Цинка А.О. Вплив базальтової фібри на властивості цементних бетонів. *Вісник ХНАДУ : зб. наук. пр.* Харків : ХНАДУ, 2005. Вып. 30. С. 177–182. *Особистий внесок автора: дослідження властивості цементних бетонів з добавкою пластифікатору та базальтової фібри.*

16. Шмуклер В.С., Бугаевский С.А., Стародубов С.Н. Новые архитектурно-строительные системы и особенности технологии их изготовления. *Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр.* Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2012. Вип. 68. С. 84–95. *Особистий внесок автора: порівняння різних матеріалів в якості вкладишів-порожниноутворювачів, які не виймаються, за критерієм їх економічної ефективності.*

17. Бугаевский С.А. Антикоррозионная защита методом пропитки поверхностей бетонных и железобетонных конструкций мостов. *Науковий*

вісник будівництва : зб. наук. праць. Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2012. Вип. 68. С. 204–208.

18. Шмуклер В.С., Бугаевский С.А., Стародубов С.Н. Монолитный железобетонный каркас зданий и сооружений возводимый торкретированием из фибробетона. *Будівельні конструкції : міжвідомчий наук.-техн. зб. «Будівництво в сейсмічних районах України», зб. наук. праць.* Київ : ДП НДІБК, 2012. Вип. 76. С. 570–579. *Особистий внесок автора: технологія виготовлення конструкцій за допомогою укладання фібробетону способом мокрого торкретування.*

19. Бугаевский С.А. Метод возведения каркасных систем нового типа. *Вісник ХНАДУ : зб. наук. пр.* Харків : ХНАДУ, 2012. Вип. 58. С. 78–84.

20. Бугаевский С.А. Анализ свойств материалов для изготовления неизвлекаемых вкладышей-порожнинообразователей в железобетонных конструкциях. *Будівельні конструкції : міжвідомчий наук.-техн. зб. «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону», зб. наук. праць у 2-х книгах.* Київ : ДП НДІБК, 2013. Вип. 78, книга 2. С. 478–586.

21. Бугаевский С.А. Способ возведения элементов зданий криволинейной формы. *Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр.* Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. Вип. №2 (80). С. 116–126.

22. Бугаевский С.А. Современные облегченные железобетонные перекрытия с применением неизвлекаемых вкладышей-пустотообразователей. Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. Вип. №3 (81). С. 73–87.

23. Шмуклер В.С., Бугаевский С.А., Никулин В.Б. Принципы фиксации арматурных каркасов и вкладышей при устройстве облегченных конструкций. *Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр.* Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. Вип. №4 (82). С. 81–86. *Особистий внесок автора: натурні експерименти по улаштуванню полегшених залізобетонних конструкцій із використанням самоущільнюючих бетонів.*

24. Шмуклер В.С. Влияние качественного и количественного состава компонентов бетона на технологические свойства самоуплотняющейся бетонной смеси / В.С. Шмуклер, С.А. Бугаевский, В.Б. Никулин, Т.И. Ямковая // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. пр. Рівне : НУВГП, 2015. Вип. 31. С. 168–175. *Особистий внесок автора: дослідження принципів управління властивостями самоущільнюючих бетонів.*

25. Шмуклер В.С. Применение самоуплотняющихся бетонов для строительства и ремонта железобетонных конструкций / В.С. Шмуклер, С.А. Бугаевский, В.Б. Никулин, Т.И. Ямковая // *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві : зб. наук. пр.* Луцьк : ЛНТУ, 2015. Вип. 3. С. 251–260. *Особистий внесок автора: технологія ремонту колон із застосуванням самоущільнюючих бетонів.*

26. Шмуклер В.С., Бугаевский В.А., Бугаевский С.А. Сталежелезобетонные пролетные строения для малых и средних пролетов мостов. *Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр.* Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2016. Вип. №1 (83). С. 57–65. *Особистий внесок автора: обгрунтування критеріїв порівняння конструкцій сталезалізобетоних прогонових будов.*

27. Шмуклер В.С. Применение новой конструкции сталежелезобетонного пролетного строения при капитальном ремонте моста / В.С. Шмуклер, В.Н. Бабаев, С.М. Евель, Н.А. Меленцов, Ю.А. Хаинсон, С.А. Бугаевский, В.А. Бугаевский // *Нові технології в будівництві : наук.-техн. журнал.* Київ : ДП НДІБВ, 2016. Вип. №31. С. 38–49. *Особистий внесок автора: теоретичне обгрунтування підвищення міцності конструкцій об'єднання бетону та сталі в сталезалізобетоних прогонових будовах.*

28. Бугаевский С.А. Минимизация отскока при торкретировании мокрым способом. *Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр.* Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2016. Вип. №2 (84). С. 269–276.

29. Бугаевский С.А., Бережная Е.В., Бормот Д.С. Влияние точности укладки вкладышей на НДС перекрытия системы «Монофант». *Науковий вісник будівництва: зб. наук. пр.* Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2016. Вип. №3 (85). С. 92–98. *Особистий внесок автора: розрахунок фрагменту залізобетонного перекриття полегшеного типу з урахуванням точності укладання вкладишів-порожниноутворювачів.*

30. Шмуклер В.С., Бугаевский С.А., Задорожний А.А. Применение торкрет-технологии для строительства зданий и сооружений. *Наука та будівництво : наук.-техн., виробничий та інф.-аналіт. журнал.* Київ : ТОВ Скай-прінт, 2016. Вип. №3(9). С. 4–10. *Особистий внесок автора: формування топології принципів управління та прогнозування параметрів торкретбетону.*

31. Шмуклер В.С., Бугаевский С.А. Создание несъемной опалубки для возведения железобетонных конструкций полусферической формы. *Нові технології в будівництві : наук.-техн. журнал.* Київ : ДП НДІБВ, 2017. Вип. №32. С. 36–44. *Особистий внесок автора: оптимізація розкрою вкладишів для створення незнімної опалубки полегшених залізобетонних конструкцій напівсферичної форми.*

Публікації апробаційного характеру:

32. Бугаевский С.А., Цинка А.О. Проблеми визначення міцності бетону мостових споруд. *Сучасні технології та матеріали для будівництва й експлуатації автомобільних доріг* : матеріали наук. сем. молодих вчених та аспірантів 23–24 вересня 2004 р. Харків, ХНАДУ, 2004. С. 10–11. *Особистий внесок автора: порівняння неруйнівних методів визначення міцності бетону.*

33. Бугаевский С.А., Цинка А.О. Використання фібробетону для ремонту мостових споруд. *Сучасні технології та матеріали для будівництва й експлуатації автомобільних доріг* : матеріали наук. сем. молодих вчених та аспірантів 23–24 вересня 2004 р. Харків, ХНАДУ, 2004. С. 12–13. *Особистий внесок автора: експериментальні дослідження властивостей фібробетону.*

34. Шмуклер В.С., Бугаевский С.А., Стародубов С.Н. Новые архитектурно-строительные системы и особенности технологии их изготовления. *Будівництво, реконструкція і відновлення будівель міського господарства* : материали III Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. 15 квітня – 15 травня 2012 р. Харків : ХНАМГ, 2012. С. 291–294. *Особистий внесок*

автора: удосконалення технології зведення монолітних залізобетонних будівель та споруд за допомогою метода торкретування фібробетону.

35. Бугаевский С.А., Гапонова Л.В., Назаренко И.В. Современные технологи возведения монолитных железобетонных зданий с применением несъемной опалубки. *Енергозбережні технології теплогазопостачання, будівництва і муніципальної інфраструктури* : матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. 23 жовтня – 22 листопада 2013 р. Харків : ХНАМГ, 2013. С. 186–189. *Особистий внесок автора: раціоналізація параметру тривалості зведення монолітних будівель із застосуванням незнімної опалубки.*

36. Бугаевский С.А., Шмуклер В.С., Кондращенко В.И. Испытание колонн, изготовленных из торкрет-фибробетона. *Енергозбережні технології теплогазопостачання, будівництва і муніципальної інфраструктури* : матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. 23 жовтня – 22 листопада 2013 р. Харків : ХНАМГ, 2013. С. 190–194. *Особистий внесок автора: складання методики випробування колон, що виконані із торкретфібробетону.*

37. Бугаевский С.А., Глушкова Д.Б. Перспективы применения метода неразрушающего контроля высокопрочных бетонов : *матеріали 78-ї науково-технічної та науково-методичної конференції університету.* Харків : ХНАДУ, 2014. С. 37–44. *Особистий внесок автора: оцінка надійності неруйнівного методу визначення міцності бетону.*

38. Бугаевский С.А., Гапонова Л.В. Современные технологии получения облегченных железобетонных конструкций. *Будівництво, реконструкція і відновлення будівель міського господарства* : матеріали IV Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. 25 листопада – 25 грудня 2014 р. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2014. С. 20–24. *Особистий внесок автора: визначення техніко-економічних показників порівняння конструкцій полегшених залізобетонних перекриттів.*

39. Шмуклер В.С., Бугаевский С.А., Никулин В.Б. Усовершенствование технологии устройства облегченных железобетонных конструкций. *Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд* : тези за матеріалами VII Міжнар. наук. конф. 20–21 жовтня 2015 р. Харків : ХНУБА, 2015. С. 168–170. *Особистий внесок автора: удосконалення засобів ріштування при улаштуванні полегшених залізобетонних перекриттів із застосуванням самоущільнюючих бетонів.*

40. Бугаевский С.А., Никулин В.Б. Применение самоуплотняющегося бетона в технологии устройства железобетонных перекрытий. *Ефективні технологічні рішення в будівництві з використанням бетонів нового покоління :* материали Міжнар. наук.-практ. конф. 28–29 жовтня 2015 р. Харків : ХНУБА, 2015. С. 115–121. *Особистий внесок автора: підбір складу самоущільнюючих бетонних сумішей на вітчизняних матеріалах.*

41. Бугаевский С.А. Минимизация отскока бетонной смеси при торкретировании мокрым способом. Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві : матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. 23–24 березня 2016 р. Харків : Видавництво «Точка», 2016. С. 14–16.

42. Задорожный А.А., Береза Ю.В., Бугаевский С.А. Применение оборудования для возведения криволинейных железобетонных конструкций дорожной инфраструктуры способом торкретирования. *Сучасні геоінформаційні і компютерно-інноваційні технології дорожньої галузі, аеродромного будівництва і землевпорядкування* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. 26–27 травня 2016 г. Харків : ХНАДУ, 2016. С. 88–93. *Особистий внесок автора: розробка самонесучого каркаса, що забезпечує зведення конструкцій із довільною геометрією.*

43. Шмуклер В.С. Новая конструкция сталежелезобетонного пролетного строения / В.С. Шмуклер, В.Н. Бабаев, С.А. Бугаевский, В.А. Бугаевский // *Ефективні технології в будівництві :* програма та тези доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. 7–8 квітня 2016 р. Київ : КНУБА, 2016. С. 113–114. *Особистий внесок автора: розробка конструкції тротуарного блоку із застосуванням вкладишів-порожниноутворювачів.*

44. Бугаевский С.А. Применение торкрет-технологии в современных условиях строительства / С.А. Бугаевский, А.А. Задорожный, Ю.В. Береза, А.Н. Бых // Стан сучасної будівельної науки – 2016 : матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Полтава, 2016. С.43–52. *Особистий внесок автора: дослідження принципів управління властивостями торкретбетону.*

45. Shmukler V. Features of the formwork for the construction of complex geometric shapes of buildings with the use of shotcrete technology / V. Shmukler, S. Bugayevskiy, A. Zadorozhny, V. Gerasymenko, A. Kovalenko // *European Research Area: Status, Problems and Prospects :* Proceedings of the International Academic Congress 01–02 September 2016. Riga : LSA, 2016. Pp. 95–99. *Особистий внесок автора: визначення мінімальної кількості типорозмірів вкладишів для самонесучого каркасу.*

46. Шмуклер В.С. Сбережение ресурсов при возведении зданий системы «Монофант» / В.С. Шмуклер, С.А. Бугаевский, В.В. Герасименко, О.Н. Штефан // *Безпека життєдіяльності на транспорті і виробництві – освіта, наука, практика* : матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. 13–15 вересня 2016 р. Херсон : ХДМА, 2016. С. 282–289. *Особистий внесок автора: визначення техніко-економічних показників для різних конструктивних елементів системи «Монофант».*

47. Семененко В.С., Бугаевский С.А. Ремонт и восстановление объектов инженерной инфраструктуры методом центробежного набрызга. *Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур* : тези за матеріалами VII Всеукр. наук. сем. 11–12 жовтня 2016 р. Харків : ХНУБА, 2016. С. 10–12. *Особистий внесок автора: оптимізація параметрів процесу торкретування методом мокрого набризку.*

48. Бугаевский С.А., Бережная Е.В., Бормот Д.С. Анализ нарушений положения вкладышей-порожнинообразователей в перекрытиях системы «Монофант». *Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. 03–04 листопада 2016 р. Харків : ХНАДУ, 2016. С. 6–10. *Особистий внесок автора: систематизація змін положення вкладишів для полегшеного залізобетонного перекриття.*

49. Бугаевский С.А., Штефан О.Н. Влияние двухстадийного введения суперпластификатора на сохранность самоуплотняющейся бетонной смеси. *Актуальні задачі сучасних технологій* : зб. тез доповідей V Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів 17–18 листопада 2016 р. Том I. Тернопіль : ТНТУ, 2016. С. 124–125. *Особистий внесок автора: дослідження властивостей самоущільнюючих бетонів при двостадійному введені добавки суперпластифікатора.*

50. Бережна К.В., Бугаєвський С.О. Дослідження НДС скінчено-елементної моделі плити перекриття та її вузлів опирання. *Впровадження технологій комп'ютерного моделювання для підвищення якості підготовки фахівців з будівельної та машинобудівельної галузей* : наук. пр. Всеукр. наук.-метод. інтернет-конф. 24 листопада 2016 р. Харків : ХНАДУ, 2016. С. 20–24. *Особистий внесок автора: створення 3D-моделей будівельних конструкцій.*

51. Бугаевский С.А., Штефан О.Н. Використання програми INVENTOR у наукових дослідженнях НДС полегшених залізобетонних конструкцій. *Впровадження технологій комп'ютерного моделювання для підвищення якості підготовки фахівців з будівельної та машинобудівельної галузей* : наук. пр. Всеукр. наук.-метод. інтернет-конф. 24 листопада 2016 р. Харків : ХНАДУ, 2016. С. 30–33. *Особистий внесок автора: створення в програмному комплексі Autodesk Inventor моделі полегшеного залізобетонного перекриття.*

52. Шмуклер В.С., Бугаевский С.А. Создание несъемной опалубки для возведения железобетонных конструкций полусферической формы. *Ефективні технології в будівництві* : програма та тези доповідей II Міжнар. наук.-техн. конф. 6–7 квітня 2017 р. Київ : КНУБА, 2017. С. 107–108. *Особистий внесок автора: технологія розкрою незнімної опалубки для зведення полегшених залізобетонних конструкцій напівсферичної форми.*

53. Бабаев В.Н. Эффективная конструкция пролетного строения автомобильно-дорожного моста (экспериментальные исследования) / В.Н. Бабаев, М.Л. Беккер, В.С. Шмуклер, С.А. Бугаевский, Р.Б. Каплин, Ю.Н. Круль // *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті* : тези доповідей VI-ї Міжнар. наук.-техн. конф. 19–21 квітня 2017 р. Харків : УДУЗТ, 2017. С. 97–98. *Особистий внесок автора: обробка результатів динамічного випробування сталезалізобетонної прогонової будови.*

54. Бугаевский С.А. Основы моделирования и технология создания железобетонных элементов конструкции системы «Монофант» / С.А. Бугаевский, В.В. Герасименко, А.В. Конюхов, В.Б. Никулин // *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті* : тези доповідей VI-ї Міжнар. наук.-техн. конф. 19–21 квітня 2017 р. Харків : УДУЗТ, 2017. С. 106–107. *Особистий внесок автора: оптимізація розкрою вкладишів для створення незнімної опалубки полегшених залізобетонних конструкцій циліндричної форми.*

55. Bugayevskiy S. Principles of Design and Formation of a Self-Supporting Skeleton in Constructing Buildings of Complex Geometric Shapes with the Use of Shotcrete Technology / S. Bugayevskiy, V. Babaev, V. Shmukler, V. Gerasymenko,

A. Zadorozhny, G. Viselga // The 13th International Conference Mechatronic Systems and Materials (MSM-2017), Abstracts, 3–5 July 2017. Vilnius : Lithuania, 2017. Pp. 28. *Особистий внесок автора: розробка принципів створення самонесучого каркасу для полегшених залізобетонних конструкцій криволінійної форми.*

56. Бугаевский С.А., Коваленко А.Н. Современные технологии создания зданий сложной геометрической форм. *Мости, тунелі і дороги: стан, проблеми утримання та перспективи підвищення довговічності* : матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. 25 травня 2018 р. Харків : ХНАДУ, 2018. С. 232–235. *Особистий внесок: створення топологій сучасних технологій зведення будівель та конструкцій складної геометричної форми.*

57. Бугаєвський С.О., Штефан О.М., Анікєєва О.В. Забезпечення властивостей самоущільнюючого бетону в часі. *Мости, тунелі і дороги: стан, проблеми утримання та перспективи підвищення довговічності* : Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. 25 травня 2018 р. Харків : ХНАДУ, 2018. С. 236–240. *Особистий внесок: проведення досліджень з оптимізації термінів та кількості роздільного введення добавки-суперпластифікатора.*

Патенти

58. Патент України на корисну модель № 89464, МПК E04B 1/18. Каркасна будівля «Монофант» / Шмуклер В.С., Бабаєв В.М., Бугаєвський С.О., Бережна К.В., Карякін І.А., Кондращенко В.І., Сеірскі І.М. Заявл. 10.10.2013; опубл. 25.04.2014 р.; Бюл. №8. *Особистий внесок автора: розробка конструктивних особливостей зони підвищенного армування каркасної будівлі «Монофант».*

59. Патент України на корисну модель № 102097, МПК E04C 2/00, E04B 5/00, E04G 21/00. Спосіб улаштування залізобетонного перекриття полегшеного типу / Шмуклер В.С., Бабаєв В.М., Бугаєвський С.О., Науменко Ю.А. Заявл. 18.05.2015; опубл. 12.10.2015 р.; Бюл. №19. *Особистий внесок автора: розробка технології бетонування залізобетонного перекриття полегшеного типу.*

60. Патент України на корисну модель № 103207, МПК E04B 1/32. Спосіб зведення елементів будівель криволінійної форми / Шмуклер В.С., Бабаєв В.М., Бугаєвський С.О., Бих Г.М. Заявл. 18.05.2015; опубл. 10.12.2015 р.; Бюл. №23. *Особистий внесок автора: раціоналізація конструктивних параметрів зведення елементів будівель криволінійної форми.*

61. Патент України на корисну модель № 108201, МПК E04D 1/00, E04D 11/00, E04C 3/00. Конструкція покрівельного покриття / Шмуклер В.С., Нікулін В.Б., Бугаєвський С.О. Заявл. 21.12.2015; опубл. 11.07.2016 р.; Бюл. №13. *Особистий внесок автора: пошук аналогів та економічне обгрунтування конструкції покрівельного покриття.*

62. Патент України на корисну модель № 108231, МПК E04C 3/34, E04B 1/38. Вузол кріплення стіни або перегородки до залізобетонної колони / Шмуклер В.С., Нікулін В.Б., Бугаєвський С.О. Заявл. 30.12.2015; опубл. 11.07.2016 р.; Бюл. №13. *Особистий внесок автора: розробка конструкції закладного елемента.*

63. Патент України на корисну модель № 108584, МПК E04D 1/00. Прогонова будова мосту / Шмуклер В.С., Бабаєв В.М., Хаінсон Ю.О., Бугаєвський В.О., Бугаєвський С.О., Круль Ю.М. Заявл. 04.01.2016; опубл. 25.07.2016 р.; Бюл. №14. *Особистий внесок автора: розробка конструкції тротуарного блоку із застосуванням вкладишів-порожниноутворювачів.*

64. Патент України на корисну модель № 109446, МПК E04G 11/38. Опалубка для зведення збірно-монолітних перекриттів / Нікулін В.Б., Конюхов А.В., Шмуклер В.С., Лавриненко О.М., Бугаєвський С.О. Заявл. 26.02.2016; опубл. 25.08.2016 р.; Бюл. №16. *Особистий внесок автора: техніко-економічне обгрунтування опалубки для зведення збірно-монолітних перекриттів у порівнянні із сучасними аналогами.*

65. Патент України на винахід № 113669, МПК E04B 1/32, E04B 1/16. Спосіб зведення елементів будівель криволінійної форми / Шмуклер В.С., Бабаєв В.М., Бугаєвський С.О., Бих Г.М. Заявл. 18.05.2015; опубл. 27.02.2017 р.; Бюл. №4. *Особистий внесок автора: оптимізація комплекту механізації для способу зведення елементів будівель криволінійної форми.*

66. Патент України на корисну модель № 115884, МПК E04B 1/18. Збірно-монолітний залізобетонний каркас будівлі «Житлобуд» / Нікулін В.Б., Конюхов А.В., Шмуклер В.С., Лавриненко О.М., Бугаєвський С.О., Штефан О.М. Заявл. 09.12.2016; опубл. 25.04.2017 р.; Бюл. №8. *Особистий внесок автора: розробка конструкції монолітної частини залізобетонного каркасу будівлі «Житлобуд» із застосуванням вкладишів-порожниноутворювачів.*

67. Патент України на корисну модель № 115885, МПК E04B 1/18. Спосіб зведення збірно-монолітного залізобетонного каркасу будівлі «Житлобуд» / Нікулін В.Б., Конюхов А.В., Шмуклер В.С., Лавриненко О.М., Бугаєвський С.О., Штефан О.М. Заявл. 09.12.2016; опубл. 25.04.2017 р.; Бюл. №8. *Особистий внесок автора: розробка технології бетонування монолітної частини перекриття із вкладишами-порожниноутворювачами.*

68. Патент України на винахід № 115707, МПК E04G 11/38. Спосіб монтажу опалубку для зведення збірно-монолітних перекриттів / Нікулін В.Б., Конюхов А.В., Шмуклер В.С., Лавриненко О.М., Бугаєвський С.О. Заявл. 26.02.2016; опубл. 11.12.2017 р.; Бюл. №23. *Особистий внесок автора: економічне обгрунтування засобів механізації для монтажу опалубки при зведенні збірно-монолітних перекриттів.*

69. Патент України на корисну модель № 123542, МПК B66C 1/10. Вантажопідйомна траверса для монтажу довгомірних конструкцій / Нікулін В.Б., Шмуклер В.С., Лавриненко О.М., Бугаєвський С.О., Штефан О.М. Заявл. 30.10.2017; опубл. 26.02.2018 р.; Бюл. №4. *Особистий внесок автора: розробка вузлів закріплення навантаження до вантажопідйомної траверси.*

70. Патент України на корисну модель № 141171, МПК B21D 47/01, E04C 3/08. Спосіб виготовлення полегшених балок / Бабаєв В.М., Шмуклер В.С., Круль Ю.М., Бугаєвський С.О., Каплін Р.Б. Заявл. 06.08.2019; опубл. 25.03.2020 р.; Бюл. №6. *Особистий внесок автора: розробка варіантів розрізання суцільної балки для виготовлення полегшених балок.*

71. Патент України на винахід № 122686, МПК B66C 1/10, B66C 1/16. Вантажопідйомна траверса для монтажу довгомірних конструкцій / Нікулін В.Б., Шмуклер В.С., Лавриненко О.М., Бугаєвський С.О., Штефан О.М. Заявл. 30.10.2017; опубл. 28.12.2020 р.; Бюл. №24. *Особистий внесок автора: розробка вузлів закріплення навантаження до вантажопідйомної траверси.*

Додаткові публікації:

72. Шмуклер В.С. Технические решения по стыковке продольных арматурных стержней каркасов монолитных железобетонных колонн / В.С. Шмуклер, С.А. Бугаевский, В.Б. Никулин, О.Н. Лавриненко // *Бетон и железобетон в Украине : научно-технический и производственный журнал.* Полтава : ЧП «Школяр», 2016. №3 (91). С. 11–18. *Особистий внесок автора: раціоналізація конструктивних параметрів стиковки повздовжніх арматурних стержнів.*

73. M.V. Gromakov, S.O. Bugayevskiy, L.A. Khorunga. The Method Of Buildings Cast Reinforced Concrete Frame Erection. *Collection of Scientific Works. Integration Processes and Innovative Technologies : Achievements and Prospects of Engineering Sciences (in Foreign Languages).* 2016. Issue 6. Kharkiv : KNAHU. Pp. 410–414. *Особистий внесок автора: удосконалення технології бетонування полегшених залізобетонних конструкцій методом торкретування.*

74. Шмуклер В.С. Определение прочности торкрет-бетона / В.С. Шмуклер, С.А. Бугаевский, А.Н. Коваленко, О.Н. Штефан // *Бетон и железобетон в Украине : научно-технический и производственный журнал.* Полтава : ЧП «Школяр», 2016. №5 (93). С. 2–6. *Особистий внесок: порівняння методів визначення міцності торкретбетону.*

75. Бугаевский С.А. Применение торкрет-технологии в современных условиях строительства / С.А. Бугаевский, А.А. Задорожный, А.Н. Бых, Ю.В. Береза // *Бетон и железобетон в Украине : научно-технический и производственный журнал.* Полтава : ЧП «Школяр», 2016. №6 (94). С. 2–11. *Особистий внесок автора: математичне моделювання параметрів торкретбетону.*

76. Емельянова І.А. Технологические особенности возведения зданий и сооружений криволинейной формы по строительной системе «Монофант» с использованием малогабаритного оборудования способом мокрого торкретирования / І.А. Емельянова, С.А. Гузенко, Д.О. Чайка, С.А. Бугаевский, Л.В. Гапонова, С.С. Гребенчук // Інноваційні технології в архітектурі і дизайні : колективна монографія. Харків : ХНУБА, 2017. С. 323–330. *Особистий внесок автора: експериментальне обгрунтування параметрів торкретфібробетону для зведення полегшених залізобетонних конструкцій торкретуванням.*

77. Шмуклер В.С., Герасименко В.В., Бугаевский С.А. Определение геометрии пустотообразователей при помощи информационного моделирования системы «Монофант». Інноваційні технології в архітектурі і дизайні : колективна монографія. Харків, ХНУБА, 2017. С. 350–358. *Особистий внесок автора: інформаційне моделювання для раціоналізації форми вкладишів-порожниноутворювачів для самонесучого каркасу.*

АНОТАЦІЯ

Бугаєвський С.О. Теоретико-методологічні основи формування організаційно-технологічних рішень зведення полегшених залізобетонних конструкцій. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.08 – «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» (19 – Архітектура та будівництво). – Харківський національний університет міського господарства ім. В.О. Бекетова, Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, 2021.

Сформульовані та обґрунтовані наукові пропозиції з теоретичного узагальнення та нових рішень науково-прикладної проблеми створення теоретико-методологічних основ формування конструктивно-технологічних рішень зведення полегшених залізобетонних конструкцій. Наукова проблема створення методологічних основ забезпечення ефективності зведення таких конструкцій вирішується через раціоналізацію параметрів зведення горизонтальних та вертикальних полегшених конструкцій з використанням самоущільнюючих бетонів та вкладишів-порожниноутворювачів, що не виймаються, а для криволінійних конструкцій – внутрішньої незнімної опалубки, у складі самонесучого остову із арматурного каркасу та способу мокрого торкретування. Сформовано принципи обґрунтування для застосування вкладишів-порожниноутворювачів, що не виймаються, що полягають у: зменшенні ваги конструкції шляхом видалення з неї матеріалу, який не бере участі в роботі, без зменшення характеристик міцності; створенні прольотів більшого розміру; зменшенні загального навантаження на фундамент; зменшенні потреби у бетонній суміші та арматурі для зведення конструкцій та зменшенні трудомісткості їх улаштування. Розглянуто основні варіанти зміни положення вкладиша: вертикальне зміщення за рахунок порушення товщини верхнього шару обшивки або недобетування нижньої обшивки і поворот за рахунок нерівномірного вертикального переміщення вкладиша при одностадійному бетонуванні. В результаті після розрахунків у програмних комплексах ЛІРА та *ANSYS* встановлено, що при бетонуванні плит перекриття особливо впливає на напружено-деформований стан положення вкладиша по висоті для забезпечення прийнятої товщини обшивок плити перекриття. Виконано оптимізацію конструктивно-технологічних рішень бетонування полегшених конструкцій методом мокрого торкретування з використанням вкладишів із екструдованого і безпресованого пінополістиролу. Виконано оптимізацію параметрів розкрою вкладишів для улаштування незнімної опалубки. Розв'язана задача створення технології виготовлення вкладишів із пінополістиролу для зведення полегшених залізобетонних оболонок (сфера, циліндр, гіпар, нодоід), при цьому забезпечено зменшення відходу після розкрою плоского прямокутного листа пінополістиролу і отримання мінімальної кількості елементів у сортаменті для виготовлення вкладишів трикутної форми. Розроблено технологічні рішення зведення полегшених залізобетонних конструкцій із застосуванням самоущільнюючих

бетонів, варіанти фіксації арматурного каркасу разом із вкладишами та відповідні блок-схеми технологічного циклу улаштування перекриття. Виконано експериментальне обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вкладишів-порожниноутворювачів. Підтверджено, що ваги арматурного каркасу достатньо для утримання вкладишів від спливання при заповненні нижньої обшивки перекриття бетонною сумішшю. Наведено результати впровадження у будівельне виробництво при зведенні та реконструкції будівель та споруд різного призначення в межах виконання договорів на розробку конструктивних та організаційно-технологічних рішень та науково-технічний супровід.

Ключові слова: полегшені залізобетонні конструкції, вкладиш-порожниноутворювач, самоущільнюючий бетон, торкретбетон, фібра, технологічні параметри, незнімна опалубка.

АННОТАЦИЯ

Бугаевский С.А. Теоретико-методологические основы формирования организационно-технологических решений возведения облегченных железобетонных конструкций. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.08 – «Технология и организация промышленного и гражданского строительства» (19 – Архитектура и строительство). – Харьковский национальный университет городского хозяйства им. В.А. Бекетова, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков, 2021.

Сформулированы и обоснованны научные предложения с теоретического обобщения и новых решений научно-прикладной проблемы создания теоретико-методологических основ формирования конструктивно-технологических решений возведения облегченных железобетонных конструкций. Научная проблема создания методологических основ обеспечения эффективности возведения таких конструкций решается через рационализацию параметров возведения горизонтальных и вертикальных облегченных конструкций с использованием самоуплотняющегося бетона и не извлекаемых вкладышей-пустотообразователей, а для криволинейных конструкций - внутренней несъемной опалубки, в составе самонесущего остова из арматурного каркаса и способа мокрого торкретирования. Сформирован принципы обоснования для применения не извлекаемых вкладышей-пустотообразователей, заключающиеся в: уменьшении веса конструкции путем удаления из нее материала, который не участвует в работе, без уменьшения прочностных характеристик; создании пролетов большого размера; уменьшении общей нагрузки на фундамент; уменьшении потребности в бетонной смеси и арматуре для возведения конструкций и уменьшении трудоемкости их устройства. Рассмотрены основные варианты изменения положения вкладыша: вертикальное смещение за счет нарушения толщины верхнего слоя обшивки или недобетування нижней обшивки и поворот за счет

неравномерного вертикального перемещения вкладыша при одностадийном бетонировании. В результате после расчетов в программных комплексах ЛИРА и ANSYS установлено, что при бетонировании плит перекрытия особенно влияет на напряженно-деформированное состояние положение вкладыша по высоте для обеспечения принятой толщины обшивок плиты перекрытия. Выполнена оптимизация конструктивно-технологических решений бетонирования облегченных конструкций методом мокрого торкретирования с использованием вкладышей с экструдированного и безпресованого пенополистирола. Выполнена оптимизация параметров раскроя вкладышей для устройства несъемной опалубки. Решена задача создания технологии изготовления вкладышей с пенополистирола для строительства облегченных железобетонных оболочек (сфера, цилиндр, гипару, нодоид), при этом обеспечена уменьшения отхода после раскроя плоского прямоугольного листа пенополистирола и получения минимального количества элементов в сортаменте для изготовления вкладышей треугольной формы. Разработаны технологические решения возведения облегченных железобетонных конструкций с применением самоуплотняющегося бетона, варианты фиксации арматурного каркаса вместе с вкладышами и соответствующие блок-схемы технологического цикла устройства перекрытия. Выполнено экспериментальное обоснование конструктивно-технологических параметров вкладышей-пустотообразователей. Подтверждено, что вес арматурного каркаса достаточен для удержания вкладышей от всплытия при заполнении нижней обшивки перекрытия бетонной смесью. Приведены результаты внедрения в строительное производство при возведении и реконструкции зданий и сооружений различного назначения в рамках выполнения договоров на разработку конструктивных и организационно-технологических решений и научно-техническое сопровождение.

Ключевые слова: облегченные железобетонные конструкции, вкладыш-пустотообразователь, самоуплотняющийся бетон, торкретбетон, фибра, технологические параметры, несъемная опалубка.

ABSTRACT

Bugaevsky S. O. Theoretical and methodological bases of formation of organizational and technological decisions of erection of the facilitated reinforced concrete designs. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences on a specialty 05.23.08 – «Technology and the organization of industrial and civil construction» (19 – Architecture and construction). – Kharkiv National University of Municipal Economy V.O. Beketov, Kharkiv National University of Architecture and Civil Engineering, Kharkiv, 2021.

Formulated and substantiated scientific proposals for theoretical generalization and new solutions to the scientific and applied problem of creating theoretical and methodological foundations for the formation of structural and technological solutions for the construction of lightweight reinforced concrete structures. The

scientific problem of creating methodological bases to ensure the efficiency of erection of such structures is solved by streamlining the parameters of erection of horizontal and vertical lightweight structures using self-sealing concrete and inserts-cavity-forming, not removable, and for curved structures - internal fixed formwork, self-supporting frame method of wet shotcreting. The principles of substantiation for the use of non-removable cavity-forming inserts are formed, which consist in: reducing the weight of the structure by removing from it a material that does not participate in the work, without reducing the strength characteristics; creating larger spans; reducing the total load on the foundation; reducing the need for concrete mix and reinforcement for erection of structures and reducing the complexity of their installation. It is established that forecasting of constructive-technological parameters of erection of the facilitated reinforced concrete designs is effective taking into account aspects of laying of self-compacting concretes: parameters of formation of a continuous layer of concrete under an insert; fixing of an insert from expanded polystyrene, its maintenance from destruction; possibility of floating of an insert together with a reinforcing framework; changes in the position of the liner due to violations of the geometry of the placement or fixing to work of the entire structure under load. Methods for solving certain experimental problems for testing concrete mixtures have been developed: using a V-shaped funnel, an L-shaped box, resistance to delamination, destruction and surfacing of the liner. A topology of methods for controlling the strength of reinforced concrete structures, methods for controlling the strength of concrete and rigidity of reinforced concrete structures has been created. An algorithm for selecting the composition of self-compacting concrete mixtures was created, according to which a number of experimental studies were conducted. It is proposed to improve the method of two-stage introduction of additives by introducing only a superplasticizer additive to preserve the properties of the mixture without the use of additional additives of retarders and accelerators. It is established that the elements of the proposed system "Monofant" have a significantly lower weight (concrete savings of 30-45%). The presence of internal stiffeners in two-dimensional elements is the most justified, due to the fact that it does not require the joints of structures that have a pronounced different nature of the stress-strain state. It is established that the smooth transition from one-dimensional stress element to two-dimensional or three-dimensional is realized through the capital. The increase in the structural height of the sections (with a slight increase in the cost of concrete, dictated solely by the increase in the height of the ribs) allows significant savings in reinforcement, which is observed especially at large runs. The main options for changing the position of the liner are considered: vertical displacement due to violation of the thickness of the upper layer of the cladding or underfilling of the lower cladding and rotation due to uneven vertical movement of the liner during one-stage concreting. As a result, after calculations in the software complexes LIRA and ANSYS, it was found that when concreting the floor slabs especially affects the stress-strain state of the position of the liner in height to ensure the accepted thickness of the floor slabs. The optimization of constructive-technological solutions of concreting of lightweight structures by the method of wet shotcreting with the use of inserts made of extruded and unpressed polystyrene is performed. The finite element

modeling of reinforced concrete columns was performed using the ANSYS program taking into account the physical nonlinearity of materials to determine the destructive load and compare it with the experimental loads. The analysis on indicators of distribution of volume deformations is carried out; the magnitude of the main tensile stresses; assessment of the limit state by the Mises criterion; distribution of vertical deformations; estimation of linear horizontal displacements. Analysis of the calculation results and comparing them with experimental data confirmed the adequacy of the proposed model. The optimization of the parameters of cutting inserts for the installation of fixed formwork has been performed. It is established that a hemispherical shell can be created using the developed system «Monofant» with different design options of the spatial curved reinforcing frame: with a left-diagonal distribution of the lattice; with bilateral diagonal lattice distribution; spherical segments with a parallel lattice distribution; spherical stripes with a hexagonal lattice distribution. The problem of creating the technology of making polystyrene inserts for the construction of lightweight reinforced concrete shells (sphere, cylinder, hypar, nodoid) is solved, while reducing the waste after cutting a flat rectangular sheet of polystyrene and obtaining the minimum number of elements in the assortment for making three inserts. Technological solutions for the construction of lightweight reinforced concrete structures with the use of self-sealing concrete, options for fixing the reinforcing frame together with inserts and the corresponding block diagrams of the technological cycle of the floor. The experimental substantiation of constructive-technological parameters of inserts-cavity-formers is executed. It is confirmed that the weight of the reinforcing frame is sufficient to keep the liners from popping when filling the lower cladding of the floor with a concrete mixture. The results of introduction into construction production at construction and reconstruction of buildings and constructions of various function within performance of contracts for development of constructive and organizational-technological decisions and scientific and technical support are resulted. Practical implementation proves that one of the possible applications of lightweight reinforced concrete structures is their use for the construction of reinforced concrete slabs of reinforced concrete bridges and for the construction of prefabricated monolithic reinforced concrete frames of buildings. Execution of the prefabricated-monolithic floor facilitated due to the offered designs of plates and inserts which were not taken out allowed to reduce the resulted thickness of concrete in 1,5–1,6 times, to reduce expenses of armature by 20–25%, to reduce loading on columns, providing increase of reliability design and reduction of material consumption of both the frame and its components. Construction time is reduced to 30%, the cost of the frame and the building as a whole is reduced to 15%. Variants of self-supporting frame layout have been developed.

Keywords: lightweight reinforced concrete structures, cavity liner, self-sealing concrete, shotcrete, fiber, technological parameters, fixed formwork.