

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О.М. БЕКЕТОВА

**ПРОГРЕСИВНІ БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКТИВНІ СИСТЕМИ ТА
ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ЗВЕДЕННЯ**

РЕФЕРАТ

роботи на здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки 2020 р.

1. **БАБАЄВ Володимир Миколайович** - доктор наук з державного управління, професор, ректор Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова.

2. **ЄВЕЛЬ Сергій Михайлович** – кандидат технічних наук, голова правління ТОВ «Стальконструкція ЛТД».

3. **ЄВЗЕРОВ Ісаак Данилович** - доктор технічних наук, старший науковий співробітник, директор, науковий керівник проекту «Програмний комплекс ЛІРА 10» ТОВ «ВЕГА КАД» Група компаній «ЛІРА».

4. **ЛАНТУХ-ЛЯЩЕНКО Альберт Іванович** - доктор технічних наук, професор.

5. **СУХОНОС Марія Костянтинівна** - доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова.

6. **ШЕВЕТОВСЬКИЙ Валентин Валентинович** – директор ТОВ «Керамічна група «Голден Тайл».

7. **ШИМАНОВСЬКИЙ Олександр Віталійович** - член-кореспондент Національної академії наук України, доктор технічних наук, професор, генеральний директор ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського».

8. **ШМУКЛЕР Валерій Самуїлович** - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова.

Актуальність роботи.

Будівельна галузь є одним з найважливіших секторів економіки держави, від якого залежить ефективність функціонування всієї системи господарювання країни - капітальне будівництво створює велику кількість робочих місць та використовує продукцію багатьох галузей.

Будівельна галузь України з 2016 року демонструє позитивну динаміку за всіма видами будівельної продукції. Так, згідно офіційним даним Держстату України, загальні обсяги виконаних будівельних робіт у 2019 році становили 131,5 млрд грн., індекс будівельної продукції склав 121,3%, у тому числі: інженерні споруди – 125,5%, будівлі – 116,8%, що перевищує показники попередніх періодів.

Також, за період дії реформи з децентралізації у 41,5 раза зросла державна підтримка на розвиток територіальних громад та розбудову їх інфраструктури. Із загального об'єму державної фінансової підтримки територіального розвитку, який у 2019 р. становив 19187,3 млн. грн., 2100,0 млн. грн. – це субвенція, яка спрямовується на нове будівництво, реконструкцію, капітальний ремонт об'єктів інфраструктури та 93,9 млн. грн. – впровадження заходів розвитку муніципальної інфраструктури та відновлення сходу України.

Інтенсифікація будівельної галузі зумовлена, насамперед, стрімким розвитком будівельно-технологічних систем і впровадженням ефективних інноваційних технологій при новому будівництві та реконструкції будівель і споруд.

Впровадження нових прогресивних конструктивних систем особливо актуально в даний час, через наступні обставини:

- необхідності використання кращих земель під дендрологічні і сільськогосподарські потреби, у зв'язку з чим, потрібно забезпечення переходу до методів, засобів і технологій зведення споруд на незручних, складних, в геодезичному і геологічному плані, умовах;
- якісних та кількісних флуктуацій клімату (сейсміка, повені, смерчі, торнадо, цунамі та ін.);
- наявності проблем, зумовлених вимогами формування екологічно позитивного середовища проживання.

Також, на відміну від попередніх етапів будівельної промисловості, де комплектація новобудов базувалася на типових конструкціях та виробках, номенклатура яких була одноманітною, а технології застосування – обмеженими, сучасна концепція індустріального будівництва орієнтована на замовника й передбачає індивідуальний підхід до проектних рішень кожного будівельного об'єкту окремо. Одночасно з цим гармонізація будівельних норм України із стандартами та директивами Європейського Союзу передбачає створення нових гнучких концептуальних підходів до реалізації процесу будівництва. Все це потребує впровадження нетипових прогресивних конструктивних систем та технологій їх зведення, які відповідатимуть світовим вимогам до енергоефективності, екологічності й безпеки та є економічно ефективними.

Метою представленої роботи є розробка науково-технічних основ проектування, створення та впровадження вискоефективних й надійних прогресивних будівельних конструктивних систем і технологій їх зведення, які перевершують державні та зарубіжні аналоги за еколого-енергетичними і техніко-економічними показниками, і котрі вдало реалізовані при проектуванні, зведенні, реконструкції будівель і споруд різного типу.

Для досягнення сформульованої мети науковцями і фахівцями Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, Українського інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського, Національного транспортного університету, ТОВ «Стальконструкція» та ТОВ «ЛІРА СОФТ» на основі теоретичних досліджень і експериментів визначено комплексний підхід створення систем, виконаних із залізобетону, сталезалізобетону, металу, в основі якого лежать нові енергетичні принципи, що фундують топологічну раціоналізацію конструктиву, й, основана на їх базі, логіко-обчислювальна процедура прямого формування параметрів будівель, реалізована у програмному комплексі LIRA 10.n.

Результатом використання розробленого науково-розрахункового методу раціонального проектування є створення конструктивних систем із заданими витратами матеріалу і максимальною несучою здатністю та заданим ресурсом при мінімальних витратах матеріалу. При цьому вперше у зазначеній ідеології забезпечена можливість оцінки залишкового ресурсу конструкції з урахуванням закономірностей її деградації на всьому діапазоні життєвого циклу будівельних систем.

Найбільш важливі й актуальні наукові та науково-технічні задачі, які були розв'язані при виконанні роботи:

1. Формулювання, дослідження і відбір критеріїв раціонального проектування конструкцій, що фундовані новими енергетичними принципами.
2. Побудова, в логічно завершеному вигляді, технології прямого проектування конструкцій.
3. Розробка методології оцінки надійності конструкцій, із встановленням їх гарантованого ресурсу і терміну життєвого циклу.
4. Створення, на основі побудованої теорії, нових патентно-чистих конструктивних систем із залізобетону, сталезалізобетону, металу.
5. Розробка технології виготовлення і зведення будівель і споруд з елементів позначених систем.
6. Створення нових експериментальних методів випробувань, які зумовлюють, в тому числі, верифікацію реалізованих рішень.

Короткий зміст роботи.

Представлена робота присвячена створенню теорії і практики формування (проектування) і зведення прогресивних будівельних конструктивних систем, що володіють позитивними властивостями, обґрунтованими новою ідеологією.

Сформований підхід і наведений комплекс теоретико-експериментальних досліджень склав базу для розробки, проектування і впровадження в практику будівництва нових конструктивних систем і технологій їх виробництва. Принципово відмінними властивостями цих систем є їх біонічний характер й фрактальна суть. Запропоновані методи і методики раціоналізації застосовувались на усіх рівнях тріади «матеріал - конструкція - технологія».

Основні науково-технічні результати, отримані в ході вирішення зазначених завдань наступні:

1. Створено комплексний підхід раціонального проектування будівельних механічних систем, в рамках якого замість вирішення окремих ексклюзивних завдань оптимізації, формується логічна одноманітна послідовність побудови 3D-образу конструктиву, що володіє наперед заданими позитивною властивістю -

ізоенергетичністю, тобто ітераційно досягається стан системи, при якому у всіх її елементах щільність потенційної енергії зберігає постійне нормоване значення;

2. На базі розробленого комплексного підходу побудовано пакет прямих методів проектування конструктивних систем, які задовольняють сформованим і обґрунтованим критеріям ефективності, а також традиційним і тим, що вводиться вперше, обмеженням. Введення обмежень нового типу продиктовано необхідністю врахування аномалій, властивих здебільшого сучасним територіям, що відводяться під будівництво: складні інженерно-геологічні та інженерно-гідрологічні умови, сейсмічна відповідальність, перелogi та ін. Крім того, критерії та обмеження завдань у зазначеній постановці, на відміну від відомих, задовольняють законам екології Б. Коммонера, тобто відповідають принципам біонічності.

3. Для верифікації теоретично сформованих раціональних ефективних конструктивних рішень створені нові методи натурних випробувань конструктивних систем на силові і температурні впливи, які є базисом для розбудови високоточних розрахункових моделей, необхідних при проектуванні, і є менш трудомісткими та більш економічними.

4. Розроблено нові системи та технології зведення полегшених залізобетонних, сталезалізобетонних конструкцій із вкладишами-пустоутворювачами, що не виймаються, яким притаманні високі будівельно-експлуатаційні якості – міцність, довговічність, вогнестійкість, покращені звуко- та теплоізоляційні властивості, жорсткість, широкі комбінаторно-композиційні можливості, легкість та економічність. Які призначені для будівництва житлових, громадських, промислових будівель, інженерних споруд, великопрогонних перекриттів та пішохідних мостів, а також збірних сталезалізобетонних каркасів із різним кроком колон.

Основні характеристики розроблених систем й показники ефективності їх застосування наступні:

- екологічна позитивність - можливість мінімізації ваги споруди на 20÷45%;
- розподілення ресурсу між власною вагою та корисним навантаженням 40%х60% (традиційні системи 50%х50%);
- практично необмежена комбінаторика, аналогічна біонічним об'єктам;
- економія бетону до 20÷40%; економія сталі до 10÷25%;
- тепло- і звукоізоляційні властивості - теоретичний опір конструктиву вище в 3÷4 рази ніж відомі;
- заводська готовність для систем із сталезалізобетону та металу - вище 12÷15%;
- трудомісткість виготовлення та зведення - на рівні найкращих світових аналогів;
- для розроблених систем апріорі встановлюються ресурс і строк життєвого циклу, що ніколи не виконувалося для існуючих традиційних конструктивів;
- при проектуванні конструкцій параметри міцності та жорсткості формуються не перевірочним зворотнім, а прямим розрахунковим шляхом, що забезпечує мінімальні витрати матеріалів при заданій надійності;
- залізобетонні і сталезалізобетонні конструкції не потребують допоміжних пристроїв й обладнання при зведенні, виконуються без застосування опалубки;
- енергоефективність - економія енергоресурсів до 20%;
- економічна доцільність - сумарна економія не нижче 20% на 1м² площі.

5. Розроблено каталоги виробів для архітектурно-будівельних систем «РАМПА» й «ІКАР», що виконуються зі збірного залізобетону. Каталоги мають

кінцевий набір елементів, але породжують нескінченно велику варіантність їх об'єднання в просторові композиції.

6. Розроблено конструктив формування остови сейсмостійких цегляних будинків підвищеної поверховості, що знайшли відображення у будівельній системі «ДОБОЛ», яка впроваджена у практику проектування і будівництва.

7. Вперше розроблено метод проектування і зведення системи із полегшеного залізобетону «МОНОФАНТ», внутрішня топологія елементів якої, формується за принципом рівномірного розподілу щільності потенційної енергії деформацій. Її характерними перевагами є: створення конструкцій з довільною геометрією, практично необмежена комбінаторика об'ємно-композиційних рішень, вільне внутрішнє планування, використання заданої витрати матеріалів, висока несуча здатність елементів та їх обмежена реформованість, невелика власна вага, ефективна економічна технологія зведення, тощо.

8. Вперше отримано теоретичний базис, який складає новітню концепцію управління ресурсом елементів будівельних конструкцій на всіх етапах життєвого циклу, в рамках якого розроблено моделі прогнозу життєвого циклу залізобетонних елементів і споруди в цілому, що дає можливість прогнозувати їх ресурс за проектними параметрами та параметрами впливу довкілля при експлуатації споруди та новітні моделі оцінювання залишкового ресурсу, що дають змогу оптимізувати видатки на ремонт і реконструкцію об'єктів будівництва, підвищити їх надійність, безпеку експлуатації та довговічність.

9. Вдосконалено технологію бетонування горизонтальних та вертикальних залізобетонних полегшених конструкцій з використанням самоущільнюючого бетону та технологію бетонування залізобетонних полегшених конструкцій, призначену для ефективного зведення будівель і споруд криволінійної форми шляхом набризку мокрим способом торкрет-бетону на самонесучий остов без застосування знімної опалубки.

10. Розроблено «Практичний розрахунок елементів залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6-98:2009 у порівнянні з розрахунками за СНиП 2.03.01-84* і EN 1992-1-1 (Eurocode 2)», що отримав широке практичне впровадження та був позитивно оцінений міжнародними експертами на різних наукових заходах.

11. Науково-практичні засади роботи було покладено в основу ряду нормативно-правових актів України: ДБН В.2.6-98~2009. Бетонні та залізобетонні. Конструкції будівель та споруд. 2011р.; ДСТУ-Н Б.В.2.6-205:2015. Настанова з проектування монолітних бетонних і залізобетонних конструкцій будівель та споруд, 2015р.; ДСТУ Б В.2.6-199:2014. Конструкції сталеві будівельні. Вимоги до виготовлення. 2015 р.; ДСТУ Б В.2.6-200:2014. Конструкції сталеві будівельні. Вимоги до монтажу. 2015 р.; ДСТУ-Н Б EN 1991-1-6:2012. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-6. Загальні дії. Дії під час зведення. (EN 1991-1-6:2005. IDT). 2016 р.; та ін.

Розроблені і впроваджені прогресивні конструктивні системи (РАМПА, ІКАР, ДОБОЛ, МОНОФАНТ та ін.), в сукупності із методами їх формування, відповідають сучасному набору вимог, оскільки володіють:

- високим ресурсом міцності й жорсткості, в силу їх просторової структури;
- ефективним поєднанням в елементах систем різних матеріалів;
- незначною (по відношенню до відомих систем) власною вагою;
- складними внутрішньою і зовнішньою геометрією (рис. 1);
- конкурентоспроможними техніко-економічними показниками.



Рисунок 1 - Системи із складною зовнішньою й внутрішньою геометрією

Позитивні властивості нових збірних і монолітних полегшених залізобетонних, сталезалізобетонних конструкцій зумовлені:

1. Формуванням порожнистої, заповненої недорогим легким матеріалом, структури (рис. 2), яка має нерегулярну, довільну топологію, що забезпечує незмінність щільності потенційної енергії деформації.

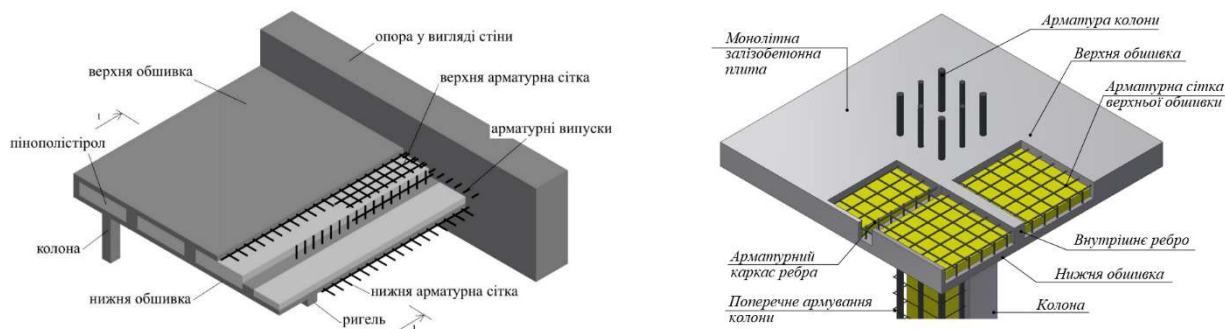


Рисунок 2 - Структура систем збірних і монолітних залізобетонних конструкцій

2. Малобюджетною технологією формування внутрішньої геометрії за рахунок надання вкладишам з пінополістиролу наперед визначеної розрахункової форми, в результаті формується довільна сітка ребр і капітелей, що забезпечує мінімальні витрати матеріалу.

3. Априорного встановлення ресурсу і строків життєвого циклу, що ніколи не виконувалося для існуючих традиційних конструктивів.

4. Експлуатацією самоущільненого бетону, регламент складу якого відрізняється тим, що зумовлює високе його розтікання до 75 см в щілину 5 см. Бетонна оболонка створюється за вдосконаленою технологією шляхом набризку мокрим способом торкретування на самонесучій остов без застосування знімної опалубки.

5. Зведенням залізобетонних і сталезалізобетонних конструкцій без застосування опалубки, допоміжних пристроїв й обладнання, а за рахунок розроблених процедур формування арматурних елементів і вкладишів-пустоутворювачів. Бетонна оболонка створюється методом торкретування (торкрет-сорочка).

6. Створенням спеціальних систем зсувних зв'язків для сталезалізобетонних елементів, які об'єднують ефективну залізобетонну з вкладишами плиту і металеві перфоровані полегшені балки, вироблені за безвідходною технологією (рис. 3). Дані системи орієнтовані на сприйняття високого рівня статичних і динамічних навантажень. Критерієм їх формування виступає мінімум потенційної енергії деформацій, що дозволяє створювати системи з мінімальною витратою матеріалів при заданих характеристиках жорсткості, або максимізувати статичну і динамічну жорсткість при заданій витраті матеріалів.

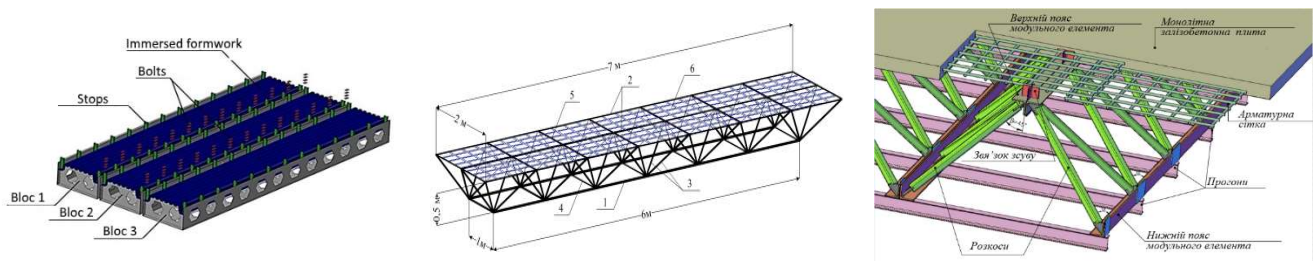


Рисунок 3 - Системи зварних зв'язків для сталезалізобетонних елементів

7. Розробкою просторових металевих конструкцій покриттів і перекриттів, що відрізняються малою витратою матеріалів, високим ступенем заводської готовності, укрупненим простим складанням (елементи-кондуктори для власної збірки), відсутністю складних вузлових з'єднань (з'єднання на болтах), архітектурно-конструкційною естетикою. В основі створення цих конструкцій також лежить презентований в роботі підхід, обчислювальний аспект якого відображений у вигляді компілятора «метод кінцевих елементів - метод адаптивної еволюції».

8. Представленою теорією розрахунку і проектування висячих складних систем, при цьому, для особливих умов (топологічно складні покриття, переходи через ущелини, водні перешкоди та інші перешкоди). Структура висячих систем формується як ефективна система, відмінною рисою якої є мінімальна витрата матеріалу для апріорі призначеного геометричного образу і характеристик жорсткості.

Архітектурно-будівельні системи «РАМПА» (аббревіатура - рама-панель), **«ІКАР»** (аббревіатура - індустріальний каркас) та **«ДОБОЛ»** (аббревіатура - дім-оболонка) виконуються зі збірного залізобетону (рис. 4). Каталоги систем мають кінцевий набір елементів, однак породжують нескінченно велику варіантність їх об'єднання в просторові композиції.

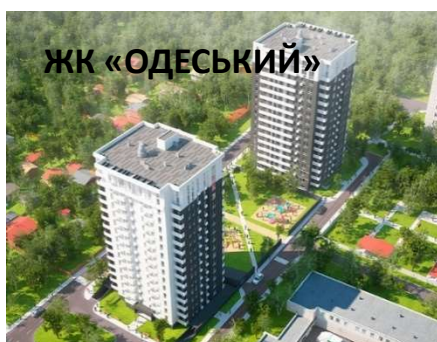


Рисунок 4 – Об'єкти побудовані за технологіями «РАМПА», «ІКАР», «ДОБОЛ»

Архітектурно-будівельна система «МОНОФАНТ» (аббревіатура: монолітна фантазія) є затребуваною під час будівництва нових або реконструкції наявних будівель будь-якого призначення, у тому числі різних інженерних споруд (резервуари, силоси, підпірні стіни та ін.) (рис. 5). В рамках цієї розробки вирішено

складне завдання - мінімізації ваги конструкцій, що було досягнуто за рахунок розміщення при бетонуванні всередині елементів (оболонки, плити, колони, балки, тощо) вкладишів-пустотоутворювачів, що не виймаються, з дешевого та легкого матеріалу.

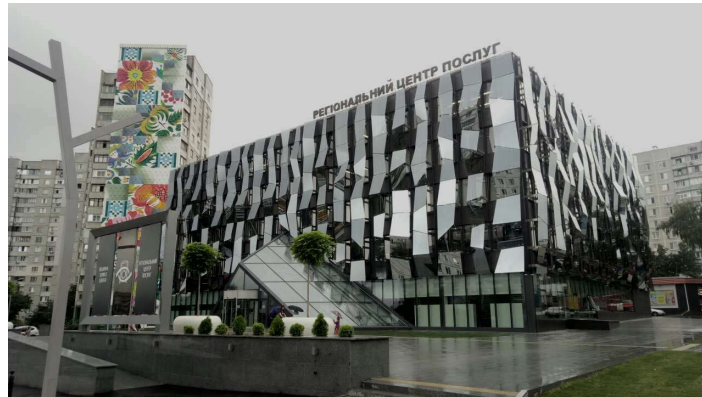


Рисунок 5 - Реконструкція нежитлової будівлі під Регіональний центр надання адміністративних послуг із застосуванням системи МОНОФАНТ»

Полегшені сталезалізобетонні та сталіні просторові конструкції використовуються для будівництва великих прогонів таких як автодорожні, пішохідні мости, перекриття цивільних будинків, покриття спеціальних споруд (рис. 6).

Полегшені *структурні* сталезалізобетонні конструкції перекриття являють собою просторову пластинчато-стержневу систему (структуру), що виконується з двох матеріалів: залізобетону і сталі. Відмінністю структури є факт виконання її з плоских елементів розміром «на прогін», що істотно спрощує конструкцію вузлів і укрупнювальний монтаж, мінімізуючи, при цьому, швидкість і трудомісткість спорудження. Конструктивною особливістю залізобетонної плити є зовнішнє армування із профільованого сталюого листа, який одночасно є незнімною опалубкою.



Рисунок 6 - Полегшені сталезалізобетонні та сталіні просторові конструкції

Полегшені *перфоровані* сталезалізобетонні та сталіні конструкції призначені для автодорожніх та міських мостів балкового, вантового та підвісного типу. Її відмітними властивостями є: менші (у порівнянні із аналогами) витрати сталі; високий ступінь заводської готовності, що дозволяє всі операції при будівництві звести до мінімуму; крупноблочне транспортування і монтаж; просторова робота системи, яка зумовлює її високу надійність; архітектурно-художня виразність.

Збірні сталезалізобетонні та сталіні конструкції передбачають формування каркасу із металевих елементів, а перекриття - із збірних залізобетонних попередньо напружених плит з довільним прольотом ($L \leq 20,0$ м) і можливістю надання опорним

сторонам плит кута (між опорною короткою і поздовжньою віссю) відмінного від $\frac{\pi}{2}$. Особливістю каркасів є можливість зведення в будь-який час року зі значною швидкістю, несумірною зі швидкостями монолітного та інших видів будівництва.

Висячі системи підвищеної жорсткості призначені для покриття промислових будівель і споруд (заводів зі збірки літаків, ангарів для їх утримання та обслуговування, універсальних цехів з випуску великогабаритної продукції, суднобудівних елінгів, складів, гаражів та ін.); спортивних споруд (стадіонів, критих арен і плавальних басейнів); цивільних будівель (цирків, кіноконцертних залів, вокзалів і ринків, різного роду торгових павільйонів та ін.), а також різноманітних інженерних споруд (мостів, трубопровідних переходів, антено-щоголових систем, канатних доріг, кабель-кранів, ліній зв'язку і електропередачі) (рис. 7).



Рисунок 7 - Висячі системи підвищеної жорсткості

Висячі системи малочутливі до різного роду специфічних зовнішніх впливів, в тому числі від сейсмічних навантажень, осадів і нерівномірного зсуву опор завдяки:

- для висячих переходів - розташуванню підтримуючих канатів під кутом як до вертикальної, так і горизонтальної площин, що дозволяє включити їх в роботу на горизонтальні (вітрові) навантаження;

- для висячих покриттів - наявності зовнішнього і внутрішнього опорних контурів, сторони яких взаємно паралельні. Зовнішній опорний контур спирається на кутові колони, які виконуються вище рівня покриття. У кутах внутрішніх опорних контурів встановлюються пілони, верхівки яких з'єднані між собою вздовж діагоналі висячого покриття і прикріплені до верхівок відповідних кутових колон зв'язками.

Обсяг впровадження роботи та досягнутий ефект.

Ефективність нових прогресивних конструктивних систем та технологій їх зведення було підтверджено їх реалізацією при проектуванні та зведенні будівель і споруд, в тому числі і унікальних, як в Україні, так і за її межами. До них слід віднести:

- *Архітектурно-будівельні системи «РАМПА», «ІКАР» та «ДОБОЛ»:* житлові будинки загальною площею понад 50 тис. м², адміністративні будинки загальною площею понад 90 тис. м², зокрема: реконструкція стадіону «Металіст», будівлі ННЦ ХФТІ ЯПУ "Джерело нейтронів" м. Харків";

- *Система «МОНОФАНТ»:* реконструкція будівель, у тому числі пам'яток архітектури, загальною площею понад 70 тис. м²; побудова нових об'єктів – 30 тис. м². Зокрема, реконструкція нежитлової будівлі під Регіональний центр надання адміністративних послуг, проєкт якої отримав Головний приз, звання «Європейська

нагорода-2018» у категорії «громадські будівлі» у наймасштабнішому будівельному конкурсі в Європі European Award-2018, спеціальну нагороду Національної спілки архітекторів, приз від Польсько-Української торговельної палати;

- *Полегшені сталезалізобетонні та сталі просторові конструкції:* реконструкція та побудова нових об'єктів загальною площею понад 250 тис. м², зокрема: ЗАТ "Донецьксталь-металургійний завод", ПрАТ «Харківський плитковий завод», вежа антени метеорологічного радіолокатору національного комітету гідрометеорології Туркменістану, та ін.;

- *Висячі системи підвищеної жорсткості:* реконструкція та побудова нових об'єктів загальною площею понад 250 тис. м², в тому числі: трубопровідний перехід нафтопроводу через р. Амудар'ю; висяче комбіноване покриття універсального спортивно-видовищного залу в м. Алмати; трубопровідний перехід через р. Ангару; реконструкція Національного спортивного комплексу «Олімпійський», м. Київ; резервуари для зберігання нафти загальним об'ємом 115600 м³.

Сумарний економічний ефект від впровадження прогресивних будівельних конструктивних систем для реконструкції та нового будівництва становить понад **3372960 тис. грн.**

Кількість публікацій за роботою: 360, в т.ч. 15 монографій (2 - видані за кордоном), 15 підручників (посібників), 270 статей (21 – у англійських журналах з імпаکت-фактором). Загальна кількість посилань на публікації авторів/ h-індекс роботи, згідно баз даних складає відповідно: Web of Science – 10/2, Scopus– 16/2, Google Scholar – 1250/13 . Отримано 30 патентів України на винахід. За даною тематикою захищено 4 докторські та 18 кандидатських дисертацій.

БАБАЄВ В.М.

ЄВЕЛЬ С.М.

ЛАНТУХ-ЛЯЩЕНКО А.М.

ЄВЗЕРОВ І.Д.





СУХОНОС М.К.

ШЕВЕТОВСЬКИЙ В.В.

ШИМАНОВСЬКИЙ О.В.

ШМУКЛЕР В.С.

