

ПРОГРЕСИВНІ БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКТИВНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ЗВЕДЕННЯ

НА ЗДОБУТТЯ ДЕРЖАВНОЇ ПРЕМІЇ У ГАЛУЗІ НАУКИ І ТЕХНІКИ



В.М. Бабасєв
ректор Харківського національного
університету міського господарства
імені О.М. Бекетова,
доктор наук з державного управління,
професор



М.К. Сухонос
проректор Харківського національного
університету міського господарства
імені О.М. Бекетова,
д.т.н., професор



С.М. Євель
голова правління ТОВ
«Стальконструкція ЛТД»,
к.т.н.



В.В. Шеветовський
директор ТОВ «Керамічна група
«Голден Тайл», PhD



І.Д. Євзеров
директор, науковий керівник проекту
«Програмний комплекс ЛІРА 10»
ТОВ «ВЕГА КАД»
Група компаній «ЛІРА»,
д.т.н.



О.В. Шимановський
генеральний директор
ТОВ «Український інститут
сталевих конструкцій
імені В.М. Шимановського»,
член-кореспондент НАН України,
д.т.н., професор



А.І. Лантух-Лященко
професор Харківського національного
університету міського господарства
імені О.М. Бекетова,
д.т.н., професор



В.С. Шуклер
завідувач кафедри Харківського
національного університету міського
господарства імені О.М. Бекетова,
д.т.н., професор

Метою роботи «Прогресивні будівельні конструктивні системи та технології їх зведення» – є розроблення науково-технічних основ створення і впровадження високоефективних прогресивних будівельних систем і технологій їх виробництва, що, перш за все, обумовлено необхідністю мінімізації негативних еколого-кліматичних та енергетичних наслідків агломераційного й індустріального розвитку суспільства. Такі позиції ще у 2010 році були підтримані на Міжнародному конгресі у

Вашингтоні «Think Globally, Build Locally» та повною мірою корелюються із Глобальними цілями Сталого розвитку Резолюції Генеральної Асамблеї ООН «Перетворення нашого світу: Порядок денний в області сталого розвитку на період до 2030 року».

Робота сформована і реалізована згідно з триадою: «наукові принципи – раціональні конструктивні системи – ефективні технології» і базується на головних аспектах стійкого розвитку – економічному, соціальному й екологічному.

Слід зазначити, що в основі розроблення технології проектування лежить принципово нова концепція, структурне формування якої почало інтенсивно розвиватися з 2007 року і отримало назву «Топологічна оптимізація». Її відображення також представлено за кордоном SIMP та BESO-методами, що фундують нові блоки всесвітньо відомих програмних комплексів ANSYS і ABAQUS. Але пропонуваній в даній роботі ВЕО-метод є ексклюзивною модифікацією позначеного підходу, який має ряд принципових відмінностей, до яких можна віднести наступні:

- створення образу конструкції виконується на базі розгляду формування об'єкта як відкритої системи, що знаходиться в нерівноважних умовах. Як приклади тут можна привести розроблені авторами даної роботи ще у 90-ті роки минулого сторіччя патенточисті конструкції мостів порталних і внутрішньоцехових функціонуючих кранів вантажопідйомністю від 400 до 800 тон, які мають відкритий поперечний переріз;
- з метою збереження та експлуатації загальноприйнятої модульної системи і традиційних вузлів зчленування елементів реалізована можливість відтворення зовнішньої геометрії в початковому вигляді об'єкта та побудування складної внутрішньої. Ця процедура передбачає наступне:
 - для залізобетонних і сталезалізобетонних конструктивів формування покрововим шляхом ступінчастої внутрішньої структури у вигляді конструктивно анізотропного середовища з подальшим формуванням відповідної внутрішньої порожнини, що є подібним структурі об'єктів живої природи;
 - для металевої частини сталезалізобетонних елементів і металевих елементів – створення просторових структур або перфорованих оболонок із жорсткостями, які змінюються за заданим законом. Процедурно-обчислювальна реалізація методу міститься в програмному комплексі «Ліра 10.n»;
- реалізована відмова від пошуку локальних екстремальних значень критеріїв для функцій, які відносяться до класу C^1 . На заміну розроблено метод знаходження глобального екстремуму функцій від багатьох змінних, що відносяться до класу L^p . Ця обставина зумовлює мінімізацію помилок при обчисленнях. Окрім

позначеного, даний підхід є також основою вперше розробленої логічно прозорої методології оцінки при проектуванні нових об'єктів та об'єктів, що підлягають реконструкції, можливості настання віртуального прогресуючого обвалення. Дана обставина є принципово необхідною при доповненні нормативної бази для проектування будівель та споруд, які відносяться до класу наслідків ССЗ. Слід зазначити, що як критерій при встановленні моменту руйнування будівлі чи споруди (перехід від порядку до хаосу) використовується факт досягнення значенням енергії деформацій точної верхньої грані, пошук якого і здійснено запропонованим методом;

- формування образу конструкції здійснено в умовах багатокритеріальності задачі, розробленим методом у вигляді побудови критеріокомпромісу. Отримані за цим методом рішення істотно відрізняються від рішень, знайдених в умовах однокритеріальності;
- з метою оцінки і прогнозу ресурсу, як категорії довговічності, що є актуальною проблемою не тільки для нових конструкцій, але має самостійне надзвичайне значення як фактор державної стратегії управління при попередженні техногенних ризиків, з якою стикаються всі країни, які прагнуть оптимізувати фінансування експлуатації будівель та споруд, вперше в рамках представленої роботи класичне апріорне формулювання життєвого циклу експлуатації будівельної конструкції отримало строге наукове обґрунтування в термінах ресурсу. Тобто, конструкціям ставляться у відповідність універсальні моделі опису феноменологічних процесів деградації елементів будівель і споруд у вигляді випадкових функцій марковського типу. Центральна наукова ідея цього підходу укладена в новій парадигмі теорії споруд – що полягає у встановленні зв'язку рівнянь граничних станів зі «змінною» – у вигляді часу експлуатації. Необхідно відмітити, що всі основні положення цієї теорії так само, як і розроблені нові конструктивні системи пройшли комплекс унікальних експериментальних досліджень, при цьому, на натурних зразках, що є важливим етапом впровадження в практику будівництва конструкцій;

- враховуючи складність наявних методик експериментальних досліджень окремих оптимізованих елементів, яка полягає у необхідності оперативного зняття різномірної інформації у великому числі точок з одночасним її обробленням, а також забезпеченням заданих поєднань навантажень, а також враховуючи обмеженість у практиці експериментів із будівельними конструкціями відповідних систем, у роботі був обґрунтований, сформований, адаптований і допрацьований комплекс технічних засобів автоматизованої системи наукових експериментальних досліджень.

Також слід відмітити, що результати представлених досліджень увійшли до значної кількості видань державних будівельних норм.

Позначені наукові підходи доповнюються двома патенточистими малобюджетними, що дуже важливо, методами експериментальних випробувань.

Перший. Як вже зазначалося, впровадження конструкцій нових видів, сучасних матеріалів і технологій їх виробництва потребує проведення натурних експериментів, які, в основному, є трудомісткими та дорогими. При цьому, особливий клас складають експерименти, які реалізуються для екстремальних режимів деформування. До них відносяться: випробування на тріщиностійкість, стійкість, утомлююче обвалення й тому подібне. Репрезентативність отриманої інформації, при коректному проведенні цих експериментів, є базисом для розвитку високоточних розрахункових моделей, необхідних при проектуванні. До перерахованого слід додати експерименти щодо встановлення рівня безпеки конструкцій будівель-пам'яток історії та архітектури, споруд, зведених із порушенням технологій, а також випробувань, які проводяться з метою неруйнівного контролю окремих елементів і систем із них. Приведені аргументи інтегрально обґрунтовують актуальність розробки та впровадження нових ефективних, економічних методів натурних випробувань конструкцій.

У зв'язку з цим, у роботі запропоновано новий, недорогий у реалізації, метод натурних випробувань на вертикальні навантаження плит і оболонки покриттів і перекриттів гідростатичною дією води, який реалізує наступні режими: активне навантаження, розвантаження, мало-

циклове та довготривале навантаження. При цьому навантаження елемента в плані і за висотою може мати практично вільний розподіл. Розроблений експериментально-теоретичний метод придатний для встановлення характеру деформованого стану системи, оцінки особливостей поведінки матеріалу, в тому числі і реологічних, та визначення форм обвалення конструкції. Відомо, що створення навантаження власною вагою різних матеріалів, наприклад, штучних вантажів, супроводжується дискретним законом зміни його рівня, що як наслідок, спотворює дійсну картину деформування. В деяких випадках неможливо підібрати режим навантаження з урахуванням вимог норм і це перешкоджає визначенню характерних станів системи. Цей недолік може бути усунений при гідростатичному навантаженні, оскільки тут використовується власна вага води. Навантаження, яке плавно змінюється, легко реалізувати за рахунок вибору відповідної швидкості подачі води до резервуару. Тоді можливо з будь-якою наперед заданою точністю визначити початок процесу тріщиноутворення або рівень інших аномалій, які розвиваються в конструкції і/або матеріалі. Такий метод випробувань відрізняється універсальністю, він може використовуватися для проведення досліджень тонкостінних конструкцій в різних умовах – лабораторних, натурних і виробничих, на об'єктах, які будуються безперервним способом. Необхідно зазначити, що цей метод був вперше заявлений авторами цієї роботи і апробований у 1977 році при випробуванні структурного покриття розміром 30,0 м × 30,0 м.

Другим є метод випробувань конструкцій на дію температур, в основу якого покладено ідею, що базується на енергетичному принципі взаємності робіт Бетті-Максвелла, які задають унікальну технологію проведення випробувань на холодних зразках. Причому процедура методу дозволяє досліджувати стаціонарні та нестационарні режими температурних полів. Технічну основу методу складає розроблений компілятор, що складається з фотограмметричної або лазерної установки типу VIC-3D і програмного комплексу «Ліра-10.п», який працює в режимі «on-line» з вимірювальною системою.

Обидва методи, окрім використання для потреб даної роботи, мають самостійний інтерес.

Логічною особливістю цієї роботи є повністю сформований цикл «ідея – зведений об'єкт». Саме це принципово відрізняє її від фрагментарної реалізації окремих технологічних процесів, таких як експериментально-теоретичне дослідження, робоче проектування, виготовлення конструктивів, зведення об'єкта, а також безпечна експлуатація.

Розроблені методи і побудовані на їх базі технології проектування зумовили розроблення нових конструктивних систем та їх окремих елементів, які відрізняються набором позитивних властивостей. Так, збірні і монолітні залізобетонні конструкції і залізобетонна частина сталезалізобетонних конструкцій мають вкладиші-пустотоутворювачі із дешевих легких матеріалів, таких як пінополістирол, пінополіуретан, мінвата та інших.

Причому відмінністю їх від відомих систем Airdeck, Bubbledeck, Cobiax є нерегулярність внутрішньої геометрії, тобто конструктивна анізотропія, та несумірна вартість вкладишів. Додатково окрім мінімізації власної ваги конструкцій (основний недолік залізобетону) вперше реалізовано створення систем з апіорі призначеним нормованим резильянсом, що досягається шляхом квазірівномірного розподілу щільності енергії деформацій. Ця процедура забезпечує мінімальні витрати матеріалів при заданій несній здатності елемента.

Представлені нові металеві конструкції (рами, балки, колони тощо) так само, як і металеві частини сталобетонних конструкцій виконуються у вигляді перфорованих просторових систем оболонкового типу і забезпечують, на відміну від відомих плоских елементів, мінімальні інтегральні витрати металу, а також стійкість конструкції при різних видах деформування (згинальна, згинально-крутильна та інші форми).

Металеві, стрижневі та вантові великопрогонові системи, геометрія і фізико-механічні параметри яких визначені шляхом розрахунку, мають раціональне сполучення необхідних характеристик, що зумовлює максимізацію інтегральної жорсткості – несної здатності при заданих витратах матеріалів.

Відмічається особливо обґрунтована і багаторазово апробована конструктивна реалізація системи зсувних в'язей, що забезпечує протягом життєвого циклу сталезалізобетонних систем надійну спільну роботу залізобетонних і сталевих частин конструкції.

Розроблені у роботі технології виготовлення і зведення систем ґрунтуються на концепції первинності конструктиву, особливість якої полягає у наступному:

- виготовлення, транспортування і монтаж залізобетонних конструкцій за технологіями панельного домобудування з отриманням у результаті каркасної системи (система РАМПА);
- простота вузлів сполучення, які зумовлюють швидкість монтажу і високу варіабельність об'ємно-планувальних рішень (система ІКАР);
- істотне у порівнянні з існуючими підвищення поверховості безкаркасних будівель (система ДОБОЛ);
- удосконалений регламент самоущільнювального бетону, можливість використання легких і важких бетонів, екологічна позитивність конструкцій (система МОНОФАНТ);
- безопалубкове формування складної зовнішньої геометрії об'єкта методом торкретування (система МОНОФАНТ);
- висока ступінь заводської готовності, транспортування і монтажу збільшених складених елементів, простота вузлів сполучення, відсутність спеціальних пристосувань, обмежена власна вага, мінімізація зварювальних робіт в умовах будівництва (системи металевих і сталезалізобетонних конструкцій).

Позначені конструкції і технології лягли в основу проектування, зведення і реконструкції ряду унікальних об'єктів, серед яких:

- житлові та адміністративні будівлі загальною площею понад 140 тис. м²;
- реконструкція та побудова нових промислових об'єктів, інженерних споруд загальною площею понад 500 тис. м², у тому числі резервуари для зберігання нафти, шляхопроводи, мости;
- реконструкція будівель, у тому числі пам'яток архітектури, загальною площею понад 70 тис. м². Зокрема, реконструкція нежитлової будівлі під Регіональний центр надання адміністративних послуг, проєкт якої отримав Головний приз, звання «Європейська нагорода» в категорії «громадські будівлі» у будівельному конкурсі European Award-2018, та відзначений спеціальною нагородою Національної спілки архітекторів і призом Польсько-української торговельної палати.

Сукупні результативні показники наступні:

- Мінімізація ваги споруд – на 20 % – 45 %.
- Розподілення ресурсу між власною вагою та корисним навантаженням – 40 % 60 %, натовість у традиційних системах – 50 % 50 %.
- Майже не обмежена комбінаторика.
- Економія матеріалів: бетону – на 20 % – 40 %, сталі – 10 % – 25 %.
- Підвищення енергоефективності – в 3–4 рази.
- Економія енергоресурсів – до 20 %.
- Зниження трудомісткості виготовлення та зведення – на 25 %.
- Зниження економічних витрат на 1 м² споруди – на 20 %.

- [1] The Third International Congress Exhibition – CEB-FIP, Washington, 2010.
- [2] Zuo Z.H. Combining genetic algorithms with BESO for topology optimization / V.M. Xie, X. Huag // Structural and Multi disciplinary Optimization – 2009. Vol.38(5). – p. 511–523.
- [3] Tcherniak D. Topology optimization of resonating structures using SIMP method / D. Tcherniak // International Journal of Numerical Method Engineering. – 2002. – Vol. 54(11). – p. 1605–1622.
- [4] Оганесян П.А., Шевцов С.Н. Оптимизация топологии конструкций в пакете ABAQUS / Известия Самарского научного центра РАН, том 16, № 6(2), 2014, стр. 543–549.
- [5] Авторское свидетельство № 1541179 СССР. Шмуклер В.С., Белопольский А. И., Скала Г.Ф., Ягудин М.И. Пролетное строение открытого несимметричного профиля для грузоподъемного крана. Бюл. 5 от 07.02.1990.
- [6] <https://lira-soft.com/lira-10/v10/>
- [7] Шмуклер В.С. Об одной особенности оценки глобального экстремума функций качества оптимизируемых механических систем. // Проблемы машиностроения. – 1984; 21:69–75
- [8] Шмуклер В.С. Метод интегральных градиентов в оптимизационных задачах САПР. // Системы автоматизированного проектирования. – 1989; 6:56–62
- [9] Городецкий А.С., Шмуклер В.С., Бондарев А.В. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. – Харьков: НТУ «ХПИ»; 2003, 889 с.
- [10] Бабаев В.М., Бугасвський С.О., Свель С.М., Євзеров І.Д., Лантух-Лященко А.І., Шеветовський В.В., Шимановський О.В., Шмуклер В.С. Чисельні та експериментальні методи раціонального проектування та зведення конструктивних систем. – К.: Сталь; 2017, – 404 с.
- [11] Шмуклер В.С., Климов Ю.А., Буряк Н.П. Каркасные системы облегченного типа. – Харьков: Золотые страницы; 2008, 336 с.
- [12] Бабаев В.Н., Климов Ю.А., Лантух-Лященко А.И., Шмуклер В.С., Адилходжаев А.И., Кондращенко В.И. Эффективные железобетонные конструкции – Ташкент: «Info Capital Group», 2019, 416 с.
- [13] Volodymyr Babaev, Isaak Ievzerov, Sergiy Evel, Albert Lantoukh-Liashchenko, Valentyn Shevetovsky, Oleksandr Shimanovskyi, Valery Shmukler, Maria Sukhonos Rational Design of Structural Building Systems, ISBN 978-3-86922-733-7, 2019 by DOM publishers, Berlin/Germany, www.dom-publishers.com
- [14] Беседин Г.М., Манько С.П., Наконечный Ю.Е., Фурсов В.В., Шмуклер В.С. Испытания структурного покрытия с элементами из холодногнутых профилей. Межвузовский сборник «Лёгкие строительные конструкции покрытий зданий», Ростов-на-Дону, 1976: с. 114–121.
- [15] Патент України на корисну модель № 44125. Шмуклер В.С., Чупринін А.А., Аббасі Р. Пристрій для натурних випробувань плит і оболонки. 2010.
- [16] Шмуклер В.С., Євзеров І.Д., Резник П.А., Фурсов Ю.В. Метод експериментально-теоретичного визначення переміщень конструкцій при дії доволіно заданих температур. Патент України на винахід № 112223 МПК G01N 3/18 G01N 3/54 G01N 25/02 заявка № u 2014 10906 від 06.10.2014, опубл. 27.04.2016 бюл. № 8
- [17] V. Babayev, V. Shmukler, P. Reznik Method for Investigation of Structures for Temperature Effects // Journal of Civil Engineering and Construction, Vol. 5, No. 2, 2016
- [18] Air Deck R System, <http://www.airdeck.com/>
- [19] Cobiax R System, <http://www.cobiax.com/>
- [20] Hai L.V., Hung V.D., Thi T.M., Nguyen-Thoi T., Phuoc N.T. The experimental analysis of BubbleDeck slab using modified elliptical balls. Hokkaido University. p. 1–9 <http://eprints2008.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/54436/1/easec13-G-6-1.pdf>.

Надійшла 12.11.2020 р.