

УДК 624.074

## ОСНОВЫ ФОРМОТВОРЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОСТОРОВИХ ПОКРИТИЙ ИЗ СТРУКТУРНО-ВАНТОВИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦИЙ

ГАСИЙ Г. М. <sup>1\*</sup>, *к.т.н., доцент*

<sup>1\*</sup> Кафедра конструкций из металла, дерева та пластмасс, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, 36011, Полтава, Україна, e-mail: grigoriigm@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1492-0460

**Анотация. Цель.** В условиях нынешнего развития научно-технических достижений и роста социальных потребностей населения, возникает необходимость поиска все более эффективных конструктивных систем, зокрема покрытий. Основными требованиями, що пред'являються до покрытий будівель або їх елементів, крім забезпечення надійності і необхідної несучої здатності, є архітектурна виразність, естетичність, ергономічність та гарні показники енергоефективності. Важливим моментом у пошуку і проектуванні конструктивних рішень нових конструкцій є використання надійних і сучасних матеріалів. До матеріалів, що задовільняють зазначеним вимогам відносять сталь, сучасні бетони з різноманітними наповнювачами та композити. Ефективність розроблених конструкцій, також залежить від способу використання матеріалів і умов їх роботи, тут йде мова про те, щоб матеріали сприймали ті зусилля на які вони надійно працюють, тобто сталь раціонального використовувати в розтягнутих або стиснених елементах, а бетони – в стиснених. Враховуючи це, рішення об'єднати сталеві стрижневі і залізобетонні площинні елементи в одній цілісній просторовій конструкції та подальшого її дослідження з метою широкого впровадження в практику вітчизняного й зарубіжного будівництва є актуальним і перспективним напрямком розвитку будівельних конструкцій. **Методика.** На основі теоретичних досліджень стану сучасного будівництва просторових та сталезалізобетонних конструкцій виділити найбільш перспективні та ефективні конструктивні рішення. Враховуючи фізико-механічні властивості матеріалів і властивості конструктивних елементів розробити новий вид великопролітних покрытий та їх геометричні форми. **Результати.** Запропоновано та розроблено нові великопролітні конструкції – структурно-вантові сталезалізобетонні покриття. Описано їх основні переваги, особливості проектування та конструктивні системи. **Наукова новизна.** Розроблені нові енергоефективні конструкції, які призначені для перекриття великопролітних будівель і споруд та ділянок території. **Практична значимість.** Розроблені структурно-вантові сталезалізобетонні покриття призначені для цивільного будівництва. Застосування розроблених конструкцій у зведенні великопролітних покрытий дозволяє отримати значний економічний ефект за рахунок раціонального використання матеріалів.

**Ключові слова:** форма, конструкція, структура, сталезалізобетон, вант, просторове покриття.

## ОСНОВЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ СТРУКТУРНО-ВАНТОВЫХ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ГАСИЙ Г. М. <sup>1\*</sup>, *к.т.н., доцент*

<sup>1\*</sup> Кафедра конструкций из металла, дерева и пластмасс, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, 36011, Полтава, Украина, e-mail: grigoriigm@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1492-0460

**Аннотация. Цель.** В условиях нынешнего развития научно-технических достижений и роста социальных потребностей населения, возникает необходимость поиска все более эффективных конструктивных систем, в частности покрытий. Основными требованиями, предъявляемыми к покрытиям зданий или их элементам, кроме обеспечения надежности и необходимой несущей способности, является архитектурная выразительность, эстетичность, эргономичность и хорошие показатели энергоэффективности. Важным моментом в поиске и проектировании конструктивных решений новых конструкций является использование надежных и современных материалов. К материалам, которые удовлетворяют указанным требованиям относят сталь, современные бетоны с разнообразными наполнителями и композиты. Эффективность разработанных конструкций, также зависит от способа использования материалов и условий их работы, здесь идет речь о том, чтобы материалы воспринимали те усилия на которые они надежно работают, то есть сталь рационального использовать как в растянутых так и в сжатых элементах, а бетоны – только в сжатых. Учитывая это, решение объединить стальные стержневые и железобетонные плоскостные элементы в одной целостной пространственной конструкции и дальнейшее ее исследования с целью широкого внедрения в практику отечественного и зарубежного строительства является актуальным и перспективным направлением развития строительных конструкций. **Методика.** На основе теоретических исследований состояния современного строительства пространственных и сталезалезобетонных конструкций выделить наиболее перспективные и эффективные конструктивные решения. Учитывая физико-механические свойства материалов и свойства конструктивных

элементов предложить и разработать новый вид большепролетных покрытий и их геометрические формы. **Результаты.** Предложены и разработаны новые большепролетные конструкции – структурно-вантовые сталежелезобетонные покрытия. Описаны их основные преимущества, особенности проектирования и конструктивные системы. **Научная новизна.** Разработаны новые эффективные конструкции покрытий, которые предназначены для перекрытия большепролетных зданий и сооружений. **Практическая значимость.** Разработаны структурно-вантовые сталежелезобетонные покрытия предназначены для гражданского строительства. Применение разработанных конструкций для возведения большепролетных покрытий позволяет получить значительный экономический эффект за счет рационального использования материалов.

**Ключевые слова:** форма, конструкция, структура, сталежелезобетон; вант, пространственное покрытие.

## THE MAIN POINTS OF FORM FINDING AND DESIGNING STRUCTURE SYSTEMS FROM THE STEEL-CONCRETE GRID-CABLE COMPOSITE CONSTRUCTIONS

GASII G. M.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor*

<sup>1\*</sup> Department of Structures from Metal, Wood and Plastics, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, 24, Pershotravnevyi avenue, Poltava 36011, Ukraine, e-mail: grigoriigm@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-1492-0460

**Abstract. Purpose.** There are a need to find effective structural systems including shells in today conditions of the development of scientific and technological advances and the growth of social needs. The main requirements imposed on shells or its parts except reliability and the required bearing capacity are an architectural view, aesthetics, ergonomics and high indicators of efficiency. Use of reliable and modern materials to search and designing of the new structural concept is an important issue. Steels, modern concretes with various fillers and composites belong to the materials that meet the stated requirements. The effectiveness of the developed structures depends on the usage of these materials and their conditions of behavior it means that materials need to be under pressure of the forces, which they resistance well this means steel needs to use in stretched or compressed elements and concrete needs to use in compressed. Considering this, the decision to combine the space grid and slabs in an integral space design and further its research to a wide implementation in practice of domestic and foreign construction are relevant and promising direction of building structures. **Methodology.** Based on theoretical studies of the current state of construction and space steel and concrete composite structures identify the most promising and effective designs. Given the physical and mechanical properties of materials and properties of structural elements offer and develop a new type of space coverings. **Findings.** Proposed and developed new space structures – steel-concrete grid-cable composite shells with the release of their main advantages and design features. **Originality.** The new efficient construction shells that appointment for covering large-span buildings and areas. **Practical value.** Developed steel and concrete composite grid-gable roofs appointment for industrial and civil construction. Applications developed designs for the construction of large-span covering objects provides a significant economic benefit through the efficient use of materials.

**Keywords:** shape, design, structure, steel and concrete composite construction, gable, space grid.

**Постановка проблеми.** При будівництві загалом та зокрема при зведенні покриттів практично завжди виникала проблема трудомісткості робіт та перевитрат матеріалів у наслідок їх не раціонального використання. Така ситуація у будівництві склалася через використання застарілих конструктивних рішень та невідповідність їх сучасним вимогам галузі. Ці чинники безпосередньо впливають на сумарну вартість та загальну тривалість реалізації проекту, саме тому з'явилася потреба удосконалення існуючих, пошуку і проектування нових несучих великопролітних систем, застосування яких дозволило б значною мірою досягти економії матеріалів та зменшити трудомісткість технологічних процесів. Значною мірою цю проблему можна вирішити за допомогою застосування конструкцій із композитних матеріалів,

які поєднують сталь і бетон, саме тому питання формотворення і проектування нових та ефективних конструктивних систем просторових сталежелезобетонних покриттів є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що традиційно найбільш відомими представниками великопролітних просторових конструкцій є суцільно сталеві, зокрема структурні [11]. Однак існують приклади застосування сталевих комбінованих систем [17]. Широкого застосування у різноманітних конструкціях набув і сталежелезобетон [1, 3, 15]. Сталежелезобетонні конструкції використовуються як перекриття, покриття, колони, різноманітні плитні конструкції й несучі елементи каркасів будівель та споруд [2, 28].

**Виділення невирішених раніше частин питання.** Спираючись на результати аналізу

попередніх досліджень й беручи до уваги переваги сталезалізобетону, то питання розроблення концепції нових просторових покриттів із його застосуванням залишаються не дослідженим у повній мірі.

**Постановка завдання.** Розробити нові конструкції просторових покриттів із застосуванням сталезалізобетону, які б урахували та відповідали всім потребам сучасного будівництва, зокрема, ефективному та раціональному використанні матеріалів й простоті виготовлення.

**Основний матеріал.** Розвиток будівельної галузі супроводжується впровадженням ефективних матеріалів. Застосування таких матеріалів дозволяє отримати конструкції покриття з потрібними характеристиками міцності та техніко-економічними показниками, але разом із їх появою виникає потреба у розробленні відповідних геометричних форм, а, отже, і в установленні взаємозв'язку між параметрами будівлі та її геометричної моделі. Нажаль, проблемі формоутворення просторових систем приділено не достатньо уваги. У більшості вітчизняних праць, що присвячені просторовим конструкціям розглядаються питання розрахунку або дослідження напружено-деформованого стану її елементів.

Основою для ефективного формотворення просторових покриттів є аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду. Сьогодні найбільш відомими просторовими конструкціями є гратчасті системи. Такі системи мають значну здатність і гнучкість до формоутворення, що підтверджується великою кількістю оригінальних та неповторюваних обрисів у всьому світі [14]. Проектування геометричних форм гратчастих просторових конструкцій може виконуватися практично усіма відомими прийомами формотворення. Серед загального класу гратчастих просторових систем найчастіше виділяють структурні плити [7], однак існують численні приклади реалізації структурних конструкцій з більш складною формою: кулі, різноманітні оболонки, ступінчасті плити, піраміди та інше [19]. Саме тому, для розроблення нових сучасних просторових систем – структурно-вантових сталезалізобетонних покриттів, за основу було прийнято структурну конструкцію.

Поряд із проблемою пошуку ефективних конструктивних рішень систем покриття стоїть питання їх формоутворення, оскільки на якість загальних техніко-економічних показників покриття впливають не лише фізико-механічні властивості матеріалів, але й геометричні рішення, так у роботі [12] описується результат творчої діяльності архітектора іспанського походження Фелікса Кандела, який прагнучи знайти нові способи зменшення витрат і економії матеріалів експериментував із формами залізобетонних оболонок. В цілому формотворення нових несучих систем – складна і трудомістка задача, вирішення якої потребує глибоких знань архітектури і будівельної механіки [10], нерідко для її вирішення

застосовують обчислювальну техніку [9], але у більшості випадків використовують спрощені методи, які засновані на попередньому досвіді [8].

В [13, 20] наведені основні несучі системи і конструкції їх матеріали і методи зведення, що застосовуються в будівництві.

Праця [25] описує повну палітру несучих конструкцій і їх функцій, описуючи розподіл сил в елементах конструкції і шляхи передавання їх на основу. Наведені методи дозволяють з мінімумом математичних дій виконати статичний аналіз найвідоміших в світі конструкцій і споруд.

Підхід описаний в [6] дозволяє швидко визначити бажану форму будівлі або іншої споруди і легко запроєктувати її без необхідності проведення складних математичних розрахунків. Ця унікальна праця висвітлює процес проектування конструкцій для архітекторів, включаючи вибір відповідних матеріалів, пошуку підходящої конфігурації, визначення сил і розмірів конструктивних елементів, розробки відповідних з'єднань, прийняття методу зведення.

В [26] розглянуті основи структурного аналізу і проектування з особливим акцентом на питання умов роботи і конструювання, нематематичний огляд фундаментальних понять аналізу і проектування балкових, аркових і вантових конструкцій.

У [30] представлений синтез творчого і технічного підходу пошуку форми несучої конструкції. Із застосуванням чисельних і графічних методів наведені приклади визначення сил у аркових, підвісних, вантових та різноманітних високоефективних кроквяних конструкціях.

У роботі [18] сформульовані загальні принципи формотворення і структурного аналізу згинаних конструкцій. Сутність роботи полягає у виробленні спільних понять формотворення несучих систем і структурного аналізу згинаних структур. Спираючись на результати інженерного та історичного вишукування, розглядаються методологія, механічні та матеріальні основи згинаних систем. Встановлено, що поведінка несучої системи пов'язана з впливом залишкових напружень вигину на жорсткість, масштаб і стійкість згинаних конструкцій. Ґрунтуючись на цих висновках, були сформульовані узагальнені правила проектування згинаних несучих конструкцій.

В [16] розглядаються концепції проектування будівель і споруд засновані на принципах статичних розрахунків несучих систем без застосування математичних алгоритмів.

В праці [22] наведені фундаментальні принципи проектування форм будівельних структур з урахуванням потреб природи, процеси проектування і вибору структурних систем та матеріалів, механіки матеріалів і аналізу структур. Підсумком праці є керівництво для проектування несучих систем, критерії прийняття їх конструктивних рішень і форм. У праці також наведені рекомендації і обґрунтування

доцільності застосування типу несучої системи залежно від прольоту та типу матеріалу (табл. 1).

Таблиця 1

**Типи несучої системи і матеріалу залежно від величини прольоту / The kind of structural system and material depending on span**

Тип несучої системи	Проліт, м									
	3	6	9	15	23	30	46	60	90	150
Залізобетонні системи										
Балка	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Складчаста			■	■	■	■	■	■	■	■
Арка				■	■	■	■	■	■	■
Купол					■	■	■	■	■	■
Сталеві системи										
Балка	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ферма			■	■	■	■	■	■	■	■
Арка				■	■	■	■	■	■	■
Структура					■	■	■	■	■	■
Вантова						■	■	■	■	■

Купольні склепіння дають можливість зводити не лише ортогональні або прямолинійні у плані, але й великопролітні та просторові покриття. Такі конструкції є надзвичайно популярними, оскільки зустрічаються у різних регіонах світу і різні епохи, у тому числі стародавні Греція, Єгипет, Китай і Індія [24]. Не менш популярними є оболонки, до того ж встановлено, що для такого типу конструкцій ефективно застосовувати не лише традиційний залізобетон [21], але й сталезалізобетон [29].

Незважаючи на існуючі переваги, застосування циліндричних оболонок може бути обмеженим її схильністю до втрати стійкості у наслідок появи в процесі монтажу або експлуатації невеликих відхилень від вихідної геометрії і граничних умов [23].

Беручи до уваги зарубіжний досвід і описані у зазначених вище працях способи і методи формотворення великопролітних конструкцій, було розроблено оригінальну концепцію несучої системи. Мова йде про структурно-вантове сталезалізобетонне покриття, яке є новим типом просторових конструкцій, сутність яких полягає у раціональному й ефективному використанні матеріалів та їх властивостей [5]. Покриття складається із модульних просторових сталезалізобетонних елементів з'єднаних у цілісну конструкцію за допомогою оптимізованих вузлових болтових з'єднань [5].

Конструктивно покриття включає в себе нижній й верхній пояси та просторову стрижневу решітку. Верхній пояс має форму плити і може виготовлятися практично із будь-якого сучасного екологічного матеріалу, але як основний матеріал прийнято бетон. Залежно від армування плита може бути залізобетонною або армоцементною. Нижній пояс є гнучким і його елементи призначені лише на сприйняття зусиль розтягу, тому він виготовляється із сталевих гнучких стрижневих елементів. Решітка

має просторову будову і складається з стрижнів виготовлених із сталевих труб. За рахунок такого рішення досягається зменшення загальної ваги покриття й трудомісткості. Крім того, немає потреби використовувати дорогі покрівельні матеріали та витратити час на їх укладання, оскільки верхній пояс, крім основного призначення, виконує огорожувальну функцію та надійно захищає від зовнішніх і атмосферних впливів внутрішній простір будівлі.

Застосування сталезалізобетонних структурно-вантових конструкцій дає змогу зводити покриття різноманітної кривизни та розмірів у плані, оболонки та куполи. Кривизна досягається за рахунок зміни довжини нижнього поясу.

Сумісна робота сталевих і бетонних елементів забезпечується за рахунок їх об'єднання в процесі бетонування. Перед бетонуванням попередньо виготовлену просторову решітку укладають на поверхню у перевернутому положенні. Із модульних елементів збираються сталезалізобетонні структурно-вантові покриття [4].

Каркас сталезалізобетонних модульних елементів повністю виготовляються у заводських умовах, що суттєво зменшує загальну тривалість й трудомісткість будівельних робіт, при цьому не використовуються складні та громіздкі стенди. Бетонування може здійснюватися як на будівельному майданчику так і на заводах залізобетонних виробів. Залежно від прольоту, який необхідно перекрити, сталезалізобетонні модульні елементи попередньо укрупнюються в окремі блоки або лінійні секції: балкові, аркові і висячі.

Згідно [27] процес проектування несучих систем та пошуку їх форм включає в себе три етапи: топологія, оптимізація форми і розмірів. Для отримання найкращих результатів проектування просторових конструкцій, оптимізацію необхідно виконувати на кожному етапі розробки проекту. Стосовно проектування запропонованих конструкцій, то складність постановки задачі оптимального проектування в найбільш загальному вигляді стосується лише невеликої кількості конструктивних рішень і полягає в труднощах урахування особливостей їх роботи – недопустимість появи стискаючих зусиль в гнучких елементах нижнього поясу. Цю проблему було вирішено шляхом проведення числових досліджень у результаті яких були визначені оптимальні параметри конструктивних елементів [5].

**Висновки.** Виходячи із проведеного аналізу зарубіжного досвіду проектування великопролітних конструкцій, розроблено новий вид просторових систем – структурно-вантове сталезалізобетонне покриття. Використавши розглянуті способи оптимізації і топології просторових конструкцій запроєктовано різноманітні геометричні форми і обриси, що дає можливість створення просторових конструкцій із довільним окресленням за рахунок зміни довжини гнучких елементів нижнього поясу,

зокрема, оболонки, аркові і ін. Кожна з конструкцій має свої особливості, але у всіх є спільні переваги: економія матеріалів, низька маса, надійність,

поєднання у собі несучих та огорожувальних функцій.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лапенко О.І. Сучасні прогресивні сталезалізобетонні конструкції / О.І. Лапенко, Г.І. Гришко // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научных трудов.* – Дн-ск: ГВУЗ «ПГАСА», 2012. – Вип. 65. – С. 314-317.
2. Нижник О.В. Будівництво сталезалізобетонного безбалкового перекриття / О.В. Нижник // *Будівельні конструкції.* – 2013. – Вип. 78(1). – С. 144-149.
3. Стороженко Л.І. Нові сталезалізобетонні структурно-вантові конструкції / Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій, С.А. Гапченко // *Збірник наукових праць. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво.* – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – Вип. 1. – С. 91-96.
4. Стороженко Л.І. Просторове сталезалізобетонне структурно-вантове покриття / Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научных трудов.* – Дн-ск: ГВУЗ «ПГАСА», 2015. – Вип. 82. – С. 226-230.
5. Стороженко Л.І. Просторові сталезалізобетонні структурно-вантові покриття: Монографія / Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій, С.А. Гапченко. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2015. – 218 с.
6. Allen E. *Form and Forces: Designing Efficient, Expressive Structures* / E. Allen, W. Zalewski. – Wiley, 2009. – 640 p.
7. Allen E. *Fundamentals of building construction. Materials and methods: 6<sup>th</sup> Edition* / E. Allen, J. Iano. – Wiley, 2013. – 1024 p.
8. Ambrose J. *Simplified Engineering for Architects and Builders* / J. Ambrose, P. Tripeny. – Wiley, 2010. – 736 p.
9. Bechthold M. *Innovative surface structures: Technologies and applications* / Martin Bechthold. – New York: Taylor and Francis, 2008. – 240 p.
10. Charleson A. *Structure as architecture: a source book for architects and structural engineers. Second edition* / Andrew Charleson. – London: Routledge, 2014. – 260 p.
11. Chilton J. *Space grid structures* / John Chilton. – Boston: Architectural Press, 2007. – 180 p.
12. De Anda E. X. *Candela / Enrique X De Anda Alanis.* – Koln: Taschen, 2008. – 96 p.
13. Engel H. *Structure Systems: 3<sup>rd</sup> Edition* / Heino Engel. – Ostfildern: Hatje Cantz, 2007. – 352 p.
14. Furche A. *Tragkonstruktionen: Basiswissen für Architekten* / Alexander Furche. – Springer, 2016. – 210 p.
15. Gasii G.M. *Technological and design features of flat-rod elements with usage of composite reinforced concrete* / G.M. Gasii // *Metallurgical and Mining Industry.* – 2014. – №4. – P. 23–25.
16. Herget W. *Tragwerkslehre: Skelettbau und Wandbau* / Werner Herget. – Springer, 2013. – 257 p.
17. Ivanyk I. *Research of composite combined prestressed construction* / I. Ivanyk, Y. Vybranets, Y. Ivanyk // *Acta Scientiarum Polonorum.* – 2014. – №13. – Vol. 2. – P. 81–88.
18. Lienhard J. *Bending-active structures. PhD Thesis* / J. Lienhard. – Stuttgart: University of Stuttgart, 2014. – 211 p.
19. Macdonald A.J. *Structure and Architecture: Second Editions* / Angus J. Macdonald. – London: Routledge, 2007. – 164 p.
20. McMullin P.W. *Introduction to Structures* / P.W. McMullin, J.S. Price. – London: Routledge, 2016. – 304 p.
21. Medwadowski S.J. *Buckling of Concrete Shells: An Overview* / S.J. Medwadowski // *Journal of the International Association for Shell and Spatial structures.* – 2004. – Vol. 45. – №1. – P. 51-63.
22. Meistermann A. *Basics Tragsysteme* / Alfred Meistermann. – Birkhäuser, 2007. – 86 p.
23. Mekjavić I. *Buckling analysis of concrete spherical shells* / Ivana Mekjavić // *Technical Gazette.* – 2011. – Vol. 18. – №4. – P. 633-639.
24. Melaragno M. *An Introduction to Shell Structures: The Art and Science of Vaulting* / Michele Melaragno. – New York: Springer, 2012. – 428 p.
25. Muttoni A. *The Art of Structures* / Aurelio Muttoni. – Lausanne: EPFL Press, 2011. – 280 p.
26. Schodek D.L. *Structures: 4<sup>th</sup> Edition* / Daniel L. Schodek. – New Jersey: Prentice Hall, 2000. – 581 p.
27. *Shell Structures for Architecture: Form Finding and Optimization* / S. Adriaenssens, P. Block, D. Veenendaal, C. Williams. – London: Routledge, 2014. – 340 p.
28. Storozhenko L.I. *Experimental research of strain-stress state of ferrocement slabs of composite reinforced concrete structure elements* / L.I. Storozhenko, G.M. Gasii // *Metallurgical and Mining Industry.* – 2014. – №6. – P. 40-42.
29. Wong H.T. *Behaviour and modelling of steel-concrete composite shell roofs: PhD Thesis* / Hon-ting Wong. – Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 2005. – 420 p.
30. Zalewski W. *Shaping Structures: Statics (Simplified Design Guides)* / W. Zalewski, E. Allen. – Wiley, 1997. – 416 p.

## REFERENCES

1. Lapenko O.I. and Gryshko G.I. *Suchasni prohresyvni stalezalizobetonni konstruktsiyi* [Modern advanced steel and concrete composite construction]. *Stroytel'stvo, materialovedenye, mashynostroenye: sb. nauchnykh trudov* [Construction, materials science, mechanical engineering]. PDABA. Dnipropetrovsk, 2012, no. 65, pp. 314-317. (in Ukrainian).
2. Nizhnik O.V. *Budivnytstvo stalezalizobetonnoho bezbalkovoho perekryttya* [Construction of steel and concrete composite girderless floor]. *Budivel'ni konstruktsiyi* [Building construction]. NIISK. Kyiv, 2013, no. 78(1), pp. 144-149. (in Ukrainian).
3. Storozhenko L.I., Gasii G.M. and Gapchenko S.A. *Novi stalezalizobetonni strukturno-vantovi konstruktsiyi* [The new composite and space grid cable-stayed construction]. *Zbirnyk naukovykh prats'. Haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo* [Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering]. PoltNTU. Poltava, 2014, no. 1, pp. 91-96. (in Ukrainian).
4. Storozhenko L.I. and Gasii G.M. *Prostorove stalezalizobetonne strukturno-vantove pokryttya* [Space steel-concrete grid-cable composite shell]. *Stroytel'stvo, materialovedenye, mashynostroenye: sb. nauchnykh trudov* [Construction, materials science, mechanical engineering]. PDABA. Dnipropetrovsk, 2015, no. 82. pp. 226-230. (in Ukrainian).
5. Storozhenko L.I., Gasii G.M. and Hapchenko S.A. *Prostorovi stalezalizobetonni strukturno-vantovi pokryttya* [The space steel-concrete grid-cable composite shells]: Monohrafiya. Poltava: TOV «ASMI», 2015, 218 p. (in Ukrainian).
6. Allen E. and Zalewski W. *Form and Forces: Designing Efficient, Expressive Structures*. Wiley, 2009, 640 p.
7. Allen E. and Iano J. *Fundamentals of building construction. Materials and methods: 6<sup>th</sup> Edition*. Wiley, 2013, 1024 p.
8. Ambrose J. and Tripeny P. *Simplified Engineering for Architects and Builders*. Wiley, 2010, 736 p.
9. Bechthold M. *Innovative surface structures: Technologies and applications*. New York: Taylor and Francis, 2008, 240 p.
10. Charleson A. *Structure as architecture: a source book for architects and structural engineers: Second edition*. London: Routledge, 2014, 260 p.
11. Chilton J. *Space grid structures*. Boston: Architectural Press, 2007, 180 p.
12. De Anda E. X. *Candela*. Koln: Taschen, 2008, 96 p.
13. Engel H. *Structure Systems: 3<sup>rd</sup> Edition*. Ostfildern: Hatje Cantz, 2007, 352 p.
14. Furche A. *Tragkonstruktionen: Basiswissen für Architekten*. Springer, 2016, 210 p.
15. Gasii G.M. *Technological and design features of flat-rod elements with usage of composite reinforced concrete*. *Metallurgical and Mining Industry*, 2014, no. №4, pp. 23-25.
16. Herget W. *Tragwerkslehre: Skelettbau und Wandbau*. Springer, 2013, 257 p.
17. Ivanyk I., Vybranets Y. and Ivanyk Y. *Research of composite combined prestressed construction*. *Acta Scientiarum Polonorum*, 2014. no. 13(2), pp. 81-88.
18. Lienhard J. *Bending-active structures. PhD Thesis*. Stuttgart: University of Stuttgart, 2014, 211 p.
19. Macdonald A.J. *Structure and Architecture: Second Editions*. London: Routledge, 2007, 164 p.
20. McMullin P.W. and Price J.S. *Introduction to Structures*. London: Routledge, 2016, 304 p.
21. Medwadowski S.J. *Buckling of Concrete Shells: An Overview*. *Journal of the International Association for Shell and Spatial structures*, 2004, no. 1(45), pp. 51-63.
22. Meistermann A. *Basics Tragsysteme*. Birkhäuser, 2007, 86 p.
23. Mekjavić I. *Buckling analysis of concrete spherical shells*. *Technical Gazette*, 2011, no. 4(18), pp. 633-639.
24. Melaragno M. *An Introduction to Shell Structures: The Art and Science of Vaulting*. New York: Springer, 2012, 428 p.
25. Muttoni A. *The Art of Structures*. Lausanne: EPFL Press, 2011, 280 p.
26. Schodek D.L. *Structures: 4<sup>th</sup> Edition*. New Jersey: Prentice Hall, 2000, 581 p.
27. S. Adriaenssens, P. Block, D. Veenendaal and C. Williams. *Shell Structures for Architecture: Form Finding and Optimization*. London: Routledge, 2014, 340 p.
28. Storozhenko L.I. and Gasii G.M. *Experimental research of strain-stress state of ferrocement slabs of composite reinforced concrete structure elements*. *Metallurgical and Mining Industry*, 2014, no. 6, pp. 40-42.
29. Wong H.T. *Behaviour and modelling of steel-concrete composite shell roofs: PhD Thesis*. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 2005, 420 p.
30. Zalewski W. and Allen E. *Shaping Structures: Statics (Simplified Design Guides)*. Wiley, 1997, 416 p.

Стаття рекомендована до публікації д-ром. техн. наук, проф. О.І Лапенко (Україна), д-ром. техн. наук, проф. О.В. Нижник(Україна)

Поступила до редколегії 22.04.2016