

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО  
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О.М. БЕКЕТОВА  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

НІКУЛІН ВАЛЕРІЙ БОРИСОВИЧ

УДК 692.522.8

ДИСЕРТАЦІЯ

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЛИТ ПЕРЕКРИТТІВ  
ПОЛЕГШЕНОГО ТИПУ З УРАХУВАННЯМ ПОЧАТКОВИХ  
НЕДОЛІКІВ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди  
19 – архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Нікулін В.Б.

Науковий керівник:

к.т.н. Петрова Олена Олександрівна

Харків – 2020

## АНОТАЦІЯ

Нікулін В.Б. Напружено-деформований стан плит перекриттів полегшеного типу з урахуванням початкових недоліків. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди (19 – Архітектура та будівництво) – Український державний університет залізничного транспорту, Харків, 2020 р.

Дисертація присвячена аналізу напружено-деформованого стану монолітних залізобетонних плит перекриттів з вкладишами-пустотоутворювачами, що мають початкові недоліки.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання дослідження, представлено наукову гіпотезу, новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію основних результатів дисертації, кількість публікацій, структуру та обсяг роботи.

В **першому розділі** відмічається, що протягом останніх десятиліть актуальною залишається задача зниження матеріальних, трудових і енергетичних витрат на зведення будівель і споруд, що пов'язано зі змінами в державних будівельних нормах та істотним зростанням обсягів каркасно-монолітного будівництва. Зазначається, що в каркасних будівлях 50-60% обсягу бетону та арматури сконцентровано у монолітних плитах перекриття. Досягти суттєвого зниження власної ваги плит, зменшення витрат бетону і арматури, ваги всієї будівлі, і, як наслідок, знизити навантаження на фундаментну частину будівлі і ґрунтову основу можливо шляхом введення в тіло монолітних конструкцій різноманітних вкладишів-пустотоутворювачів.

У зв'язку із вищесказаним, в першому розділі проаналізовані відомі архітектурно-будівельні системи та технології зведення полегшених конструкцій, щозастосовують в якості вкладишів-пустотоутворювачів уніфіковані модулі з повторно переробленого поліпропілену та пінополістиролу. Позначені основні переваги і недоліки даних систем з

урахуванням їх конструктивних особливостей та технологічних операцій по влаштуванню перекриттів. Також проаналізовано відмінності суцільних монолітних перекриттів та перекриттів з пустостоутворювачами з точки зору доцільності їх застосування в масовому монолітному будівництві.

З результатів аналізу випливає, що одночасно зі зменшенням власної ваги конструкцій, збільшенням тепло- та звукоізоляційних характеристик таких конструктивів, застосування полегшених перекриттів призводить до появи додаткових закладних деталей і елементів кріплення, що безпосередньо впливає на технологію зведення, збільшує трудомісткість робіт та збільшує кількість помилок, допущених в умовах будмайданчика. В даний час в Україні накопичено певний досвід зведення будівель і споруд з використанням вкладишів-пустотоутворювачів з пінополістиролу, що дозволив окреслити коло проблемних питань, які потребують суттєвого доопрацювання, зокрема, з точки зору забезпечення точності зведення конструкцій з вкладишами та забезпечення їх надійності і довговічності.

Виконаний аналіз відомих теоретичних і експериментальних результатів, а також наявного практичного досвіду дозволив підтвердити той факт, що зазначені конструкції представляють значний інтерес для сучасної будівельної галузі та, враховуючи їх якісне і кількісне наповнення, дозволив сформулювати основні задачі представленої роботи.

У зв'язку із чим, в **другому розділі**, на базі архітектурно-будівельної системи «Монофант», що передбачає бетонування всіх конструктивів будівлі, та власне перекриттів, із вкладишами-пустотоутворювачами з пінополістиролу, сформовано класифікацію можливих початкових недоліків, що негативно впливають на якісні характеристики конструкції. Відмічається, що основною перевагою системи «Монофант», в порівнянні з іншими відомими аналогами, є можливість створення систем з заданим напружено-деформованим станом (НДС) і витратою матеріалу. Ця обставина стала можливою завдяки використанню прямого підходу проектування, заснованого на використанні енергетичних критеріїв раціоналізації конструкції (вимога

мінімізації потенційної енергії деформації та вимога ізоенергічності стану системи). Перераховані та інші особливості системи зумовили її детальний розгляд в даній роботі як найбільш прогресивної та перспективної з точки зору масового використання у вітчизняній будівельній галузі.

Як було зазначено, в розділі вивчено та систематизовано початкові технологічні відхилення, що породжують появу конструктивних недоліків обговорюваних систем. Зокрема, в ПК «Ліра 10.6» виконано чисельний аналіз впливу даних недоліків на напружено-деформований стан полегшених перекриттів. Зокрема, базуючись на енергетичних критеріях раціоналізації досліджено вплив наступних відхилень на значення потенційної енергії деформацій (ПЕД) та щільності ПЕД: зміщення вкладишів пустотоутворювачів в плані та по висоті перекриття, зменшення проектного класу бетону, поява горизонтального шва розриву бетонування плити. Результати виконаних досліджень, дозволили сформувати допуски на відхилення положення вкладишів та арматурних виробів в полегшених плитах перекриття.

Разом з наданими рекомендаціями щодо можливих значень відхилень, в **третьому розділі** виконані дослідження, що дозволяють сформувати рекомендовані параметри полегшених плит за критерієм заданої несучої здатності та мінімізації витрат матеріалів.

Зокрема, виконано аналіз взаємозалежності напружено-деформованого стану розглянутих конструкцій від розмірів вкладишів-пустотоутворювачів та їх розташування за умови мінімізації витрати бетону. Загалом розглянуто п'ять геометрій полегшених плит перекриттів, що відрізняються кроком та шириною ребер, та виконане їх скінченно-елементне моделювання в ПК «Ліра 10.6» з подальшим чисельним аналізом. Крім того, вирішене завдання оптимального розкроювання вихідної заготовки листа-пустотоутворювача на вкладиші необхідного розміру з метою мінімізації відходів матеріалу заповнювача. За результатами проведених досліджень, визначено, що рекомендований крок ребер складає 600мм при ширині ребра 100мм та

розмірах вкладишу 500x500мм. Дані геометричні параметри забезпечують найбільшу несучу здатність конструктиву, економію бетону на рівні 30% в порівнянні з суцільною плитою перекриття та найменший відсоток відходів матеріалу пустотоутворювача (3.22%).

Виконано аналіз вогнестійкості конструктиву полегшеної плити перекриття реальної нежитлової будівлі з метою визначення класу вогнестійкості розглянутих конструкцій. Встановлення відповідності монолітної залізобетонної плити визначеному класу вогнестійкості виконано шляхом послідовного вирішення задач оцінки теплопровідності, цілісності та несучої здатності плити та перевірки отриманих результатів альтернативним методом. За результатами дослідження, встановлено мінімальну товщину обшивок полегшеної плити, що дорівнює 50мм, та забезпечує необхідну межу вогнестійкості REI90 при класі бетону C20/25.

Додатково виконано аналіз можливості зменшення товщини обшивок з умови забезпечення непродавлювання її в умовах експлуатації. Проте, отримане в результаті дослідження зменшення товщини обшивок до 30мм недопустиме з точки зору забезпечення необхідної межі вогнестійкості конструктиву, у зв'язку з чим остаточно визначено мінімально можливу товщину обшивок полегшеної плити рівну 50мм.

**В чвертому розділі** наведено конструктивно-технологічні рішення з вдосконалення процедури зведення полегшених плит, що унеможливають появу технологічних, і як наслідок, конструктивних недоліків та забезпечують необхідні параметри конструкції.

В першу чергу, розроблений склад самоущільнюваного бетону з розпливанням конусу 675мм, що забезпечує бетонування конструкцій з вкладишами в одну стадію без вібрування та технологічних розривів. Перевірка класу міцності запропонованого складу СУБ та його водонепроникності підтвердила відповідно класи C30/35 та W10.

Далі запропоноване нове конструктивне рішення пластикових фіксаторів для вкладишів, що унеможливають зміщення вкладишу від проектного

положення. Пропонується застосування швеллероподібних пластикових фіксаторів, конструкція яких передбачає установку вкладиша всередину фіксатора, при чому два сусідні фіксатори з'єднані між собою горизонтальним стрижнем для забезпечення необхідної проектної ширини ребра.

Розроблені конструктивно-технологічні рішення були експериментально верифіковані при бетонуванні плит перекриттів нежитлової будівлі по майдану Павлівському, 4 в м. Харкові. Для перевірки впливу початкового недоліку у вигляді горизонтального шва розриву, бетонування полегшеної плити виконано з перервою між бетонуванням нижньої обшивки та решти конструктиву на протязі трьох діб.

Для створення системи навантження на перекритті був влаштований резервуар розміром 5.2x6.2м. Максимальне розрахункове навантаження на перекриття склало  $9\text{кН/м}^2$ . Після завершення циклу ступінчастого навантаження до розрахункового значення, резервуар з водою був залишений на перекритті на 14 днів для відстеження динаміки деформування перекриття під навантаженням в часі, після чого виконане його повне розвантаження та демонтаж. Співставлення максимального прогину даної плити (5.15мм при навантаженні  $9\text{кН/м}^2$ ) та результатів чисельного аналізу полегшеної плити з суцільним швом розриву (4.35мм) отримано співпадіння вказаних даних з похибкою 15%.

У **п'ятому розділі** наведені результати впроваджені виконаних досліджень при проектуванні і будівництві ряду об'єктів в місті Харкові. Зокрема, при зведенні міжповерхових перекриттів і фундаментів нежитлової будівлі по майдану Павлівському, 4; при будівництві температурного шва багатоповерхового житлового будинку по вул. Сухумській, 11; при зведенні навісів багатофункціональної будівлі по Московському проспекту, 97, а також при варіантному проектуванні міжповерхових перекриттів житлового комплексу по вул. Ціліноградській. Інтегрально можна узагальнити отриманий економічний ефект до наступних показників: зменшення власної ваги, і як наслідку матеріаломісткості, на 30%; збільшення оборотності

опалубки на 10%; прискорення темпів будівництва на 10%, що загалом дозволяє досягти зменшення вартості зведення таких конструкцій на 12% у порівнянні із традиційними плитами перекриттів суцільного перетину.

**Ключові слова:** Захоронюваний вкладиш-пустотоутворювач, самоущільнюваний бетон, полегшені плити перекриттів, система «МОНОФАНТ».

### ABSTRACT

Nikulin V.B. Stress-strain state of light-type floor plates considering initial disadvantages. - On the rights of the manuscript.

The thesis for the degree of the candidate of technical sciences, specialty – building constructions, buildings and structures (19 - Architecture and construction). - Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2019.

**In the introduction**, the relevance of the dissertation topic is substantiated, the purpose and objectives of the study are stated, and the scientific hypothesis, novelty and practical significance of the obtained results are presented. Information about the validation of principal results of the dissertation, the number of publications, the composition and the volume of the work are also given.

**In Section One** it is noted that in recent decades the task of reducing material, labor and energy costs for the construction of buildings and structures is still relevant, which is associated with changes in state building codes and a significant increase in frame-monolithic construction. It is noted that in frame buildings 50-60% of the volume of concrete and reinforcement is concentrated in monolithic floor slabs. Achieve a significant reduction in the weight of slabs, reduce the cost of concrete and reinforcement, the weight of the whole building, and, consequently, reduce the load on the foundation of the building and the soil base is possible by introducing into the body of monolithic structures of various inserts.

In connection with the above, the first section analyzes the known architectural and construction systems and technologies for the erection of lightweight structures, which use as inserts-voidformers unified modules of recycled polypropylene and expanded polystyrene. The main advantages and disadvantages of these systems,

taking into account their design features and technological operations for the installation of floors, are considered. The differences of continuous monolithic floors and floors with voids in terms of the feasibility of their use in mass monolithic construction are also analyzed.

From the results of the analysis it follows that along with the decrease in the weight of structures, increasing heat and sound insulation characteristics of such structures, the use of lightweight floors leads to additional embedded parts and fasteners, which directly affects the construction technology, increases labor intensity and increases errors, which occurs in the conditions of a construction site. At present, Ukraine has accumulated some experience in the construction of buildings and structures using hollow polystyrene inserts, which allowed to outline a range of issues that need significant refinement, in particular, in terms of ensuring the accuracy of construction of structures with inserts and ensure their reliability and durability.

The analysis of known theoretical and experimental results, as well as available practical experience confirmed the fact that these structures are of great interest to the modern construction industry and, given their qualitative and quantitative content, allowed to formulate the main objectives of the work.

In this regard, in **Section Two**, on the basis of the architectural and construction system "Monofant", which provides concreting of all structures of the building, and the actual floors, with inserts-voidformers made of expanded polystyrene, formed a classification of possible initial disadvantages that adversely affect quality design characteristics. It is noted that the main advantage of the system "Monofant", in comparison with other known analogues, is the ability to create systems with a given stress-strain state (SSS) and material consumption. This circumstance became possible due to the use of a direct design approach based on the use of energy criteria for rationalization of the structure (the requirement to minimize the strain energy and the requirement of isoenergetic state of the system). These and other features of the system led to its detailed consideration in this thesis as the most progressive and promising in terms of mass use in the domestic construction industry.



As noted, in this section were examined and systematized the initial technological deviations that give rise to structural disadvantages of the discussed systems. In particular, in "Lira 10.6" software was performed a numerical analysis of the impact of these disadvantages on the stress-strain state of lightweight floors. In particular, based on the energy criteria of rationalization, the influence of the following deviations on the value of strain energy and strain energy density was investigated: displacement of inserts in plan and over the height of floor, reduction of concrete design class, appearance of horizontal seam due to concretion rupture. The results of the performed researches allowed to form tolerances for deviation of position of inserts and reinforcing products in the facilitated floor slabs.

Together with the given recommendations on possible values of deviations, in the **Section Three** were carried out the researches which allow to form the recommended parameters of the facilitated slabs on the criterion of set bearing capacity and minimization of expenses of materials.

In particular, the analysis of the interdependence of the stress-strain state of the considered structures on the size of the inserts-voidformers and their location under the condition of minimizing the consumption of concrete was performed. In total, five geometries of lightweight floor slabs differing in pitch and width of ribs were considered, and their finite-element modeling was performed in "Lira 10.6" Software with subsequent numerical analysis. In addition, the problem of optimal cutting of the original blank of the hollow sheet on the liner of the required size in order to minimize the waste of the filler material was done. According to the results of the research, it is determined that the recommended pitch of the ribs is 600 mm with a rib width of 100 mm and an insert size of 500x500 mm. These geometric parameters provide the highest load-bearing capacity of the structure, saving concrete at the level of 30% compared to a solid slab and the lowest percentage of waste material of the inserts (3.22%).

The analysis of fire resistance of a design of the facilitated slab of a real non-residential building for the purpose of definition of a class of fire resistance of the considered designs is executed. The conformity of the monolithic reinforced

concrete slab to a certain class of fire resistance is performed by sequentially solving the problems of assessing the thermal conductivity, integrity and bearing capacity of the slab and checking the results by an alternative method. According to the results of the research, the minimum thickness of the flanges of the lightweight slab is set to 50 mm, and provides the required limit of fire resistance REI90 for concrete class C20/25.

Additionally, the analysis of the possibility of reducing the thickness of the flange from the condition of ensuring its non-compression in operating conditions. However, the resulting reduction in the thickness of the flange to 30 mm is unacceptable in terms of ensuring the required limit of fire resistance of the structure, and therefore finally determined the minimum possible thickness of the flange of the lightweight slab equal to 50 mm.

In **Section Four** there were presented structural and technological solutions of improving the procedure for erection of lightweight slabs, which prevent the emergence of technological, and as a consequence, structural disadvantages and provide the necessary design parameters.

First of all, the composition of self-compacting concrete (SCC) with 675 mm cone spreading was developed, which provides concreting of structures with inserts in one stage without vibration and technological breaks. Checking the strength class of the proposed composition of the SCC and its water resistance confirmed respectively classes C30/35 and W10.

Next, a new design solution for plastic clamps for inserts, which prevents the displacement of the liner from the design position, was developed. It is proposed to use channel-like plastic clamps, the design of which provides the installation of the inserts inside the clamp, with two adjacent clamps connected by a horizontal rod to provide the required design width of the rib.

Developed design and technological solutions were experimentally verified during the concreting of slabs of non-residential building on the square Pavlovsky in Kharkov. To verify the impact of the initial defect in the form of a horizontal

seam, concreting of the lightweight slab was performed with a break between the concreting of the lower flange and the rest of the structure for three days.

A tank with dimensions 5.2x6.2 m was arranged to create a loading system on the floor. The maximum design load on the floor was 9 kN/m<sup>2</sup>. After completion of the step load cycle to the calculated value, the water tank was left on the floor for 14 days to monitor the dynamics of deformation of the floor under load over time, after which it is fully unloaded and dismantled. Comparison of the maximum deflection of this slab (5.15 mm under the load of 9 kN/m<sup>2</sup>) and the results of numerical analysis of the lightweight slab with a continuous seam (4.35 mm) obtained in numerical analysis gave the coincidence of these data with 15% error.

In **Section Five** the results of the implemented research in the design and construction of a number of facilities in the city of Kharkiv are presenter. In particular, during the construction of floor slabs and foundations of a non-residential building on 4 Pavlovsky Sq.; during the construction of the temperature seam of a multi-storey residential building on the 11 Sukhumskaya Str.; during the construction of canopies of a multifunctional building on 97 Moskovsky Avenue, as well as for the variant design of floor slabs of a residential complex on the Tsilinogradskaya Str. Integral it is possible to generalize the received economic effect to the following indicators: reduction of own weight, and as a consequence of material consumption, by 30%; increase in turnover of a timbering by 10%; acceleration of construction rates by 10%, which in general allows to achieve a reduction in the cost of erection of such structures by 12% compared to traditional slabs of solid cross-sections.

**Keywords:** inserts void-formers, self-compacting concrete, lightweight overlapping slabs, MONOFANT system.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Статті у наукових фахових виданнях України:*

1. Никулин В.Б. Принципы фиксации арматурных каркасов и вкладышей при устройстве облегченных конструкций. / В.Б. Никулин и др. Науковий вісник будівництва, Харків, 2015. Вип. 4 (82). С. 81-86. *Особистий внесок*: запропоновано конструктивне рішення фіксації вкладиша та арматурного каркасу в проектному положенні при бетонуванні вертикального та горизонтального елементів з вкладишами; сплановано натурний лабораторний експеримент по бетонуванню вертикального та горизонтального елементів з вкладишами-пустотоутворювачами.

2. Никулин В.Б., Ямковая Т.И. Применение самоуплотняющихся бетонов для строительства и ремонта железобетонных конструкций. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Збірник наукових праць Луцького національного технічного університету. Луцьк, 2015. Вип. 3. С. 251-260. *Особистий внесок*: запропоновано конструктивно-технологічні рішення з бетонування конструкцій з вкладишами за допомогою самоущільнюваного бетону.

3. Никулин В.Б. Система «Монофант» для возведения монолитных железобетонных каркасов / В.Б. Никулин и др. Вісник ХНАДУ. Харьков, 2015. Вып. 71. С. 70-84. *Особистий внесок*: запропоновано організаційно-технологічні та конструктивні рішення для зведення прямолінійних елементів системи «Монофант».

### *Статті у міжнародних виданнях та збірниках наукових праць, що включені до міжнародних наукометричних баз:*

4. Nikulin, V. Highly Combinatorial Reinforced Concrete Slab System / V. Nikulin and others. Proceedings of CEE 2020: Advances in Resource-saving Technologies and Materials in Civil and Environmental Engineering. 2020. Pp. 411-419. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus).

*Особистий внесок:* вирішене завдання оптимального розкроювання вкладишів заданої форми із стандартної заготовки листа пінополістиролу.

5. Нікулін В.Б. Оцінка впливу розриву в бетонуванні плити перекриття системи «МОНОФАНТ» на її напружено-деформований стан. / В.Б. Нікулін та ін. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. Вип. 185. Харків, 2019. С. 61-70. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus). *Особистий внесок:* проаналізовано вплив наявності шва розриву в бетонуванні пустотілої плити перекриття на напружено-деформований стан системи та запропоновані конструктивні і технологічні заходи для забезпечення необхідної адгезії.

***Публікації апробаційного характеру:***

6. Nikulin V. Variant design of the concrete frame structures (weight-strength analysis) / Nikulin V. and others. Proceedings of the fib Symposium 2019: Concrete - Innovations in Materials, Design and Structures. Krakow, 2019. Pp. 929-936. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus). *Особистий внесок:* запропоновано конструктивні рішення плити перекриття житлової будівлі з вкладишами-пустотоутворювачами та виконано аналіз результатів скінченно-елементного моделювання запропонованих конструктивів в ПК «Ліра».

7. Nikulin V. Basics of modeling and technology of creating reinforced concrete elements of “Monofant” system construction / V. Nikulin and others. MATEC Web of Conferences. Material science, Engineering and Chemistry, v. 116, 02009 (2017). Transbud-2017. (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus). *Особистий внесок:* розробка конструктивного рішення арматурного каркасу криволінійної пустотілої оболонки та заповнення його вкладишами-пустотоутворювачами, реалізація рішення на будівельному майданчику.

8. Никулин В.Б. Усовершенствование технологии устройства облегченных железобетонных конструкций / В.Б. Никулин и др. Ресурс і

безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд: матеріали VII Міжнародної наукової конференції. Харків, 2015. С. 168-170.

9. Никулин В.Б., С.А. Бугаевский. Применение самоуплотняющегося бетона в технологии устройства железобетонных перекрытий. Эффективные технологические решения в строительстве с использованием бетонов нового поколения: материалы Международной научно-практической конференции. Харків, 2015. С. 115-121.

10. Никулин В.Б. Основы моделирования и технология создания железобетонных элементов конструкции системы «Монофант» / В.Б. Никулин и др. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: тези доповідей VI-ї міжнародної науково-технічної конференції. Харків: УДУЗТ, 19-21 квітня 2017. С. 106-107.

11. Никулин В.Б. Полевые исследования взаимодействия фундаментов с вырезами по подошве с грунтовым основанием. / В.Б. Никулин и др. Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 23-24 квітня 2014 р. Харків, 2014. С. 69-70.

12. Никулин В.Б. Мониторинг и анализ осадок многоэтажных зданий на свайно-плитных фундаментах в г. Харькове. / В.Б. Никулин и др. Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд: тези за матеріалами VII міжнародної наукової конференції, 20-21 жовтня 2015 р. Харків, 2015.

13. Нікулін В.Б., Табачников С.В. С. Анализ результатов мониторингу осадань багатоповерхових будівель на пальово-плитних фундаментах. Challenges in Geotechnical Engineering: праці Другої Міжнародної конференції. Київ: КНУБА, 2017. С. 52-53.

#### *Додаткові публікації та патенти:*

14. Никулин В.Б. Влияние качественного и количественного состава компонентов бетона на технологические свойства самоуплотняющейся бетонной смеси / В.Б. Никулин и др. Ресурсоекономні матеріали, конструкції,

будівлі та споруди. Збірник наукових праць Національного університету водного господарства та природокористування. Рівне, 2015. Вип. 31. С. 168-175. *Особистий внесок*: виконано підбір гранулометричного складу самоущільнюваного бетону та підготовлено набір обладнання для визначення технологічних властивостей бетонної суміші.

15. Nikulin V. Cast Reinforced Concrete Frame of Buildings and Methods of Its Erection. / V. Nikulin and others. Journal of Civil Engineering and Construction. Volume 5. Number 2. 2016. Pp. 143-156. *Особистий внесок*: шляхом виконання лабораторного експерименту виконано оцінку спливання вкладиша-пустотоутворювача при бетонуванні конструкцій самоущільнюваним бетоном та запропоновано рішення для привантаження вкладишів при виконанні бетонних робіт.

16. Нікулін В.Б. Спосіб монтажу опалубки для зведення збірно-монолітних перекриттів. / В.Б. Нікулін та ін. Патент України на винахід № 115707 С2. Чинний з 11.12.2017 р. Бюл. №23. *Особистий внесок*: запропоновано удосконалення способу монтажу опалубки за рахунок застосування модульних елементів.

17. Нікулін В.Б. Конструкція покрівельного покриття. / В.Б. Нікулін та ін. Патент України на корисну модель № 108201. Чинний з 11.07.2016 р. №13.

*Особистий внесок*: запропоновано конструкцію покрівельного покриття, що забезпечує зменшення кількості конструктивних елементів, зниження трудомісткості будівельно-монтажних робіт і вартості зведення та експлуатації, а також підвищення довговічності конструкції.

18. Нікулін В.Б. Вузол кріплення стіни або перегородки до залізобетонної колони. / В.Б. Нікулін та ін. Патент України на корисну модель № 108231. Чинний з 11.07.2016 р. Бюл. №13. *Особистий внесок*: запропонований вузол кріплення стіни з газобетонних блоків до залізобетонної колони спільно з непрямым армуванням у вигляді смуги із

просічно-витяжної сталі, що покращує властивості кладки і збільшує зчеплення з вузлом кріплення у шві.

19. Нікулін В.Б. Опалубка для зведення збірно-монолітних перекриттів. / В.Б. Нікулін та ін. Патент України на корисну модель № 109446. Чинний з 25.08.2016 р. Бюл. №16. *Особистий внесок*: запропонована опалубка, що передбачає застосування модульних елементів для полегшення технології її монтажу і демонтажу при зведенні збірно-монолітних перекриттів житлових будинків з безригельним монолітним каркасом.

20. Нікулін В.Б. Збірно-монолітний залізобетонний каркас будівлі «Житлобуд». / В.Б. Нікулін та ін. Патент України на корисну модель № 115884. Чинний з 25.04.2017 р. Бюл. №08. *Особистий внесок*: запропоновано рішення збірно-монолітного каркасу будівлі, що дозволяє знизити його питому вагу до 20 % у порівнянні з монолітним безригельним каркасом.

21. Нікулін В.Б. Спосіб зведення збірно-монолітного залізобетонного каркасу будівлі «Житлобуд». / В.Б. Нікулін та ін. Патент України на корисну модель № 115885. Чинний з 25.04.2017 р. Бюл. №08. *Особистий внесок*: запропоновано спосіб зведення збірно-монолітного залізобетонного каркасу будівлі «Житлобуд», який дозволяє зменшити питому вагу будівлі до 20 % (у порівнянні з монолітним безригельним каркасом будівлі, висотою до 16 поверхів), скоротити терміни будівництва - до 30 % , до 35 % зменшити собівартість каркаса і до 15 % знизити вартість будівлі в цілому.

22. Никулин В.Б. Система «Монофант» для возведения монолитных железобетонных каркасов / В.Б. Никулин и др. Вестник ХНАДУ. Харьков, 2015. Вып. 71. С. 70-84. *Особистий внесок*: запропоновано організаційно-технологічні та конструктивні рішення для зведення прямолінійних елементів системи «Монофант».



## ЗМІСТ

ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ПОЛЕГШЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	25
1.1 Основні технології зведення полегшених горизонтальних конструкцій.....	25
1.2 Оцінка доцільності застосування захоронюваних вкладишів-пустотоутворювачів при зведенні полегшених залізобетонних конструкцій.....	33
1.3 Аналіз досліджень, присвячених питанням зведення полегшених конструкцій.....	39
1.4 Аналіз існуючого досвіду зведення конструкцій з пустотоутворювачами.....	42
1.5 Короткі висновки і завдання даного дослідження.....	46
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТІВ СИСТЕМИ «МОНОФАНТ» З УРАХУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВІДХИЛЕНЬ.....	48
2.1 Принципи формування топології конструкції.....	48
2.2 Оцінка впливу зрушень вкладиша-пустотоутворювача на напружено-деформований стан полегшеного перекриття.....	56
2.3 Дослідження можливості пониження проектного класу бетону при влаштуванні перекриттів.....	66
2.4 Оцінка впливу розриву в бетонуванні конструкції на її напружено-деформований стан.....	71
2.5 Висновки до Розділу 2.....	81
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТІВ СИСТЕМИ «МОНОФАНТ» В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЇХ КОНСТРУКТИВНОГО ВИКОНАННЯ.....	83
3.1 Дослідження впливу розмірів та розташування вкладишів на напружено-деформований стан плити перекриття.....	83
3.2 Визначення оптимального розкроювання вкладишів-пустотоутворювачів.....	91
3.3 Оцінка класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття....	103
3.3.1 Вихідні дані.....	104
3.3.2 Впливи на залізобетонну плиту при пожежі.....	106
3.3.3 Механічні властивості бетону та арматурної сталі.....	107
3.3.4 Результати теплотехнічного розрахунку.....	109
3.3.5 Результати розрахунку цілісності.....	109

3.3.6	Результати розрахунку несучої здатності.....	110
3.3.7	Перевірка результатів розрахунку при застосуванні альтернативного методу.....	114
3.3.8	Оцінка класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття та відповідності її вимогам будівельних норм.....	115
3.4	Оцінка можливості продавлювання обшивки полегшеного перекриття.....	115
3.5	Висновки до Розділу 3.....	121
РОЗДІЛ 4.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ВЕРИФІКАЦІЯ ВДОСКОНАЛЕНИХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПОЛЕГШЕНИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТІВ.....	123
4.1	Вдосконалення конструктивно-технологічних рішень полегшених плит.....	123
4.2	Експериментальна верифікація конструктивного рішення при дії гідростатичного навантаження.....	136
4.2.1	Процедура випробувань.....	137
4.2.2	Системи навантаження та вимірювання.....	140
4.2.3	Результати гідравлічних випробувань.....	143
4.3	Висновки до Розділу 4.....	146
РОЗДІЛ 5.	ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	147
5.1	Опис об'єктів впровадження.....	148
5.1.1	Реабілітація нежитлової будівлі по майдану Павлівському, 4 в м. Харкові – реставрація.....	148
5.1.2	Житловий комплекс «Будинок з ротондами» по вул. Сухумській, 11 в м. Харкові.....	154
5.1.3	Житловий комплекс «ДУЕТ» по вул. Цілиноградській, 2 в м. Харкові (варіантне проектування).....	160
5.2	Висновки до Розділу 5.....	164
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....		165
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		167
ДОДАТКИ		
ДОДАТОК А.	Перелік публікацій здобувача.....	184
ДОДАТОК Б.	Ізополя компонентів напружено-деформованого стану плит перекриття з вкладишами при варіюванні розмірів пустотоутворювачів.....	188
ДОДАТОК В.	Варіанти розкладки вкладишів при вирішенні завдання оптимального розкроювання.....	214

ДОДАТОК Г. Результати визначення відсотку відходів пінополістриролу при розкроюванні вкладишів.....	221
ДОДАТОК Д. Результати визначення сил продавлювання .....	230
ДОДАТОК Є. Графіки визначення граничної сили продавлювання для різних класів бетону.....	234
ДОДАТОК Ж. Результати досліджень складу самоущільнюваної бетонної суміші.....	239
ДОДАТОК І. Кошториси на влаштування перекриття нежитлової будівлі по майдану Павлівському, 4 в м. Харкові.....	246
ДОДАТОК К. Кошториси на влаштування перекриття адмінкорпусу по вул. Цілиноградській в м.Харкові (варіантне проектування).....	249
ДОДАТОК Л. Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження.....	257

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Протягом останніх десятиліть актуальною залишається задача зниження матеріальних, трудових і енергетичних витрат на зведення будівель і споруд. В даний час, актуалізувалося також питання екологічності прийнятих конструктивних і технологічних рішень, зважаючи на істотне зростання обсягів каркасно-монолітного будівництва.

Як приклад, слід зазначити, що в каркасних будівлях 55 ... 60% обсягу бетону та арматури сконцентровано в монолітних плитах перекриття. Введення в тіло монолітних плит перекриття вкладишів-пустотоутворювачів призводить до зниження власної ваги плит, зменшення витрат бетону і арматури, ваги всієї будівлі до 30% і, відповідно, до зниження навантаження на фундамент.

Однак, істотний ефект в зниженні витрат бетону і арматури може бути негативно знівельований в зв'язку з появою додаткових витрат на виготовлення вкладишів, і як наслідок - підвищенням витрат праці [12] на влаштування перекриттів і збільшенням тривалості їх зведення. Використання легких вкладишів призводить до появи додаткових закладних деталей і елементів кріплення - все це відображається на технології зведення, збільшує трудомісткість і вартість робіт. Крім того, особливість технологічного процесу зведення полегшених плит породжує виникнення різного роду технологічних відхилень, що, в свою чергу, призводять до появи таких конструктивних недоліків, як виродження ребер, зменшення захисних шарів бетону в обшивках або взагалі виродження обшивок, та ін. У зв'язку з чим, актуальною вбачається задача оцінки впливу даних недоліків на напружено-деформований стан конструктиву та формування можливих допусків на відхилення від проектного положення закладних елементів конструкції.

В даний час в Україні накопичено певний позитивний досвід зведення будівель і споруд з використанням вкладишів-пустотоутворювачів з пінополістиролу, що дозволив підтвердити доцільність та ефективність їх

використання. У зв'язку з чим, аналіз впливу початкових недоліків бетонування при зведенні полегшених плит на напружено-деформований стан системи в цілому та вдосконалення конструктивно-технологічних рішень плит з пустотоутворювачами вбачається актуальним та своєчасним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота є частиною досліджень, які виконуються в рамках функціонування наукової школи «Конструкції і матеріали для житлових і громадських будівель» Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, а також держбюджетної теми «Розробка та дослідження нової конструктивної системи багатокритеріальної відповідності» (№0115U000154).

**Метою дисертаційної роботи** є аналіз напружено-деформованого стану (НДС) полегшених плит перекриттів з урахуванням початкових недоліків та вдосконалення їх конструктивно-технологічних рішень.

**Наукова гіпотеза** – створення конкурентоспроможних та ефективних конструктивних систем перекриттів, що відрізняються сучасним технологічним забезпеченням.

**Поставлена мета передбачає вирішення наступних завдань:**

1. аналіз конструктивних рішень полегшених залізобетонних плит та вибір ефективної системи за критерієм мінімізації витрат матеріалів при заданій несучій здатності;
2. класифікація технологічних відхилень при зведенні полегшених плит, що породжують конструктивні недосконалості конструкції; оцінка їх впливу на напружено-деформований стан системи в цілому та формулювання можливих допусків на відхилення;
3. вивчення особливостей напружено-деформованого стану полегшених плит перекриттів при аномальних впливах;
4. вдосконалення конструктивно-технологічних рішень зведення полегшених плит перекриття з метою мінімізації впливу початкових недоліків;
5. експериментальна верифікація запропонованих конструктивно-технологічних рішень, які мінімізують початкові недоліки;

б. оцінка техніко-економічної ефективності запропонованих конструктивно-технологічних рішень.

**Об'єкт дослідження** – напружено-деформований стан ефективної монолітної залізобетонної плити перекриття полегшеного типу з пінополістирольними вкладишами-пустотоутворювачами та початковими недоліками.

**Предмет дослідження** – вплив початкових недоліків на компоненти напружено-деформованого стану об'єкту дослідження.

**Методи дослідження.** У роботі використані аналітичні та чисельні методи механіки деформованого твердого тіла, в тому числі, метод скінченних елементів. Побудову конструктивних рішень реалізовано на основі експлуатації алгоритмів, що реалізують управління якісними і кількісними характеристиками НДС конструкцій, а також процедур вибору їх раціональних параметрів. Експериментальне дослідження полегшеної плити перекриття проведено за допомогою методу гідростатичного навантаження та з використанням елементів автоматизованої системи наукових досліджень, що базується на сучасному технічному та інформаційному забезпеченні.

**Наукову новизну отриманих результатів** визначають:

*вперше:*

- вивчено та систематизовано початкові технологічні відхилення при зведенні залізобетонних плит з вкладишами з пінополістиролу;

- виконано оцінку впливу деструктурованої топології конструкції на компоненти напружено-деформованого стану плит перекриттів та сформовано допуски на відхилення положення вкладишів і арматурних виробів;

- виконано експериментальне натурне дослідження напружено-деформованого стану полегшеної плити з початковими недоліками у вигляді горизонтального шва розриву бетонування.

*Набуло подальшого розвитку:*

- підбір складу самоущільнюваного бетону з розпливанням 650мм для забезпечення одностадійного зведення полегшених залізобетонних перекриттів;

- визначення раціональної геометрії конструктиву з вкладишами за умови мінімізації витрат бетону та полістиролу.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в розроблених конструктивних, технологічних і організаційних рішеннях, що підвищують ефективність зведення полегшених залізобетонних конструкцій, та у впровадженні рекомендацій у реальне будівництво.

Основні результати дослідження впроваджені при зведенні полегшених конструкцій в м. Харкові: плит перекриттів та фундаментів нежитлової будівлі по майдану Павлівському, 4; бетонуванні температурних швів житлової будівлі по вул. Сухумській, 11; зведенні навісів багатофункціонального комплексу по Московському проспекту, 97, а також при варіантному проектуванні житлової будівлі по вул. Цілиноградській, 2. Інтегрально, економічний ефект від застосування розроблених рішень склав 12-15% для перелічених об'єктів у порівнянні із застосуванням традиційних суцільних монолітних залізобетонних конструктивів.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Окремі положення досліджень виконані у співавторстві, що відображено в списку наукових публікацій [58-61, 119-120].

**Апробація матеріалів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідалися та одержали позитивні оцінки на міжнародних науково-практичних конференціях: Міжнародна науково-практична конференція «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві», Харків (23-24 квітня 2014 р.); VII Міжнародна наукова конференція «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд», Харків (20-21 жовтня 2015р.); Міжнародна науково-практична конференція «Ефективні технологічні рішення в будівництві з використанням бетонів нового покоління», Харків (2015); VI-а міжнародна науково-технічна

конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті», Харків, УДУЗТ (19-21 квітня 2017р.); II Міжнародна конференція «Challenges in Geotechnical Engineering», Київ, КНУБА (20-23 листопада 2017р.); FIB Symposium 2019: Concrete - Innovations in Materials, Design and Structures, Krakow, Poland (26-28 May, 2019).

**Публікації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковані в 10 наукових працях, з яких: 4 статті у наукових фахових виданнях, рекомендованих МОН України, в тому числі 1 – у виданні, що включене до міжнародної наукометричної бази; 1 публікація у міжнародному періодичному виданні, що включена до міжнародної наукометричної бази Scopus; 2 публікації апробаційного характеру, що включені до міжнародної наукометричної бази Scopus; 2 додаткові публікації; 1 патент України на винахід.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел зі 134 найменувань та 10 додатків. Повний обсяг дисертації складає 260 сторінок, у тому числі 183 сторінки основного тексту.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абовский Н.П., Енджиевский Л.В., Савченков В.И., Деруга А.П., Рейтман М.И. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости. – М. : Стройиздат, 1978. 189 с.
2. Адлер Ю.П., Е.В.Макарова, Ю.В.Грановский. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : изд-во "Наука", 1976. 279 с
3. Артюх В.Г., Санніков І.В. Досвід проектування та будівництва монолітних залізобетонних плит з циліндричними порожнинами в перекриттях цивільних будинків. *Будівництво України, 2007. №4. С. 13 – 15.*
4. Артюх В.Г., Тонкачев Г.Н. Практика проектирования и устройства монолитных многопустотных плит перекрытий. *Современное промышленное и гражданское строительство. ДНАСА, Макеевка, 2005. Том 1, №1. С. 5–11.*
5. Атаев С. С. Технология индустриального строительства из монолитного бетона. М. : Стройиздат, 1989. 336 с.
6. Афанасьев А.А. Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона. М. : Стройиздат, 1990. 384 с.
7. Афанасьев А. А. Интенсификация работ при возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона. М. : Стройиздат, 1990. 384 с.
8. Бабаев В.М., Бамбура А.М., Пустовойтова О.М., Резнік П.А., Стоянов Є.Г., Шмуклер В.С. Практичний розрахунок елементів залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6.-98:2009 у порівнянні з розрахунками за СНІП 2.03.01-84 і EN 1992-1-1 (Eurocod 2) / за заг.ред. В.С. Шмуклера. Харків: Золоті сторінки, 2015. 208 с.
9. Бабаев В.Н., Шмуклер В.С. Эффективная система облегченных железобетонных элементов. «Бетон и железобетон – взгляд в будущее», Научные труды III Всероссийской (II международной) конференции по бетону и железобетону, Том 2. Москва: МГСУ, 2014. С. 346–356.

10. Бабаєв В.М., Бугаєвський С., Евель 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. *Київ, "Сталь", 2017. 404с.*

11. Бабич Є.М., Павліков А.М., Микитенко С.М. Безкапітально-безбалкові конструктивні системи для будівель доступного житла: конструктивні особливості, умовності розрахунків, пропозиції з удосконалення. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди.* Вип. 29, 2014. С. 451–460.

12. Балова Е. Ф., Бекерман Р.С., Евтушенко Н.Н. Нормирование труда рабочих в строительстве / под ред. Е. Ф. Баловой. М.: Стройиздат, 1985. 440 с.

13. Бамбура А.М., Павліков А.М., Зоценко М.Л., Тимошенко С.А. Індустріальна безкапітально-безбалкова конструктивна система і нові конструктивно-технологічні рішення основ і фундаментів на основі сучасних будівельних матеріалів для зведення доступного житла та об'єктів інфраструктури. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту.* Вип. 155, 2015. С. 53–61.

14. Банах В. А., Гребенюк О.В., Фостащенко О.М. Урахування деформованого стану плит перекриттів, балконів та лоджій при моделюванні та розрахунках будівель у складних інженерно-геологічних умовах. *Містобудування та територіальне планування.* Вип. 39, 2011. С. 13–18.

15. Белоконь А.И. Организационно-технологические аспекты обоснования качественного и количественного состава строительных машин для реконструкции [текст]: Дис... д-ра техн. наук: 08.06.01 / Белоконь Анатолий Иванович, Приднепровская гос. академия строительства и архитектуры. Д., 1997. 380 с.

16. Бережная Е.В., Стебловский И.А., Помазан М.Д., Заика В.Е. Натурные испытания эффективного железобетонного перекрытия. *Науковий вісник будівництва: ХДТУБА, ХОТВ АБУ.* Вип. 66, 2011. С. 145–151.

17. Бережная Е.В. Экспериментальные исследования эффективных плит перекрытия. *Коммунальное хозяйство городов*. Вип. 18. К.: Техника, 1999. С. 55–62.
18. Болотских О. Н. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика. *Технологии бетонов*. Вип. 10. 2008. С. 28–31.
19. Бугаевский С. А., Бормот Е.В., Бережная К.С. Влияние точности укладки вкладышей на НДС перекрытия системы "Монофант". *Науковий вісник будівництва*. № 3, 2016. С. 92–98.
20. Бугаевский С.А. Современные облегченные железобетонные перекрытия с применением неизвлекаемых вкладышей-пустотообразователей. *Науковий вісник будівництва*, Харків: ХНУБА ХОТВ АБУ. № 3, 2015. С. 73–87.
21. Бугаевский С.А., Гапонова Л.В. Современные технологии получения облегченных железобетонных конструкций. *Матеріали IV Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Будівництво, реконструкція і відновлення будівель міського господарства»*. Харків, 2014. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/37508/> (дата звернення: 15.10.2020).
22. Будников М.С., Обозный А.П., Технология и организация возведения зданий и сооружений. Киев: Будивельник, 1964. 304с.
23. Бунаков П. Алгоритм оптимального раскроя материалов для автоматизированного производства. *САПР и графика*, №11, 2007. С. 74–77.
24. Васильков Г.В. Эволюционные задачи строительной механики. Синергетическая парадигма: Учебное пособие. Ростов-на-Дону: Инфосервис, 2003. 180 с.
25. Вознюк Л.І. Несуча здатність та деформативність багатошарових плит перекриття [текст]: дис... канд. техн. наук: 05.23.01 / Вознюк Леонід Іванович; Національний університет "Львівська політехніка", Міністерство освіти і науки України. Львів, 2018. 190с.
26. Гапонова Л.В., Гребенчук С.С., Резнік П.А. Оцінка вогнестійкості конструктивно-анізотропної залізобетонної плити. *Міжвідомчий науково-*

*технічний збірник (технічні науки) «Будівельне виробництво»*. Київ, 2017. №62/1. С57–63.

27. Головка Д.В. Напряженно-деформируемое состояние сталебетонных пустотных плит перекрытия [текст]: дис... канд. техн. наук: 05.23.01. / Головка Денис Влаерьевич; Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Министерство образования и науки Украины. Харьков, 2015. 156с.

28. Гончаренко Д.Ф. Исследование влияния точности изготовления и монтажа сборных железобетонных конструкций на эффективность возведения многоэтажных каркасных зданий: автореф. дис...к. т. наук: 05. 23. 08 / Гончаренко Дмитрий Федорович; НИИСП Госстроя УССР, 1981. 20 с.

29. Гончаренко Д.Ф., Карпенко Ю.В., Меєрсдорф К.І. Точність – як показник статичної однорідності і стабільності технологічного процесу зведення висотних каркасно-монолітних будівників. *Журнал «Будівництво України»*. 2007, №7. С. 35–40.

30. Городецкий Д. А., Барабаш М. С. и др. Программный комплекс Лира: учеб. пособие / под ред. академика РААСН А. С. Городецкого. Киев–Москва, 2013. 376 с.

31. Городецкий А.С., Евзеров И.Д., Стрелец-Стрелецкий Е.Б. Метод конечных элементов: теория и численная реализация. Программный комплекс «Лира-Windows». К.: Факт, 1997. 137 с.

32. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування [Чинний від 2011-06-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 71с. (Державні будівельні норми України).

33. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ – [Чинний від 2009-12-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 48 с. (Державні будівельні норми України).

34. ДБН А.3.1-5-2016. Організація будівельного виробництва. [Чинний від 2017-01-01]. К., Мінрегіонбуд України, 2016. 51 с. (Державні будівельні норми України).
35. ДБН В.1.1.7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2017. 39 с. (Державні будівельні норми України).
36. ДБН В.2.3-20-2008. Споруди транспорту. Мости та труби. Виконання та приймання робіт. [Чинний від 2008-08-01]. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-155> (дата звернення: 04.09.2019).
37. Демчина Б.Г., Рутковська І.З, Вознюк Л.І. Особливості розрахунку багат шарових плит перекриття на ПК «ЛІРА». *Сучасне промислове та цивільне будівництво*, №4, 2009. с. 179–185.
38. Дорофеев В. С., Карпюк В. М, Албу К. І., Сьоміна Ю. А. Міцність та тріщиностійкість залізобетонних балкових конструкцій за дії малоциклових знакопостійних і знаковмінних навантажень високих рівнів. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. Вип. 10, 2016. С. 13–26. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtt dp\\_2016\\_10\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtt dp_2016_10_4) (дата звернення: 15.10.2020).
39. Дорофеев В. С., Барабаш І.В., Быстревский К.С. Самоуплотняющийся бетон с добавкой молотого гидратированного цемента на механоактивированном вяжущем. *Будівельні матеріали та виробу*. №5, 2013. С. 30–31.
40. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний від 2011-06-01]. Київ, Мінрегіонбуд України, 2011. 123с. (Національний стандарт України).
41. Евстафьев В.И. Облегченные многослойные перекрытия для архитектурно-строительных систем с широким шагом несущих конструкций [текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Евстафьев Вадим Иванович;

Украинский зональный научно-исследовательский и проектный ин-т по гражданскому строительству (ОАО КиевЗНИИЭП). К., 2004. 189 с.

42. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. М., «Наука», 1976. 390 с.

43. Калмиков О.О. Тонкостінні залізобетонні конструкції, взаємодіючі із сипучим [текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Калмиков Олег Олександрович; Харків. нац. ун-т буд-ва та архітектури. Харків, 2015. 210 с.

44. Карпюк В.М., Дорофєєв В.С., Петров О.М., Петров М.М. Розрахунок міцності просторових перерізів прогінних залізобетонних конструкцій при їх згині з крученням за удосконаленою інженерною методологією. *Наука та будівництво*, №4. 2018. С. 18–27.

45. Клімов Ю. А. Експериментальні дослідження міцності згинальних елементів з композитною склопластиковою арматурою. *Будівельні конструкції: теорія і практика*, Вип. 2, 2018. С. 179–184.

46. Клованич С.Ф. Мироненко И.Н. Метод конечных элементов в механике железобетона. Одесса: ОНМУ, 2007. 110 с.

47. Ковальський Л.Н., Поляков Г.П., Санников И.В. Методические рекомендации по проектированию монолитных перекрытий с пустотами для гражданских зданий. К.: ООО «АК ИНЖИНИРИНГ», 2007. 34 с.

48. Колчеданцев Л. М. Интенсификация бетонных работ в условиях массового строительства. *Бетон и железобетон*, № 6, 1994. С. 18–21.

49. Колякова В.М., Божинський М.О., Фесенко О.А. Розподіл температури в перерізі залізобетонної плити. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: Збірник наукових праць*, Луцьк: НТУ, Вип. 5, 2016. с. 232–239.

50. Колякова В.М., Божинський М.О. Розрахунково-теоретичні дослідження розподілу температури в перерізі залізобетонної конструкції східчастих складок. *Будівельні конструкції. Теорія і практика: Наук.-техн. збірник*. К., КНУБА, Вип. 1. 2017. С.149–157.

51. Колякова В.М., Кріпак В.Д., Скопец В. Методи розрахунку залізобетонних монолітних перекриттів з порожнистими вкладишами. *Будівельні конструкції. Теорія і практика: Наук.-техн. збірник*. К., КНУБА, Вип. 5, 2019. С.15–23.
52. Королев А.Н., Крылов С.М. Способ расчета прогибов железобетонных плит опертых по контуру и безбалочных перекрытий при действии кратковременной нагрузки. *Исследование прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных конструкций. Труды ин-та НИИЖБ*, Вып. 26, 1962. С. 59–199.
53. Красный Д.Ю., Красный Ю.М. Обеспечение качества при возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона. Екатеринбург: «Центр качества строительства», 2003. 448 с.
54. Лантух-Лященко А. И. Вероятностная оценка ресурса железобетонных элементов. *Промислове будівництво та інженерні споруди*, № 3, 2019. С. 13–17.
55. Лантух-Лященко А.И. Лира. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций: Учебное пособие. К. – М., 2001. 312с.
56. Мельник І.В., Сорохтей В.М. Конструювання плоских монолітних залізобетонних перекриттів з використанням ефективних вставок різних форм. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/10537/1/32.pdf>. (дата звернення: 15.10.2020).
57. Мягков Л.Л., Чирский С.П. Реализация топологической оптимизации методом beso в среде ANSYS APDL и ее применение для оптимизации формы шатуна тепловозного дизеля. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. №11 (704), 2018. С. 38–48.
58. Никулин В.Б., Шмуклер В.С., Бугаевский С.А. Принципы фиксации арматурных каркасов и вкладышей при устройстве облегченных конструкций. *Науковий вісник будівництва*, Харків, 2015. Вип. 4 (82). С. 81–86.

59. Никулин В.Б., Шмуклер В.С., Ямковая Т.И., Бугаевский С.А. Применение самоуплотняющихся бетонов для строительства и ремонта железобетонных конструкций. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Збірник наукових праць Луцького національного технічного університету*. Луцьк, 2015. Вип. 3. С. 251–260.
60. Никулин В.Б., Шмуклер В.С., Бугаевский С.А. Система «Монофант» для возведения монолитных железобетонных каркасов. *Вестник ХНАДУ*. Харьков, 2015. Вып. 71. С. 70–84.
61. Нікулін В.Б., Шмуклер В.С., Петрова О.О., Резнік П.А., Богомаз М.Ю., Місюра М.В. Оцінка впливу розриву в бетонуванні плити перекриття системи «МОНОФАНТ» на її напружено-деформований стан. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. Вип. 185. Харків, 2019. С. 61–70.
62. Оганесян П., Шевцов С. Оптимизация топологии конструкций в пакете ABAQUS. *Известия самарского научного центра Российской академии наук*, том 16, №6(2), 2014. С. 543–549.
63. Панченко Н. В., Савицкий Н. В., Зезюков Д.М. Технико-экономические характеристики конструктивных систем многоэтажных жилых зданий. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Стародубовские чтения*. Вып. 64, 2012. С. 371–378.
64. Патент 11742 Україна, МПК8 Е 04 G 23/00. Спосіб улаштування збірно-монолітного залізобетонного перекриття / Магала В. С., Рабіч О. В., Савицький М. В., Швець М. А.; заявник та власник Придніпровська державна академія будівництва та архітектури. – № 200505127 ; заявл. 30.05.2005 ; публ. 16.01.2006.
65. Патент 24122 Україна, МПК8 Е 04 В 5/00. Спосіб улаштування збірно-монолітного залізобетонного перекриття / Куліченко І. І., Чернець В. А., Магала В. С., Рабіч О. В., Савицький М. В., Чумак Ю. Г.; заявник та власник Придніпровська державна академія будівництва та архітектури. – № 200612819 ; заявл. 04.12.2006 ; публ. 25.06.2007.



66. Патент 44125 Україна, МПК G01M 19/00 G01N 3/00 G01M 5/00 (2009) / Устройство для натуральных испытаний плит и оболочек. / Шмуклер В.С., Чупрынин А.А., Аббаси Р. // заявитель и патентообладатель Шмуклер В.С.; №u200901598; заявл. 24.02.2009; опубл. 25.09.2009, Бюл. №18. – 4 с.
67. Патент 89464 Україна, 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., Сеїрські І.М.; заявник і патентовласник Шмуклер В.С. - №u201311919; заявл. 10.10.2013; публ. 25.04.2014, Бюл. №8.
68. Поздеев С.В., Отрош Ю.А., Демешок В.В., Федченко І.В. Розрахунковий метод оцінки вогнестійкості плити перекриття. Промислове будівництво та інженерні споруди. № 2. 2016. С. 28–33. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pbis\\_2016\\_2\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pbis_2016_2_6). (last accessed: 15.10.2020).
69. Помазан М. Д. Удосконалення технології улаштування полегшених залізобетонних перекриттів / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук; 05.23.08 - технологія та організація промислового та цивільного будівництва. // - Х. : Стиль-издат, 2013. - 22 с.
70. Речинский А. В., Стрелец К. И. Повышение квалификации по проектированию и строительству особо опасных, технически сложных и уникальных объектов. Строительство уникальных зданий и сооружений, № 1. 2012. С. 73–75.
71. Розенплентер А.Э., Сычев В.С., Чернышев С.П., Шур И.С. Основы технико-экономического анализа инженерных решений [учебное пособие для студентов вузов] / под ред. А.Э. Розенплентера. К.: Выща школа, 1989. 126 с.
72. Ромашко В.М., Ромашко О.В. Основні положення загальної теорії деформування залізобетонних елементів і конструкцій. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Вип. 75, 2019. С. 61–69.
73. Савицкий Н.В., Панченко Н.В., Чумак Ю.Г., Медгауз Б.А., Чернец В.А. Эффективная конструктивно-технологическая система для строительства доступного жилья. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*.

*Серия: Создание высокотехнологических экокомплексов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития.* Вып. 68, 2013. С. 355–357.

74. Савицький М.В., Фролов М.В. Великопрольотні балкові клітки. Урахування жорсткого диска сталезалізобетонного перекриття. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури: наук.-прак. жур.* Дніпро: ПДАБА, Вип.4 (255-256), 2019. С.64–69.

75. Савйовский В.В. Технология возведения и ремонта сооружений: учебное пособие. Х.: Издательство «Лидер», 2014. 256 с.

76. Санников И.В., Величко В.А., Сломонов С.В. Монолитные перекрытия зданий и сооружений. К. : Будівельник, 1991. 152 с.

77. Стебловський І.А. Конструктивно-анізотропне залізобетонне перекриття з раціональними параметрами [Текст] : автореф. дис канд. техн. наук: 05.23.01 / Стебловський Ілля Арчілович; Харків. нац. ун-т буд-ва та архітектури. Харків, 2015. 22 с.

78. Стороженко Л. І., Нижник О.В., Клестов О.В., Гапченко С.А, Горб О.О., Дячук О.Ф. Експериментальні дослідження плит перекриття зі сталевим обрамленням у порівнянні зі звичайними залізобетонними плитами. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди.* Вип. 25, 2013. С. 454–465.

79. Стороженко Л.І., Нижник О.В, Мурза С.О., Тегза І.І. Збірне безбалкове перекриття з використанням модифікованих круглопустотних плит. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения.* Вып. 82, 2015. С. 231–236.

80. Таран В.В. Определение затрат труда укладки призм пенополистирола в монолитное перекрытие. *Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури: Збірник наукових праць.* Вип. 2010-3(83):

Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва. Макіївка, 2010. С. 84–89.

81. Таран В.В. Формирование и выбор конструктивно-технологических решений устройства монолитных облегченных перекрытий в каркасных зданиях [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08 / Таран Валентина Владимировна; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. Макеевка, 2012. 170 с.

82. Тонкачєєв Г.М., Артюх В.Г. Деякі питання технологічності конструкцій монолітних порожнистих залізобетонних плит перекриття каркасних житлових будівель. *Містобудування та територіальне планування: зб. наук. пр.* К.: КНУБА, Вип 17, 2004. С. 333–337.

83. Тонкачєєв Г.Н., Таран В.В. Моделирование конструктивных решений монолитных плит перекрытий с использованием легких вкладышей. *Містобудування та територіальне планування.* Вип. 35, 2009. С. 443–448.

84. Ушеров-Маршак А.В, Бабаєвська Т.В. Эффективность добавок – тема бетоноведения и технологии бетона. *Технологии бетонов*, №7-8, 2012. С. 53–55.

85. Ушеров-Маршак А.В. Взгляд в будущее бетона. *Строительные материалы*, 2014. №3. С. 4–5.

86. Шмуклер В.С., Климов Ю.А., Буряк Н.П. Каркасные системы облегченного типа. Харьков: Золотые страницы, 2008. 336 с.

87. Шмуклер В.С. Новые энергетические принципы рационализации конструкций. *Збірник наукових праць Української державної ака-демії залізничного транспорту.* Харків, Вип. 167, 2017. С. 54–69.

88. Шмуклер В.С. Оптимизация параметров строительных конструкций в условиях регулирования их напряженно-деформированным состоянием. *Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб.* К: Техніка, Вип. 8, 1997. С. 3–14.

89. Шмуклер В.С. Трансформация внутренней геометрии конструкции при рационализации её параметров. *Юбилейные научные чтения*

по проблемам теории железобетона. ИПЦ МИКХиС, Москва, 2005. С. 124–134.

90. Шмуклер В.С., Лугченко О.І., Нажем А. Чисельна верифікація одного підходу біонічної раціоналізації конструкцій. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. Харків, Вип. 189, 2020. С. 61–80.

91. Шмуклер В.С. Бабаев, В. Н. Эффективная система облегченных железобетонных элементов. *Бетон и железобетон – взгляд в будущее: науч. тр. III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону*. М.: МГСУ, Т. 2, 2014. С. 346–356.

92. Ємельянова І.А., Бугаєвський С.О. Обладнання для зведення монолітних залізобетонних конструкцій системи «МОНОФАНТ» способом торкретування. *Вісник ХНАДУ*, вип. 72, 2016. с. 107–117.

93. Югов А. М., Таран В.В., Тонкачев Г.Н., Сопельник В.И. Опыт надстройки при реконструкции здания за счёт уменьшения веса монолитной плиты перекрытия. *Научный вестник строительства*, Вип. 52. Х.: ХДТУБА, 2009. С. 59–64.

94. Яловенко В.И., Санников И.В. Технические требования к цилиндрическим пустотообразователям, устанавливаемым в монолитные железобетонные плиты. *Современные проблемы строительства: Ежегодный научно-технический сборник: Донецкий ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ*. Донецк 2004. С. 168–174.

95. AirDeck System. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.airdeck.com/> (last accessed: 15.10.2020).

96. Albrecht C. Experimental and theoretical analyses of the load-bearing behaviour of slim biaxial hollow core slabs with flattened void formers. *Proceedings of The 9th fib international PhD symposium in civil engineering*. Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe, Germany, 22–25 July 2012. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe. Pp. 85–90.

97. Alternative framing materials in residential construction: three case studies Prepared for U.S. Department of Housing and Urban Development Office of

Policy Development and Research, 1994. 117p. URL: <https://www.huduser.gov/Publications/PDF/altframe.pdf>. (last accessed: 15.10.2020).

98. Babaev V., Shmukler V., Bugayevskiy S., Nikulin V. Cast Reinforced Concrete Frame of Buildings and Methods of Its Erection. *Journal of Civil Engineering and Construction*. Volume 5. Number 2. 2016. Pp. 143–156.

99. Babaev V., Ievzerov I., Evel S., Lantoukh-Liashchenko A., Shevetovsky V., Shimanovskyi O., Shmukler V., Sukhonos M. Rational Design of Structural Building Systems. – ISBN 978-3-86922-733-7. DOM publishers. - Berlin/Germany, 2019. 384 p.

100. Bendsøe M.P. Optimal shape design as a material distribution problem. *Structural Optimization*. 19891. Pp. 193–202.

101. BubbleDeck System. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bubbledeck-uk.com/>. (last accessed: 15.10.2020).

102. Chung J.H., Choi H.K., Lee S.C., Choi C.S. Flexural strength and stiffness of biaxial hollow slab with donut type hollow sphere. *AIK Journal*, Korea, 30(5), 2014. Pp. 3–11.

103. Chung L., Lee S.-H., Cho S.-H., Woo S.-S. Investigations on flexural strength and stiffness of hollow slabs. *Advances in Structural Engineering*, 13(4), 2010. Pp. 591–601.

104. Churakov A.G., Biaxial hollow slab with innovative types of voids. *Construct. of Unique Build. and Structs.*, Vol. 6(21), 2014, pp 70–88. 4. URL: [https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2014/6%2821%29/5\\_churakov\\_21.pdf](https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2014/6%2821%29/5_churakov_21.pdf) (last access: 15.10.2020).

105. Cobiax® System. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cobiax.com/intl/en/technology/>. (last accessed: 15.10.2020).

106. DALIFORM group. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.daliform.com/en/>. (last accessed: 15.10.2020).

107. David B. South, Freda Parker. The Monolithic Dome. The Monolithic Dome Institute, May 8, 2007. URL: <https://www.jumpjet.info/Emergency->

(last accessed: 15.10.2020).

108. EN 1992-1-1 (2004) Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. 227p.

109. Hurd M.K. Concrete Homes for Disaster Victims. Inflated forms bring shelter to rural landslide victims. Concrete international, Vol. 31, No. 6, 2009. Pp. 37–40.

110. Jan Dirk van der Woerd. Finding new forms for bearing structures by use of origamics. Proceedings of The 9th fib International PhD Symposium in Civil Engineering. Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 22-25 July 2012, Karlsruhe, Germany. Pp. 263–268.

111. Jasiczak J., Majchrzak W., Czajka W. Construction of undulating walls using dry-mix shotcrete. Expansive concrete surface creates the main spatial element inside the Museum of the History of Polish Jews in Warsaw, Poland. Concrete international, Vol. 37, No. 6, 2015. Pp. 31–35.

112. Kalmykov O., Gaponova L., Grebenchuk S., Reznik P. Study of fire-resistance of rein-forced concrete slab of a new type. In: MATEC Web Conf. Volume 116, (P. 02018), 2017. URL: [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/30/mateconf\\_tr2017\\_02018.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/30/mateconf_tr2017_02018.pdf) (last accessed: 15.10.2020).

113. Kitamura H., Nishizaki T., Ito H., Chikamatsu R., Kamada F., Okudate M. Construction of prestressed concrete outer tank for LNG storage using high-strength self-compacting concrete. Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete. 1999. Pp. 262–291.

114. Koski A. J. Shotcrete homes challenge wood-frame construction. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.scribd.com/document/45996445/Shotcrete-Homes> (last accessed: 15.10.2020).

115. Kromoser B. Methods for transforming flat concrete plates into double curved shell structures. Proceedings of The 9th fib International PhD Symposium in

Civil Engineering. Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 22-25 July 2012, Karlsruhe, Germany. Pp. 275–280.

116. Kromoser B., Kollegger J. Biding free formed concrete surfaces by using the “pneumatic wedge method”. The 10th fib International PhD Symposium in Civil Engineering. Universite Laval, 21-23 July 2014, Quebec, Canada. Pp. 303–308.

117. Mota M. Voided Slabs. Then and now. Concrete international, Vol. 32, No. 10, 2010. Pp. 41–45.

118. Nikulin V., Bugayevskiy S., Gerasymenko V., Konyukhov A. Basics of modeling and technology of creating reinforced concrete elements of Monofant system construction. In: MATEC web of conferences. Vol 116., P. 02009, 2017. 9p. DOI: [10.1051/matecconf/201711602009](https://doi.org/10.1051/matecconf/201711602009).

119. Nikulin V., Shmukler V., Petrova O. Highly Combinatorial Reinforced Concrete Slab System. Proceedings of CEE 2019: Advances in Resource-saving Technologies and Materials in Civil and Environmental Engineering. Pp. 411–419.

120. Nikulin V., Shmukler V., Demchyna B., Vozniuk L., Petrova O., Reznik P. Variant design of the concrete frame structures (weight-strength analysis). Proceedings of the fib Symposium 2019: Concrete - Innovations in Materials, Design and Structures. Krakow, 2019. Pp. 929–936.

121. Okamura H., Ouchi M. Self-Compacting Concrete. Advanced Concrete Technology. 2003. №1. Pp. 5–15.

122. Ozava K., Okamura H. Mix design for self-compacting concrete. Concrete Library of the JSCE. 1995. № 2. Pp. 107–120.

123. Petrova O., Shmukler V., Hammoud M. Rationalization of the parameters of the cylindrical bridge support (theoretical basis). In: MATEC Web of Conferences 230, 02031. 2018. URL: [https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/89/matecconf\\_transbud2018\\_02031.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2018/89/matecconf_transbud2018_02031.pdf) (last accessed: 15.10.2020).

124. Quad-Lock: Concrete Building Solutions. Insulated Concrete Forms for Floors, Roofs, and Tilt-Up. URL: <http://www.icf-and-more-ok.com/green-building->

[products-suppliers-oklahoma-city-ok/quad-lock-icf-insulating-concrete-forms-okc.html](#) (last accessed: 15.10.2020).

125. Querin O.M., Steven G.P., Xie Y.M. Evolutionary structural optimisation (ESO) using a bidirectional algorithm. *Engineering Computations*, №15(8). 1998. Pp. 1031–1048.

126. Rao B.N., Radha Sagadevan. Investigations on One-way Flexural Behaviour of Biaxial Voided Slab with Cuboid Shape Void Formers. *Journal of Structural Engineering (Madras)*, vol. 46(4), 2019. Pp. 287–297.

127. Rozvany G. Aims, scope, methods, history and unified terminology of computer-aided topology optimization in structural mechanics. *Struct Multidisc Optim* 21, 2001. Pp. 90–108.

128. Self-Consolidating Concrete: A Synthesis of Research Findings and Best Practices. Prepared by: John W. Henault, P.E., February 14, 2014, Research Project: SPR-2255, Final Report, Report No. CT-2255-F-12-4. URL: <https://portal.ct.gov/-/media/DOT/documents/dresearch/CT2255F124SCCASynthesisofResearchFindingsandBestPracticespdf.pdf?la=en> (last accessed: 15.10.2020).

129. Shotcrete or SCC? How to select the right repair material? Jacques Bertrane, Eng. Ambex Concrete Technologies Inc., 2010. Fall Convention, Pittsburgh, PA, October 21, 2010. URL: [https://cdn.ymaws.com/icri.site-ym.com/resource/resmgr/Events/10\\_Bertrand.pdf](https://cdn.ymaws.com/icri.site-ym.com/resource/resmgr/Events/10_Bertrand.pdf) (last accessed: 15.10.2020).

130. Shmukler V., Babaev V. New constructive solutions for building of transport construction facilities. *MATEC Web of conferences*, 2017. Vol 116, p 02004. URL: [https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/abs/2017/30/mateconf\\_tr2017\\_02004/mateconf\\_tr2017\\_02004.html](https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/abs/2017/30/mateconf_tr2017_02004/mateconf_tr2017_02004.html) (last accessed: 15.10.2020)

131. Tae-Young Jang, Sang-Mo Kim, Sang-Dae Kim. New Eco-friendly Two-way Void Slab [Электронный ресурс]. URL: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB17410.pdf> (last accessed: 15.10.2020).



132. Thaar Al-Gasham, Nasser A., Manal A. Alawsy. Structural Behavior of Reinforced Concrete One-Way Slabs Voided by Polystyrene Balls. *Case Studies in Construction Materials* 11: e00292. (2020). (Accessed 03.10.2020).

133. The European guidelines for self-compacting concrete: specification, production and use. UK, 2005. 21 p.

134. Yegupov K., Murashko O., Dorofeev V., Mihailov O. Problem of non-conformity of computational model and results of vibration tests of multistory buildings with girderless construction. *Ovidius University Annals Series: Civil Engineering*. Issue 17, 2015. Pp. 55–60.