

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Сучасні технології
та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 21

Луцьк – 2024

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

LUTSK NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY

**Modern technologies
and methods of calculations in construction**

Collection of scientific articles

Volume 21

Lutsk – 2024

**Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк, ЛНТУ. 2024,
Випуск 21, 321 с. ISSN 2410-6208 (друк.)**

У збірнику наукових статей висвітлюються результати наукових досліджень будівельних матеріалів і конструкцій; технологій зведення та експлуатації будівель, інженерних і транспортних систем; теорії опору елементів будівельних конструкцій зовнішнім впливам та методів розрахунку; сучасних тенденцій проектних рішень у будівництві; енергоефективних технологій у міському будівництві та господарстві.

Призначений для науковців, фахівців проектних установ і виробничих підприємств, аспірантів та докторантів, викладачів та здобувачів вищої освіти.

Редакційна колегія:

Головний редактор – **Шваб'юк В.І.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, Луцьк)

Заступник редактора – **Пастернак Я.М.**, д.ф.-м.н., професор
(ВНУ ім. Л. Українки, Луцьк)

Відповідальний секретар – **Ротко С.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк)

Азізов Т.Н., д.т.н., професор (УДПУ, Умань); **Андрійчук О.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Бабич Є.М.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Белятинський А.О.**, д.т.н., професор (НАУ, Київ); **Дробишинець С.Я.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Жданюк В.К.**, д.т.н., професор (ХНАДУ, Харків); **Задорожнікова І.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Ільчук Н.І.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Славомір Карась**, доктор інженерії (Люблінська політехніка, Люблін, Польща); **Кислюк Д.Я.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Клименко Є.В.**, д.т.н., професор (ОДАБА, Одеса); **Кочкар'юв Д.В.**, д.т.н., доцент (НУВГП, Рівне); **Мікулич О.А.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, Луцьк); **Максимович О.В.**, д.т.н., професор (НУ "ЛП", Львів); **Наумов В.С.**, д.т.н., професор (Краківський технологічний університет, Краків, Польща); **Пасічник Р.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Пустьюльга С.І.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, Луцьк); **Савенко В.Я.**, д.т.н., професор (НТУ, Київ); **Самчук В.П.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Синій С.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Сунак П.О.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Трач В.М.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Ужегова О.А.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Ужегов С.О.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Чапюк О.С.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Шишкін О.О.**, д.т.н., професор (КНУ, Кривий Ріг).

Збірник зареєстрований Національною радою України з питань телебачення і радіомовлення (рішення № 40 від 11.01.2024 р., ідентифікатор медіа R30-02453).

Збірник включений Міністерством освіти і науки України до переліку наукових фахових видань України (категорія Б) за спеціальностями **192 – Будівництво та цивільна інженерія** (наказ МОН України, № 886 від 02.07.2020 р.); **113 – Прикладна математика**; **122 – Комп'ютерні науки** (наказ МОН України, № 409 від 17.03.2020 р.);

Матеріали збірника рекомендовані до друку на засіданні вченої ради ЛНТУ (протокол № 11 від 04 червня 2024 р.).

Адреса редакції: 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, Луцький національний технічний університет, кафедра будівництва та цивільної інженерії, телефон (0332) 26-24-60

e-mail: Zbirnukfbd@gmail.com, сайт: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/>

ISSN 2410-6208

© Луцький національний
технічний університет, 2024

Modern technologies and methods of calculations in construction. Lutsk, LNTU. 2024, Volume 21, 321 p. ISSN 2410-6208 (print)

The collection of scientific articles highlights the results of scientific research on building materials and structures; technologies of construction and operation of buildings, engineering and transport systems; theories of resistance of elements of building structures to external influences and calculation methods; modern trends of project solutions in construction; energy-efficient technologies in urban construction and economy.

Intended for scientists, specialists of design institutions and production enterprises, post-graduate and doctoral students, teachers, and students of higher education.

Editorial Board:

Editor-in-Chief – **Shvabyuk V.I.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (LNTU, Lutsk)

Deputy Editor – **Pasternak Ia.M.**, Dr of Physic. and Mathem. Sc., Professor (Lesya Ukrainka VNU, Lutsk)

Executive Secretary – **Rotko S.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk)

Azizov T.N., Dr of Techn. Sc., Prof. (Pavlo Tychyna USPU, Uman); **Andriichuk O.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Babich Ye.M.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (NUWEE, Rivne); **Belyatynsky A.O.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (NAU, Kyiv); **Drobyshtynets S.Ya.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Zhdanyuk V.K.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (KhNAHU, Kharkiv); **Zadorozhnikova I.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Ilchuk N.I.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Slawomir Karaś**, Dr of Eng. (Lublin Polytechnic, Lublin, Poland); **Kyslyuk D.Ya.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Klymenko Ye.V.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (OSACEA, Odesa); **Kochkarev D.V.**, Dr of Techn. Sc., As. Prof. (NUWEE, Rivne); **Mikulich O.A.**, Dr of Techn. Sc., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Maksymovych O.V.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (LPNU, Lviv); **Naumov V.S.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (Cracow University of Technology, Cracow, Poland); **Pasichnyk R.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Pustyluha S.I.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (LNTU, Lutsk); **Savenko V.Y.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (NTU, Kyiv); **Samchuk V.P.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Synii S.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Sunak P.O.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Trach V.M.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (NUWEE, Rivne); **Uzhehova O.A.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Uzhehov S.O.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Chapyuk O.S.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Shishkin O.O.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (KNU, Kryvyi Rih).

The National Council of Ukraine registers the collection on Television and Radio Broadcasting (resolution No. 40 dd 11.01.2024, Media ID R30-02453).

The collection is included by the Ministry of Education and Science of Ukraine in the List of scientific professional publications of Ukraine (**category B**), which can publish the results of these for doctoral and candidate of technical sciences in specialties: **192 Construction and Civil Engineering** (order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 886 dd 02.07.2020); **113 Applied Mathematics**; **122 Computer Science** (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine №409 dd 17.03.2020).

The materials of the collection were recommended for publication at the meeting of the academic council of the LNTU (protocol No. 11 of June 04, 2024).

Editorial office address: 43018, Lutsk, 56, Potebni St., Lutsk National Technical University, Department of Construction and Civil Engineering, phone (0332) 26-24-60

e-mail: Zbirnukfbd@gmail.com, сайт: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/>

ISSN 2410-6208

© Lutsk National

Technical University, 2024

УДК 699.841 [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-01](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-01)

ІНЖЕНЕРНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПІДВІСНИХ БУДІВЕЛЬ НА СЕЙСМІЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

ENGINEERING METHOD OF CALCULATING SUSPENDED BUILDINGS FOR SEISMIC LOAD

Азізов Т.Н., д.т.н., професор, Майстренко О.Ф., к.т.н., доцент, Ель Амарі Амін, студент (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)

Azizov T.N., Doctor of Engineering, Professor, Maistrenko O.F., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, El Amari Amine, student (Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture, Odessa)

При використанні підвісних будівель у два, три і більше поверхів несуча рама не може бути розглянута, як система з однією масою. Таке спрощення призводить до помилок у визначенні динамічних зусиль. У статті за масу несучої рами прийнята її еквівалентна маса, яка визначена з умови рівності кінетичної енергії для систем з однією масою і багатьма масами. Показано вплив еквівалентної маси та жорсткості несучої рами на величину максимальних динамічних сил при сейсмічному навантаженні.

Most often, dynamic vibration dampers are used to dampen vibrations under seismic loads. In this case, the vibration damper is a pendulum suspended within the building. In previous works by the authors of this article, it was proposed to suspend the entire building on a supporting frame. A dynamic scheme for calculating such a structure is proposed. However, the entire mass of the supporting frame is concentrated at its top.

To construct the equations of motion for such a system, the Lagrange equation of the second kind was used. In the dynamic scheme, it is assumed that the base oscillates according to the sine law. This scheme was compared with the traditional cantilever scheme, when the building is considered as a cantilever, at the end of which the entire mass of the building is concentrated. At the same time, the dynamic forces in the suspended and cantilever designs are significantly different.

The supporting frame is considered as one mass. However, when using suspended structures of two, three or more floors, the supporting frame cannot be considered as a system with one mass. Such a simplification can lead to errors in determining dynamic forces. In this article, its equivalent mass is taken as the mass of the supporting frame. The equivalent mass is determined from the equality of kinetic energy for systems with one mass and many masses.

The article shows that the value of the equivalent mass has a significant impact on dynamic forces. Tables are provided to compare the maximum dynamic forces from base vibration depending on various factors. These reasons are: the mass of the building, the

mass of the supporting frame, and the rigidity of the frame. A graph of maximum dynamic force versus equivalent mass is presented. The construction of such graphs makes it possible to determine the structural design of the supporting frame to reduce dynamic forces.

The advantage of the engineering calculation method is that it is very simple and does not require the use of software packages. This method should be used for preliminary calculations. In preliminary variant calculations, the rigidity and mass of the supporting frame are determined from the point of view of the minimum dynamic force. After adopting a certain structural design of the load-bearing frame, its final calculation is performed using well-known programs for calculating seismic impacts.

Ключові слова: сейсмічне навантаження, динамічна схема, еквівалентна маса, рівняння Лагранжа.

Keywords: seismic load, dynamic scheme, equivalent mass, Lagrange equation.

Аналіз досліджень і постановка задачі

Динамічні навантаження на споруду характеризуються швидкою зміною в часі їх величини, напряму або місця застосування. Тому вони викликають коливання споруди, які необхідно враховувати за її розрахунку.

Колівальний характер мають як переміщення точок споруди, так і внутрішні зусилля і напруження у його елементах. Визначення очікуваних амплітуд переміщень, внутрішніх зусиль і напружень у споруді при її коливаннях під дією динамічного навантаження, тобто при вимушених коливаннях та порівняння їх із допустимими значеннями становлять основний зміст динамічного розрахунку споруди.

Існує багато робіт [3, 9, 10-12], в яких розглянуті питання пасивних динамічних гасників коливань (ДГК), які не потребують додаткових джерел енергії. Такі гасники прості в експлуатації, порівняно недорогі, а їх надійність доволі висока. ДГК представляє собою пристрій, у якому виникають сили інерції, які зменшують інтенсивність коливань конструкції, що захищається.

Частіше за все ДГК виконуються у вигляді маси, яка приєднується за допомогою пружного і демпфуючого елементів до будівлі. Маса гасників коливань представляє собою або тверде тіло, до якого можуть бути приєднані змінні вантажі, або пружну конструкцію, або контейнер, заповнений штучними вантажами, сипучим матеріалом і навіть рідиною.

Наприклад, всесвітньо відома башта Тайбей 101 у Тайвані висотою 509 м має гасник коливань у вигляді металевого маятника масою 660 т, який розташований між 87 та 91 поверхами споруди.

Сейсмічна ізоляція будівель виконується також із застосуванням в'язів, що вимикаються [3]. Як відомо, основна ідея систем із в'язями, що вимикаються, полягає в тому [3, 10], що елемент, що вимикається, прикріплюється жорстко до в'язевого елемента і до основної несучої

конструкції, забезпечуючи жорсткий зв'язок вищерозташованих поверхів і фундаменту до певних порогових величин сейсмічного навантаження. Після перевищення цих порогових величин елемент, що вимикається, руйнується.

У роботах [1, 6] запропонована схема будівлі, яка сама є маятником, тобто будівля підвішена на несучій рамі. Конструкція складається з несучої рами, на якій підвішений каркас будівлі на тросі.

Каркас будівлі розглядається (див. [1, 6, 7]) як зосереджена маса, підвішена на раму. Розрахункова динамічна схема подана у вигляді еліптичного маятника, в якому повзун прикріплений до нерухомої стінки пружиною, жорсткість якої підбирається з рівності горизонтальних переміщень консолі (несучої рами) і умовної пружини від дії одиначної горизонтальної сили.

Для побудови рівнянь руху такої системи в [6, 7] використано рівняння Лагранжа другого роду. Така схема порівнювалася з традиційною консольною схемою, коли будівля (одноповерхова) розглядається як консоль, на кінці якої зосереджена вся маса будівлі, а основа коливається по заданому закону, який приймається з відомих сейсмічних даних. При цьому показано, що динамічні сили в підвісній схемі і консольній суттєво відрізняються.

У цих роботах несуча рама розглядається як одна маса. Однак, при використанні підвісних будівель у два, три і більше поверхів несуча рама не може бути розглянута, як одномасова система. Таке спрощення може призвести до помилок у визначенні динамічних зусиль.

З огляду на вищесказане, **метою цієї статті** є розроблення інженерного методу розрахунку підвісних будівель з уточненням динамічної схеми несучої рами.

Викладення основного матеріалу

Розглянемо динамічну схему, яка наведена в [6, 7] (рис. 1).

Візок внизу на рис. 1 імітує основу, яка коливається навколо положення рівноваги O за законом $x = a \cdot \sin(p \cdot t)$, де a – амплітуда коливань; p – кругова частота коливань; t – час. Маса m_1 – це маса консолі (несучої рами), маса m_2 – маса підвісної будівлі.

На рис. 1 реальна схема, де консоль згинається, замінена спрощеною схемою, де жорсткий стрижень повертається навколо шарніра O в основі. Враховуючи, що вертикальне переміщення верху консолі (маси m_1) значно менше за його горизонтальне переміщення, така заміна цілком прийнятна. Невідомі узагальнені переміщення q_1 та q_2 означають: q_1 – горизонтальне переміщення умовної пружини жорсткістю k_x ; q_2 – кут повороту нитки підвісу відносно вертикалі.

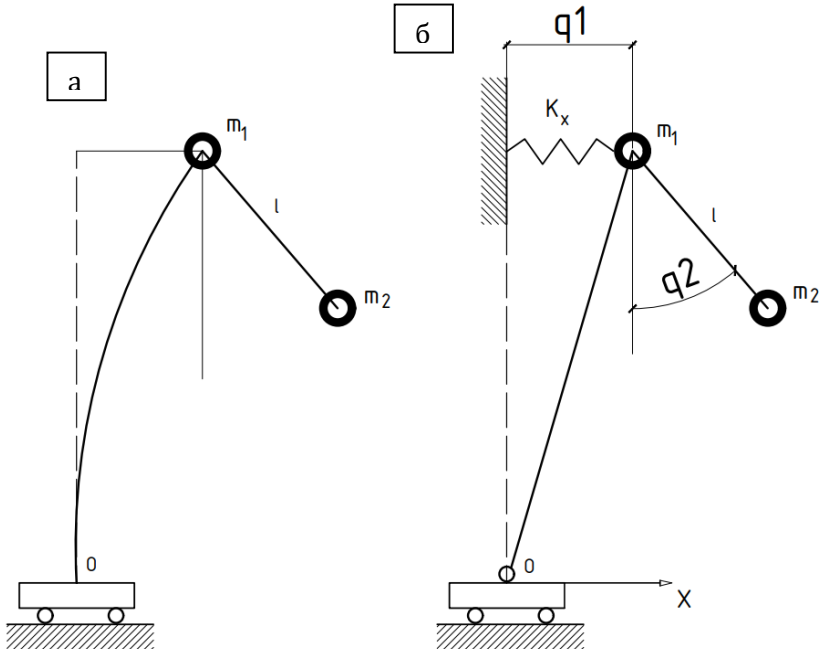


Рисунок 1 – Динамічна розрахункова схема консольно-підвісної системи:
 а) реальна схема; б) спрощена схема

У роботі [6] виведена система рівнянь руху для такої динамічної схеми:

$$\begin{cases} (m_1 + m_2)\ddot{x} + m_2 l \ddot{\varphi} \cos \varphi - m_2 l \dot{\varphi}^2 \sin \varphi - (m_1 + m_2)p^2 a \sin pt + kx = 0 \\ \ddot{x} \cos \varphi + l \ddot{\varphi} - ap^2 \sin pt \cos \varphi + g \sin \varphi = 0 \end{cases} \quad (1)$$

де g – прискорення вільного падіння. Точка або дві точки над символом у виразі (1) позначають, відповідно, першу та другу похідні за часом t . Через x та φ в системі (1) позначені відповідно невідомі q_1 та q_2 на рис. 1.

Система диференціальних рівнянь Лагранжа досить легко вирішується [2, 4]. Вирішення цієї системи дасть нам закон руху системи. Знаючи закон руху, досить просто отримати сили, що діють на елементи системи, у тому числі на пружину, що в нашому випадку є горизонтальною складовою динамічної сили, яка діє на несучу раму.

Однак, як видно з рис. 1, несуча рама представлена як одна маса. Насправді несуча рама в будь-якому випадку буде мати горизонтальні

елементи, які з'єднують її колони, і тому сама рама повинна розглядатися як багатомасова система (рис. 2).

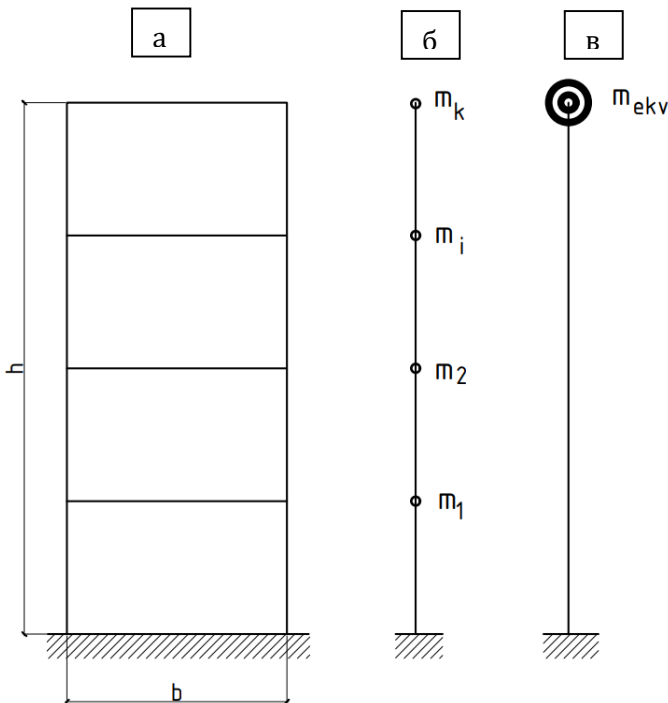


Рисунок 2 – Представлення несучої рами (а) у вигляді багатомасової (б) системи та у вигляді одномасової системи (в) з еквівалентною масою

Маси $m_1 \dots m_n$ на рис. 2.б складаються з мас ригелів на рівні умовного поверху рами і мас колон висотою в поперех.

У такій схемі, якщо додати підвісну масу, буде $n+1$ узагальнених координат, відповідно, і система диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду буде складатися з $n+1$ диференціальних рівнянь другого ступеня.

У роботах [6, 7] було сказано, що такий динамічний розрахунок виконується для попереднього аналізу конструкції, тому що для підбору жорсткості несучої рами, її маси слід провести велику кількість розрахунків. Якщо при варіантних розрахунках застосовувати повні розрахунки з використанням програмних комплексів, то це займе багато часу. Тому, після

таких спрощених розрахунків, коли вже попередньо підібрані конструкція несучої рами і перерізи її елементів, можна приступати до кінцевого аналізу конструкції з використанням програмних комплексів.

Використання багатомасової системи за рис. 2.б суттєво ускладнює рішення системи диференціальних рівнянь. А використання одномасової системи з масою на кінці консолі, яка дорівнює сумі всіх мас елементів рами, призводить до суттєвих помилок зі збільшенням висоти рами.

Тому для того, щоб, з одного боку не розглядати багатомасову систему, а з іншого боку, уточнити розрахунок, застосуємо використання еквівалентної маси. Для цього багатомасову систему замінимо системою з однією масою, яка розташована в кінці консолі (див. рис. 2.в).

Відомо [5], що для рішення складних динамічних задач використовують метод приведення мас. Приведена маса m_{ekv} – це така маса, з одним ступенем свободи, яка динамічно еквівалентна заданій системі з багатьма масами. Умову еквівалентності виберемо у формі рівності кінетичних енергій одномасової системи і заданої. Для цього розглянемо схему консольної балки (рис. 3).

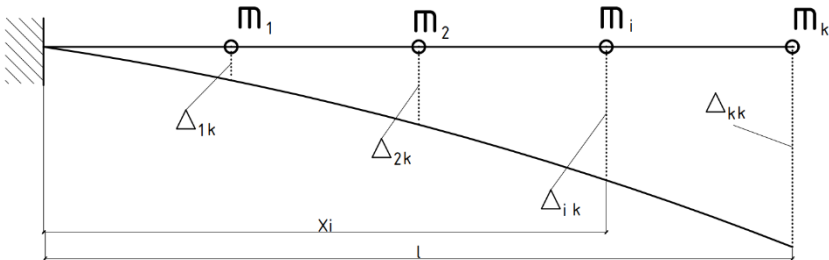


Рисунок 3 – Схема для визначення еквівалентної маси

У цьому випадку значення еквівалентної маси буде визначене з відомого виразу [5]:

$$m_{ekv} = \frac{1}{\delta_{kk}^2} \sum_{i=1}^n m_i \delta_{ik}^2 \quad (2)$$

де δ_{kk} – переміщення у точці k (в кінці консолі) від одиничної сили, яка діє саме в тій точці (див. рис. 3); δ_{ik} – переміщення в точці i від дії одиничної сили в кінці консолі. Величини δ_{kk} і δ_{ik} визначаються за відомими формулами будівельної механіки.

Слід зауважити, що заміна багатомасової системи на еквівалентну одномасову справедлива для першої форми коливань вказаної системи. Але,

зважаючи на те, що динамічні сили часто бувають максимальними саме за першої форми коливань, а також на те, що це попередні орієнтовні розрахунки, ми можемо вважати можливою таку заміну.

Таким чином, застосовуючи вже виведену систему рівнянь Лагранжа (2) для двохмасової системи, ми можемо розрахувати за схемою рис. 1 багатомасову систему. Розглянемо, на скільки впливає заміна величини маси m_1 , як суми всіх мас поверхів на еквівалентну масу. Для цього попередньо орієнтовно було розраховано декілька варіантів підвісної будівлі розмірами в плані 6х6 та 9х9 метрів з різною кількістю поверхів. Будівлі підвішені на несучі рами розмірами в плані відповідно 7х7 та 10х10 метрів. Для варіанта будівлі 6х6 метрів в якості елементів несучої рами прийнята сталевая труба 530х6 мм; для будівлі 9х9 метрів – сталевая труба 820х9 мм. Для визначення коефіцієнта жорсткості (див. рис. 1) для кожного варіанта були розраховані рами в програмі Lira-SAPR на дію одичної горизонтальної сили, яка прикладена до верхньої точки рами. В таблиці 1 всі розрахунки проведені для вихідних даних: амплітуда коливань поверхні землі $a=0.036$ м; кругова частота коливань $p=10$. Відомо, що кругова частота коливань визначається за формулою:

$$p = \sqrt{W/a} \quad (3)$$

де W – прискорення коливань. Відомо, що в середньому максимальне прискорення може бути прийнятним для 9-бального землетрусу $W=3.6$ м/с² [6, 7]. Тому, приймаючи різні значення для амплітуди a , можна визначити відповідну кругову частоту коливань за формулою (3).

Як можна бачити з таблиць 1 та 2, використання еквівалентної маси несучої рами замість повної суттєво впливає на величину максимальної динамічної сили. Тому в розрахунках для правильного визначення динамічної сили слід приймати еквівалентну масу рами при застосуванні динамічної схеми за рис. 1. При цьому можна обійтися розрахунком двохмасової системи замість багатомасової.

Значення еквівалентної маси m_{ekv} суттєво впливає на величину максимальної динамічної сили F_{max} . Як приклад, на рис. 4 наведений графік залежності динамічної сили F_{max} від еквівалентної маси (маси m_1 на рис. 1) для варіанта коефіцієнта жорсткості $K_x=2251.7$ кН/м (четвертий варіант в таблиці 1).

Як можна бачити з рис. 4, при певному значенні маси m_1 максимальна динамічна сила суттєво зростає. Тому в попередніх варіантних розрахунках слід ретельно визначити оптимальну масу несучої рами для запобігання великих значень динамічної сили. В цьому також полягає перевага запропонованого методу інженерного розрахунку підвісних будівель на дію сейсмічного навантаження.

Таблиця 1 – Значення максимальної динамічної сили по варіантах для будівлі 9x9 м

Коефіцієнт жорсткості рами K_x (Н/м)	Маса будівлі m_b (кг)	Кількість поверхів будівлі/рама	Маса рами m_r (кг)	Еквівалентна маса рами m_{ekv} (кг)	F_{max} (кН) при врахуванні маси:	
					для m_r	для m_{ekv}
2790179	405000	5/2	31681	17393	1113	262,3
3021148	486000	6/3	41761	17957	2353	292,7
2164502	567000	7/3	44641	19196	637,1	329
2251745	648000	8/4	54721	20575	632,2	349,2
1738224	729000	9/4	57601	21658	507,3	354,8
1768034	810000	10/5	67682	23350	488,4	378,4
1428163	891000	11/5	70562	24344	461,3	367,3
1430411	972000	12/6	80642	26289	428,7	397,8
1194315	1053000	13/6	83522	27228	420	386
1184273	1134000	14/7	93602	29204	409,3	398
1009999	1215000	15/7	96482	30102	418	377,5

Таблиця 2 – Значення максимальної динамічної сили по варіантах для будівлі 6x6 м

Коефіцієнт жорсткості рами K_x (Н/м)	Маса будівлі m_b (кг)	Кількість поверхів будівлі/рама	Маса рами m_r (кг)	Еквівалентна маса рами m_{ekv} (кг)	F_{max} (кН) при врахуванні маси:	
					для m_r	для m_{ekv}
3122073	180000	5/2	11785	6470	154,2	112,6
2423068	252000	7/3	16437	7068	245,6	138,7
1901864	324000	9/4	21089	7930	413,4	172,8
1510346	396000	11/5	25741	8881	894,5	190,3
1213151	468000	13/6	30393	9908	408,7	201,7
1164280	504000	14/7	33805	10547	366,6	210,3

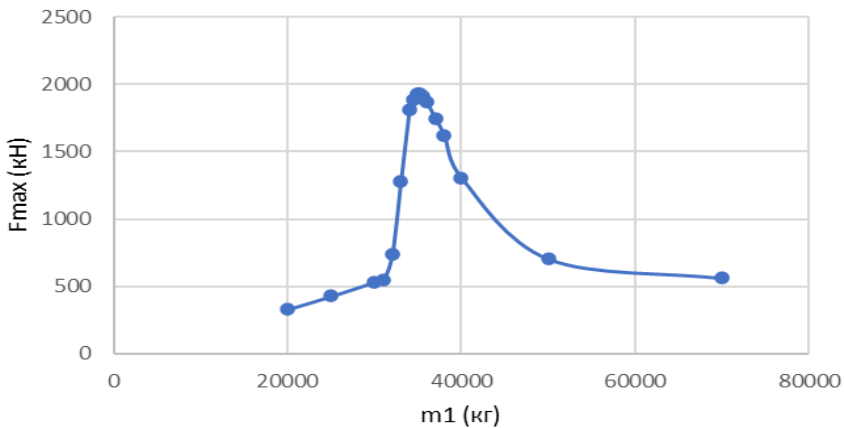


Рисунок 4 – Залежність динамічної сили F_{max} від маси m_1 в кінці консолі для значення коефіцієнта жорсткості $K_x=2251,7$ кН/м

Варіантні розрахунки при застосуванні програмних комплексів, коли треба зробити десятки або сотні попередніх розрахунків були б доволі складною задачею, яка б займала набагато більше часу, ніж розрахунок за інженерною методикою. Після визначення конструкції несучої рами кінцевий розрахунок слід проводити вже з застосуванням відомих програмних комплексів.

Запропонований інженерний метод розрахунку дозволяє також досліджувати вплив жорсткості елементів несучої рами на максимальну динамічну силу, кількість поверхів несучої рами, конструкції її елементів тощо. При цьому слід досліджувати вплив не тільки згинальної, а й крутильної жорсткості елементів несучої рами (при залізобетонному її варіанті), тому що неврахування впливу крутильної жорсткості може призвести до помилок [8].

Висновки та перспективи досліджень. Запропоновано інженерний метод розрахунку підвісних будівель при дії сейсмічного навантаження у вигляді заданого закону коливання основи. При цьому застосована раніше виведена авторами система рівнянь Лагранжа другого роду. На відміну від раніше запропонованого, замість повної маси несучої рами прийнята її еквівалентна маса, отримана з умови рівності кінетичної енергії багатомасової і одномасової систем.

У подальшому планується отримання залежності максимальних динамічних сил від жорсткості несучої рами, кількості її поверхів для різних значень амплітуди коливань основи та кругової частоти коливань.

References

1. Azizov T.N. Konstruktsiia seismichno stiikoi budivli / Patent na korysnu model №54247. Ukraina. Biull. №20. 25.10.2010.
2. Pavlovskiy M.A. Teoretychna mekhanika. Kyiv: Tekhnika, 2002.
3. Smyrnov V.Y. Prymenenye seismoizolyatsyy zdanyi y ystorycheskykh sooruzheniy / V.Y. Smyrnov, Ya.M. Aizenberh // Budivelni konstruktsii. Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Vyp. 60. - K.: NDIBK, 2004. – S. 210-217.
4. Fedulina A.I. Teoretychna mekhanika. Kyiv: Vyshcha shkola, 2005.
5. Tsykhanovskiy V.K., Bieliatynskiy A.O., Talakh S.M. Budivelna mekhanika (spetskurs). Kyiv: NAU, 2014.
6. Azizov T.N. Dynamic design scheme of suspended seismically safe buildings / T.N. Azizov // Sciences of Europe. – 2017. – Vol 1, № 17. – S. 83-88.
7. Azizov T.N. CALCULATION OF DYNAMIC FORCES IN THE ELEMENTS OUTBOARD BUILDINGS// Sciences of Europe. – 2016. – Vol 4, № 9. – S. 69-73
8. Azizov T., Kochkarev D. Rigidity and Torsional Strength of Reinforced Concrete Bars with Normal Cracks // Sciences of Europe. – 2020. – Vol 1, № 47. – C. 27-36.
9. Chang C.C. Mass dampers and their optimal designs for building vibration control. Eng Struct n.d.:454–463. doi:10.1016/S0141-0296(97)00213-7.
10. Eisenberg Y. Constructions with disconnective constraints for seismic areas [Sooruzheniya s vyklyuchayushchimysya svyazyami dlya sejsmicheskikh rajonov]. 1976.
11. Eurocode 8: Seismic Design of Buildings Worked examples 2012:522.
12. Moon K.S. structural Design of Double Skin Facades as Damping Devices for Tall Buildings. Procedia Eng 2011:1351–1358. doi:10.1016/j.proeng.2011.07.170.

Література

1. Азізов Т.Н. Конструкція сейсмічно стійкої будівлі / Патент на корисну модель №54247. Україна. Бюлл. №20. 25.10.2010.
2. Павловський М.А. Теоретична механіка. Київ: Техніка, 2002.
3. Смирнов В.И. Применение сейсмоизоляции зданий и исторических сооружений / В.И. Смирнов, Я.М. Айзенберг // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 60. - К.: НДІБК, 2004. – С. 210-217.
4. Федуліна А.І. Теоретична механіка. Київ: Вища школа, 2005.
5. Цихановський В.К., Белятинський А.О., Талах С.М. Будівельна механіка (спекурс). Київ: НАУ, 2014.
6. Azizov T.N. Dynamic design scheme of suspended seismically safe buildings / T.N. Azizov // Sciences of Europe. – 2017. – Vol 1, № 17. – S. 83-88.
7. Azizov T.N. CALCULATION OF DYNAMIC FORCES IN THE ELEMENTS OUTBOARD BUILDINGS// Sciences of Europe. – 2016. – Vol 4, № 9. – S. 69-73
8. Azizov T., Kochkarev D. Rigidity and Torsional Strength of Reinforced Concrete Bars with Normal Cracks // Sciences of Europe. – 2020. – Vol 1, № 47. – C. 27-36.
9. Chang C.C. Mass dampers and their optimal designs for building vibration control. Eng Struct n.d.:454–463. doi:10.1016/S0141-0296(97)00213-7.
10. Eisenberg Y. Constructions with disconnective constraints for seismic areas [Sooruzheniya s vyklyuchayushchimysya svyazyami dlya sejsmicheskikh rajonov]. 1976.
11. Eurocode 8: Seismic Design of Buildings Worked examples 2012:522.
12. Moon K.S. structural Design of Double Skin Facades as Damping Devices for Tall Buildings. Procedia Eng 2011:1351–1358. doi:10.1016/j.proeng.2011.07.170.

УДК 691.3

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-02](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-02)

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ЗАПОВНЮВАЧАХ З ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ ПРИКАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF DESIGNING THE COMPOSITIONS OF CONCRETE MIXTURES USING ALTERNATIVE AGGREGATES FROM THE NATURAL RESOURCES OF THE CARPATHIAN REGION

Андрусyak A. B., к.т.н., доцент, Сільчук Д. В., студент, Велічкович А. С., к.т.н., доцент (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу)

Andrusyak A. V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Silchuk D. V., student, Velychkovych A. S., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, (Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas)

Запроектовано склади бетонних сумішей з використанням альтернативних заповнювачів, отриманих із природних ресурсів Прикарпаття. Основним завданням було отримання сумішей з рухливістю S4 для виготовлення бетонного каменю класу міцності C32/40. Задля забезпечення потрібних фізико-механічних характеристик бетону до складу сумішей вводили оптимальну дозу добавки на основі карбоксиловмісних полімерів. Для кожного типу заповнювача підгодували серію бетонних сумішей з різним дозуванням карбоксиловмісного модифікатора. Визначали рухливість сумішей та оцінювали міцність затверділих зразків. Отримані результати підтвердили можливість виготовлення високоміцних класів бетону на альтернативних заповнювачах із природних ресурсів Прикарпатського регіону.

Today, the Precarpathian region has significant reserves of natural materials that can be used as alternative aggregates for concrete. These include a variety of rocks (limestone, sandstone, shale), gravel and sand deposits from rivers, etc. The obvious advantages of using local natural resources are cost savings on aggregate transportation and the possibility of developing new deposits, which will contribute to the development of local industry. In the study, four concrete mixtures were designed. The compositions for two mixtures were designed using traditional coarse aggregate (granite crushed stone) for the production of high-strength concrete. Two more mixtures were designed using alternative aggregates obtained from the natural resources of the Precarpathian region (crushed stone from dense sedimentary rocks). The main objective of the study was to obtain concrete mixtures with mobility S4 for the manufacture of concrete stone of strength class C32/40. The absolute volume method was used to develop the mixture formulation, with the calculations for each mixture being refined by performing trial batches. To ensure

the required physical and mechanical characteristics of concrete, the mixtures were supplemented with an optimal dose of a complex modifier based on carboxyl-containing polymers. The physical and mechanical characteristics of different types of aggregates were carefully determined and the influence of these characteristics on the behavior of the concrete mix and the properties of the hardened concrete was evaluated. For each type of aggregate, a series of concrete mixtures were prepared with different dosages of carboxyl-containing modifiers. Using the methods of current regulatory documents, the mobility of the manufactured mixtures and the strength of the hardened samples were determined. The analysis of the experimental results confirmed the possibility of manufacturing high-strength concrete classes based on alternative aggregates from the natural resources of the Precarpathian region using a complex additive based on polycarboxylates.

Ключові слова: бетонні суміші, карбоксилвмісні полімери, альтернативні заповнювачі, міцність бетону.

Keywords: concrete mixtures, carboxyl-containing polymers, alternative aggregates, concrete strength.

Вступ. Ключовими параметрами, які суттєво впливають на міцність та інші експлуатаційні характеристики затверділого бетону, є тип та властивості грубого заповнювача, кількість і тип цементу, водоцементне відношення, модифікуючі добавки, умови твердіння тощо [1, 2].

Використання міцних заповнювачів, особливо тих, які мають високу адгезію до цементного каменю, підвищує міцність бетону на стиск, розтяг і згин. Жорсткі та щільні заповнювачі знижують деформативність бетону під навантаженням, натомість пористі заповнювачі, навпаки, можуть збільшувати усадку та ефекти повзучості бетону [3]. Стійкість заповнювачів до агресивних чинників (кислот, сульфатів, морозу) позитивно впливає на довговічність бетону, натомість наявність реакційноздатних мінералів у заповнювачах може спричинити небажані ефекти, наприклад, зниження рН-середовища в бетоні, сульфатну корозію, лужно-кремнієві та лужно-карбонатні реакції тощо [4, 5]. Теплопровідність і коефіцієнт теплового розширення заповнювачів впливають на температурні деформації бетону, а їх форма, текстура та гранулометрія – на водопотребу, в'язкість і здатність до укладання бетонної суміші [6, 7]. Таким чином, тип та характеристики заповнювача є одним з визначальних факторів, що забезпечує необхідні експлуатаційні властивості бетону, і цей фактор має бути обов'язково врахованим при розробці складу бетонної суміші.

Реалізація концепції високоякісного бетону (тип бетону з низьким співвідношенням води до цементу) стала можливою завдяки введенню в склад суміші пластифікаторів і вторинних в'язучих. Детальний огляд останніх розробок і досліджень, що стосуються модифікуючих добавок, які використовуються в композитах на основі бетону, подано в працях [8–10]. Зміцнення бетону шляхом введення в цементну матрицю добавок на

полімерній основі вивчалось у працях [11, 12]. Зокрема, увагу авторів дослідження привернули властивості карбоксиліовмісних полімерів. Ці полімери діють як пластифікатори, знижуючи в'язкість бетонної суміші та покращуючи її рухливість і здатність до перекачування [13–15]. Рациональне дозування такої добавки дозволяє зменшити кількість води у складі суміші та підвищити міцність бетону. Карбоксиліовмісні полімери сприяють формуванню щільнішої структури бетону, зменшуючи кількість капілярних пор, разом з цим вони підвищують стійкість бетону до впливу агресивних середовищ, таких як кислоти, сульфати, хлориди тощо. Це забезпечує підвищення довговічності бетонних конструкцій. Завдяки впливу на структурування, карбоксиліовмісні полімери зменшують усадку бетону під час твердіння та знижують ризик виникнення тріщин.

Ефективне проектування компонентного складу бетонних сумішей є важливим елементом сучасної будівельної галузі. Особливої актуальності ця проблематика набуває в умовах Прикарпатського регіону, де доступ до альтернативних заповнювачів з природних ресурсів визначає конкурентоспроможність виробників за умови забезпечення належної якості кінцевої продукції. Власне на території Прикарпаття вельми перспективним є виготовлення бетону високої міцності, з використанням альтернативних заповнювачів із місцевих природних ресурсів. Задля забезпечення потрібних фізико-механічних характеристик бетону до складу сумішей доцільно вводити оптимальну дозу полімерного модифікатора на основі карбоксиліовмісних полімерів. Оцінка ефективності цього процесу стає актуальною задачею, що вимагає комплексного підходу та врахування різноманітних аспектів, таких як технологічність, економічність, екологічність та якість кінцевого продукту.

Метою цього дослідження є вивчення переваг та недоліків використання альтернативних заповнювачів у бетонних сумішах, а також вплив полімерних модифікаторів на властивості цих сумішей, зокрема, на легкоукладальність, збереження пластичності за різних термобаричних умов та часових діапазонів, міцність і довговічність бетонного каменю. Використання результатів дослідження сприятиме розвитку будівельної галузі Прикарпаття, забезпечуючи рациональне використання природних ресурсів, зростання якості споруд і зменшення шкідливого сліду виробництва.

Методи та матеріали. Сьогодні у Прикарпатському регіоні наявні значні запаси природних матеріалів, які можуть бути використані як альтернативні заповнювачі для бетонів. Це, зокрема, різноманітні скельні породи (вапняки, пісковики, сланці), річкові гравійно-піщані відклади тощо. Очевидними перевагами використання місцевих природних ресурсів є економія коштів на транспортуванні заповнювачів, можливість

розроблення нових родовищ, що сприятиме розвитку місцевої промисловості.

Основним завданням статті є підтвердження можливості виготовлення високоміцних класів бетону на альтернативних заповнювачах із природних ресурсів Прикарпаття. Для проведення досліджень було запропоновано запроектувати чотири склади сумішей з рухливістю S4 для виготовлення бетонного каменю класу міцності C32/40. Склади та нумерацію пропонованих бетонних сумішей подано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Склади та нумерація бетонних сумішей

№	В'язуче (портландцемент), кг	Дрібний заповнювач (кварцовий пісок), кг	Крупний заповнювач (щебінь), кг	Вода, кг	Істинне водоцементне відношення, В/Ц	Добавка Plastidor 553, доза, (виграта)
1	СЕМ II/A-LL 42,5 R 510	520	Гранітний 1140	250	0.49	–
2	СЕМ II/A-LL 42,5 R 400	710	Гранітний 1140	180	0.45	0.9%, (3.6 кг)
3	СЕМ II/A-LL 42,5 R 510	580	Пісковик 1050	260	0.51	–
4	СЕМ II/A-LL 42,5 R 430	740	Пісковик 1050	190	0.44	1.2%, (5.16 кг)

Для отримання високоміцного бетону з-поміж традиційних крупних компонентів заповнювачів було вибрано щебінь із грубокристалічних магматичних порід генезису «інтрузивні» гірська порода «граніт» виробництва ТОВ «КОЩІВСЬКИЙ ГРАНІТНИЙ КАР'ЄР», що розміщене у селі Кошівка Фастівського району Київської області.

Як альтернативу було обрано щебінь природних ресурсів Прикарпатського регіону, а саме щебінь зі щільних осадових порід генезису «інтрузивні» гірська порода «пісковик» ТДВ «НАДВІРНЯНСЬКИЙ КАР'ЄР КАРПАТИ», розташований у селі Пасічна Надвірнянського району Івано-Франківської області.

У ролі дрібного заповнювача вибрано кварцовий пісок виробництва «КЛІЩІВНА-ПІСОК» філії ТЗОВ «КОМПАНІЯ ХІМПРОМ» (Івано-Франківська обл., Рогатинський р-н., с.Кліщівна).

Як мінеральний в'язучий матеріал під час досліджень використовувався портландцемент ПЦ II/A-B-500P-N (CEM II/A-LL 42,5 R) виробництва ПрАТ «Івано-Франківськцемент». Такий цемент використовується для виготовлення бетонів класу C25/30 і вище для всіх видів будівельних робіт. Характерними особливостями цієї марки цементу є підвищена стійкість до хімічної корозії та низьке тепловиділення під час монолітного бетонування. Завдяки вмісту специфічної пуцоланової добавки цей матеріал відрізняється від аналогів меншим водовідділенням без застосування хімічних добавок.

Для проектування сумішей №2 та №4 (див. табл. 1) використовували модифікуючу добавку – полімерний модифікатор на основі карбоксилосмісних полімерів Plastidor 553 виробництва ТОВ «Доронік-Україна» (Україна). Виробник постачає добавку у вигляді світло-коричневої рідини з густиною 1.09 т/м³ та з 30% концентрацією діючої речовини. При виготовленні бетону рекомендовано вводити цю добавку одночасно з водою затворення, при цьому слід вкладатись в діапазон дозування 0.8-1.5% від маси цементу. Рекомендується для виготовлення товарного бетону, збірних виробів і конструкцій із важкого та дрібнозернистого бетону класів C8/10 і вище, виготовлення самоущільнючих бетонних сумішей SF2, SF3, зведення конструкцій монолітних споруд із підвищеним ступенем армування та складною конфігурацією тощо.

Для одержання високоміцних класів бетонів одним із ключових факторів для забезпечення щільності упаковки зерен є належний гранулометричний склад компонентів. Для отримання кривих гранулометричних складів (рис. 1 – рис. 3) досліджували описані вище поліфракційні заповнювачі (щебінь гранітний фракції 5–20 мм, щебінь гірської породи (пісковик) фракції 5–20 мм, пісок фракції 0.125–2.0 мм). Важливо оцінити, в якій області перебуває гранулометрична крива заповнювачів. Зерновий склад заповнювачів визначали методом сухого просіювання крізь стандартний набір сит (відповідно до EN 933-1:2012, IDT).

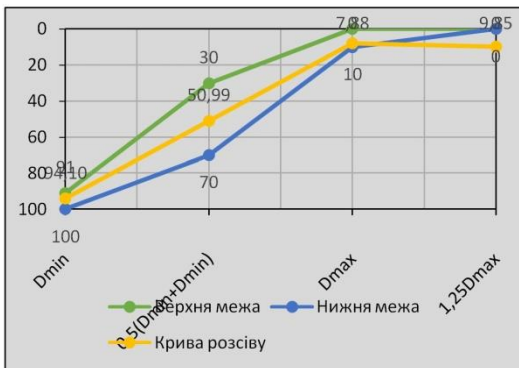


Рисунок 1 – Гранулометричний склад гранітного щебеню

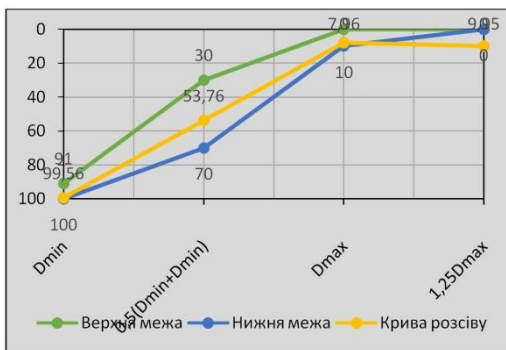


Рисунок 2 – Гранулометричний склад щебеню гірської породи (пісковик)

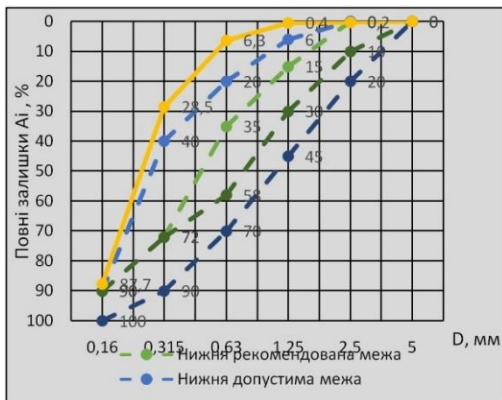


Рисунок 3 – Гранулометричний склад піску («КЛІЩІВНА-ПІСОК»)

Аналіз отриманих залежностей (рис. 1 – рис. 3) вказує на те, що гранулометричні криві заповнювачів знаходяться в областях допустимих складів, які гарантують належну консистенцію та легковкладальність бетонної суміші за мінімальної кількості води, цементу та вмісту повітря. Значення інших фізичних властивостей заповнювачів, а також нормативні документи, згідно з якими вони визначалися, подано в таблиці 2.

Таблиця 2 – Фізичні властивості заповнювачів

Назва показника, що визначається	Од. виміру	Вимоги НД	Отримане значення	Нормативний документ на методи випробувань
Гранітний щебінь ТОВ “КОЩІВСЬКИЙ ГРАНІТНИЙ КАР’ЄР”				
Насипна густина	кг/м ³	–	1452	ДСТУ Б В.2.7-32-95 п.4.17
Марка за дробильністю	%	20-9	10,6 (1400)	ДСТУ Б В.2.7-32-95 п.4.8 ДСТУ Б В.2.7-75-98 п.4.3
Пісковик щебінь ТДВ “НАДВІРНЯНСЬКИЙ КАР’ЄР КАРПАТИ”				
Насипна густина	кг/м ³	1100	1441	ДСТУ Б В.2.7-232:2010 п.11
Модуль крупності	Мк	від 0,5 до 2,75	1,231	ДСТУ Б В.2.7- 232:2010 п.5
Визначення вологості	%	–	3,8	ДСТУ Б В.2.7- 232:2010 п.12
Кварцовий пісок “КЛІЩІВНА-ПІСОК”				
Насипна густина	кг/м ³	1100	1441	ДСТУ Б В.2.7-232:2010 п.11
Модуль крупності	Мк	0,5–2,75	1,231	ДСТУ Б В.2.7- 232:2010 п.5
Визначення вологості	%	–	3,8	ДСТУ Б В.2.7- 232:2010 п.12

Проектування складу сумішей проводилося з урахуванням фізико-механічних характеристик дрібного та крупного заповнювачів, особливостей поведінки мінерального в’язучого матеріалу і властивостей полімерного модифікатора на основі карбоксилівмісних полімерів.

Кількісний компонентний склад бетону розраховувався на 1 м^3 ущільненої бетонної суміші. Проектований склад бетону представили у вигляді 1:Х:У, де кількість в'язучого матеріалу прийнята за одиницю, а компоненти заповнювача (пісок та щебінь) за Х та У, при цьому у кожному випадку задавались водоцементним відношенням (В/Ц). Для обчислення невідомих Х та У витрати кожного матеріалу на 1 м^3 бетонної суміші ділили на витрати цементу у масових долях.

Слід зазначити, що на міцність затверділого бетону та рухливість бетонної суміші впливає низка факторів, які не можуть бути враховані аналітично. Тому остаточний склад бетону визначався розрахунково-експериментальним шляхом. Використовували метод абсолютних об'ємів з уточненням розрахунків по кожній суміші з допомогою виконання пробних замісів [16].

У результаті було запроєктовано та заформовано чотири склади бетонних сумішей (табл. 1). Суміш № 1: крупний заповнювач – щебінь з грубокристалічних магматичних порід генезису «інтрузивні» гірська порода «граніт»; дрібний заповнювач – кварцовий пісок; мінеральне в'язуче – портландцемент СЕМ П/А-LL 42,5 R; вода кімнатної температури. Суміш № 2: крупний заповнювач – щебінь з грубокристалічних магматичних порід генезису «інтрузивні» гірська порода «граніт»; дрібний заповнювач – кварцовий пісок; мінеральне в'язуче – портландцемент СЕМ П/А-LL 42,5 R; вода кімнатної температури, полімерний модифікатор на основі карбоксилівмісних полімерів Plastidor 553 виробництва ТОВ «Доронік-Україна» (Україна). Суміш № 3: крупний заповнювач – щебінь з щільних осадових порід генезису «інтрузивні» гірська порода «пісковик», дрібний заповнювач – кварцовий пісок; мінеральне в'язуче – портландцемент СЕМ П/А-LL 42,5 R; вода кімнатної температури. Суміш № 4: крупний заповнювач – щебінь з щільних осадових порід генезису «інтрузивні» гірська порода «пісковик»; дрібний заповнювач – кварцовий пісок; мінеральне в'язуче – портландцемент СЕМ П/А-LL 42,5 R; вода кімнатної температури; полімерний модифікатор на основі карбоксилівмісних полімерів Plastidor 553 виробництва ТОВ «Доронік-Україна» (Україна).

Результати. Рухливість бетонної суміші визначається її компонентним і кількісним складом, дисперсністю крупного та мілкого заповнювачів, відношенням об'єму матриці до твердих частинок. Будь-які сторонні вclusions (бруд, пил, глина, тонка фракція заповнювача тощо) можуть змінювати рухливість по-різному. Результати визначення рухливості бетонних сумішей при температурі $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ згідно чинних нормативних документів представлено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Визначення рухливості бетонних сумішей
(за ДСТУ Б В.2.7-114-2002)

№	Осадка конуса початкова	Розплив конуса	Осадка конуса через 60 хв.	Розплив конуса	Осадка конуса через 120хв.	Розплив конуса
1	23см	42см	22см	39см	19см	32см
2	23.5см	40см	23см	41см	21см	37см
3	23см	40см	20см	37см	17см	26см
4	23.5см	45см	23см	40см	22см	38см

Формування та випробовування контрольних зразків на міцність відбувалось згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Спосіб і режим тверднення зразків бетону, призначених для контролю міцності, прийнятий згідно з ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Для оцінки міцності бетонних зразків визначали мінімальну стискаючу силу, що спричиняла руйнування (рис. 4). Розділивши визначену силу на площу перерізу зразка, отримували значення руйнуючого нормального напруження.



Рисунок 4 – Загальний вигляд контрольних зразків-кубів до, під час та після випробування

Результати випробувань контрольних зразків на стиск представлено в табл. 4 і 5 та проілюстровано на рис. 5 - 8. Як основні показники міцності контрольних зразків-кубів розглядали характеристики міцності, отримані при випробуваннях на четверту, сьому, двадцять восьму та п'ятдесят шосту добу.

Аналіз отриманих результатів показує, що бетонні куби із сумішей №1 і №3, в рецептурі яких відсутня модифікуюча добавка, поступаються як в ранній міцності, так і в остаточно набраній міцності зразкам із сумішей, у складі яких є добавка Plastidor 553. Бетонний камінь із суміші №1, яка виготовлена на базі крупного заповнювача – гранітного щебеню трохи переважає за міцністю бетон із суміші №3, яка виготовлена на альтернативному крупному заповнювачі. В усіх сумішах швидкість набору міцності є високою до 28 дня твердіння, після цього терміну швидкість твердіння суттєво знижується.

Порівнюючи ранню міцність бетонів із сумішей №2 та №4 і швидкість набору їх міцності до 56-тої доби твердіння, можна зробити висновок, що полімерний модифікатор на основі карбоксилівмісних полімерів виявився ефективнішим для компонентного складу суміші №4.

Отже, у разі виготовлення сумішей без застосування модифікуючої добавки бетонний камінь на альтернативному заповнювачі трохи поступається за міцністю бетону на традиційному заповнювачі. Однак застосування добавки Plastidor 553 дозволяє отримати високоміцний бетон на альтернативних заповнювачах Прикарпаття. Зокрема, міцність кубів із суміші №4 уже на 28 добу твердіння переважає нормативну середню міцність бетону класу С32/40.

Таблиця 4 – Результати випробувань контрольних зразків на 4 і 7 добу

№	4 доба			7 доба		
	Маса, кг	Руйнівне навантаження, МПа	Сер. значення, МПа / % від класової міцності	Маса, кг	Руйнівне навантаження, МПа	Сер. значення, МПа / % від класової міцності
1	2358/2354	22,76/22,68	22,72 / 44,21	2366/2354	28,77/28,18	28,47/55,39
2	2404/2410	31,23/30,84	31,03 / 60,38	2369/2374	36,49/36,39	36,44/70,90
3	2315/2317	19,12/19,53	19,32 / 37,59	2271/2276	27,25/26,83	27,04/52,61
4	2390/2388	34,69/34,14	34,41 / 66,95	2340/2349	44,11/41,25	42,68/82,56

Таблиця 5 – Результати випробувань контрольних зразків на двадцять восьму та п'ятдесят шосту добу

№	28 доба			56 доба		
	Маса, кг	Руйнівне навантаження, МПа	Сер. значення, МПа / % від класової міцності	Маса, кг	Руйнівне навантаження, МПа	Сер. значення, МПа / % від класової міцності
1	2335/2340	39,21/38,62	38,91/75,71	2345/2343	41,53/40,04	40,78/79,35
2	2382/2386	51,69/51,55	51,62/100,44	2385/2380	56,43/56,39	56,41/109,76
3	2304/2277	39,08/40,66	39,87/77,58	2310/2303	41,34/41,16	41,25/80,26
4	2339/2361	55,99/53,86	54,92/106,86	2352/2365	58,11/57,98	58,04/112,94

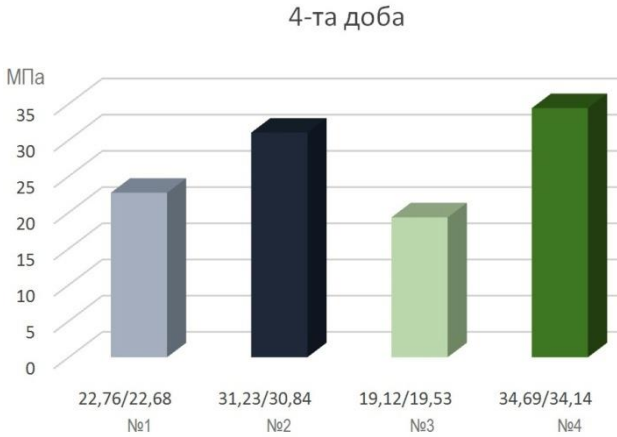


Рисунок 5 – Оцінка міцності бетонних зразків (4-та доба тверднення)

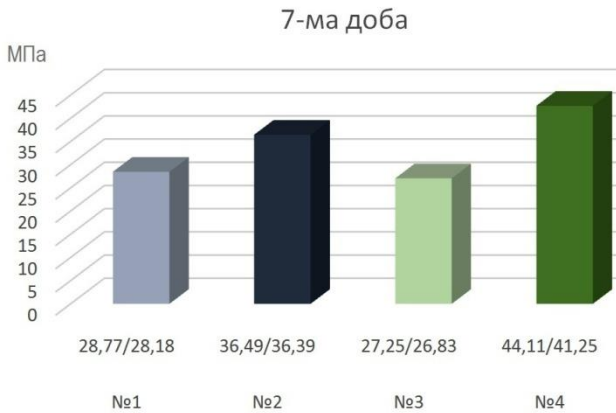


Рисунок 6 – Оцінка міцності бетонних зразків (7-ма доба тверднення)

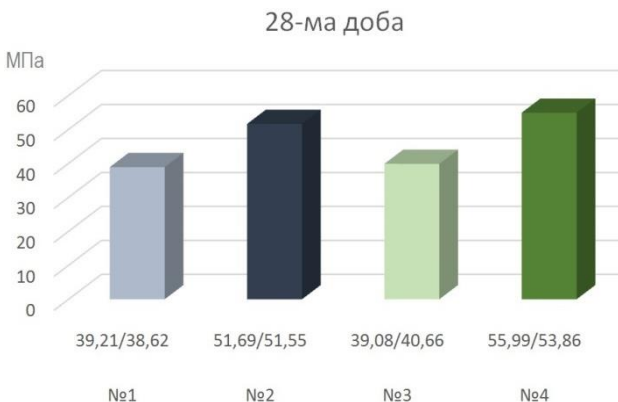


Рисунок 7 – Оцінка міцності бетонних зразків (28-ма доба тверднення)

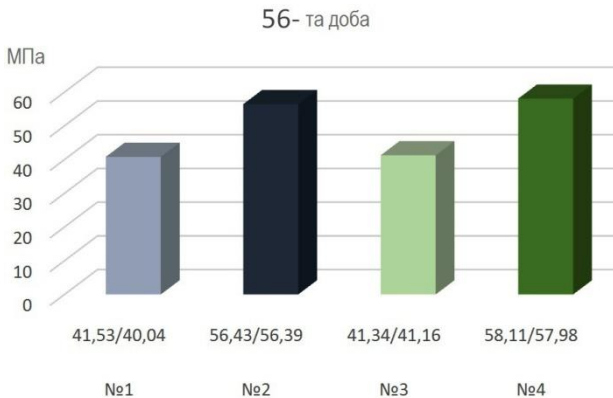


Рисунок 8 – Оцінка міцності бетонних зразків (56-та доба тверднення)

Висновки. Проведені дослідження свідчать про високий потенціал використання альтернативних заповнювачів у проектуванні складу бетонних сумішей, що експериментально було доведено в рамках представлених випробувань. Результати експерименту демонструють можливість виготовлення високоміцних класів бетону з використанням заповнювачів із природних ресурсів Прикарпатського регіону та введенням у склад сумішей

полімерних модифікаторів на основі карбоксилівмісних полімерів. Застосування полімерних модифікаторів дозволяє підвищити характеристики міцності бетонного каменю та покращити фізико-механічні властивості бетонної суміші. Застосування пропонованого підходу має потенціал для покращення якості бетонних конструкцій та зниження витрат на будівництво, зокрема, за рахунок використання місцевих ресурсів. Отримані результати мотивують до подальших досліджень і розвитку започаткованої тематики та можуть бути використані при розробці нових технологій у будівельній галузі.

References

1. Teymen A. Statistical investigation of the effects of different origin aggregate properties on the mechanical properties of concrete. *Revista de la construcción*. 2023. Vol. 22, no. 2. <https://doi.org/10.7764/rdlc.22.2.482>
2. Tugrul Tunc E., Alyamac K. E. Determination of the relationship between the Los Angeles abrasion values of aggregates and concrete strength using the Response Surface Methodology. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 260. P. 119850. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119850>
3. Influence of Coarse Aggregate Type on the Mechanical Strengths and Durability of Cement Concrete / L. Wang et al. *Coatings*. 2021. Vol. 11, no. 9. P. 1036. <https://doi.org/10.3390/coatings11091036>
4. Yehia S., Abdelfatah A., Mansour D. Effect of Aggregate Type and Specimen Configuration on Concrete Compressive Strength. *Crystals*. 2020. Vol. 10, no. 7. P. 625. <https://doi.org/10.3390/cryst10070625>
5. Mechanical properties of graphene oxide modified ultra-high-performance concrete containing coarse aggregate / K. Mao et al. *Journal of Building Engineering*. 2024. P. 108754. doi.org/10.1016/j.jobe.2024.108754
6. Vishalakshi K. P., Revathi V., Sivamurthy Reddy S. Effect of type of coarse aggregate on the strength properties and fracture energy of normal and high strength concrete. *Engineering Fracture Mechanics*. 2018. Vol. 194. P. 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2018.02.029>
7. Lee T., Jeong K., Choi H. Effect of Thermal Properties of Aggregates on the Mechanical Properties of High Strength Concrete under Loading and High Temperature Conditions. *Materials*. 2021. Vol. 14, no. 20. P. 6093. <https://doi.org/10.3390/ma14206093>
8. Kujawa W., Olewnik-Kruszkowska E., Nowaczyk J. Concrete Strengthening by Introducing Polymer-Based Additives into the Cement Matrix – A Mini Review. *Materials*. 2021. Vol. 14, no. 20. P. 6071. <https://doi.org/10.3390/ma14206071>

9. Jabal Q. A., Al-Dikheeli M. R. The Effect of Integral Waterproof Admixture on some Mechanical Properties of Concrete, Absorption and Sulfate Attack Using Different Mix Proportions. *Key Engineering Materials*. 2021. Vol. 895. P. 88–96. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.895.88>
10. Enhancing the mechanical behavior of concretes through polymer modification of the aggregate-cement paste interface / Y. Liu et al. *Journal of Building Engineering*. 2022. P. 104605. doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104605
11. Tripathi B. Effects of Polymers on Cement Hydration and Properties of Concrete: A Review. *ACS Omega*. 2024. Vol. 9. P. 2014–2021. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c05914>
12. Effect of Polymer Additives on the Microstructure and Mechanical Properties of Self-Leveling Rubberised Concrete / W. Kujawa et al. *Materials*. 2021. Vol. 15, no. 1. P. 249. <https://doi.org/10.3390/ma15010249>
13. A review on the modification mechanism of polymer on cement-based materials / L. Fan et al. *Journal of Materials Research and Technology*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.08.291>
14. Effectiveness of the Use of Polymers in High-Performance Concrete Containing Silica Fume / A. Harichane et al. *Polymers*. 2023. Vol. 15, no. 18. P. 3730. <https://doi.org/10.3390/polym15183730>
15. Modeling the Impact of Liquid Polymers on Concrete Stability in Terms of a Slump and Compressive Strength / A. S. Mohammed et al. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, no. 2. P. 1208. <https://doi.org/10.3390/app13021208>
16. Use of operational research techniques for concrete mix design: A systematic review / A. C. Rosa et al. *Heliyon*. 2023. P. e15362. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15362>

УДК 539.3 [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-03](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-03)

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕРМОПРУЖНОГО СТАНУ ОБОЛОНКОВОЇ СИСТЕМИ

MODELING AND ANALYSIS OF THE THERMAL ELASTIC STATE OF THE SHELL SYSTEM

Бондарський О.Г., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет), Ужегова О.А., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет)

Bondarskyi O.G. Ph.D. in Engineering, Associate Professor, (Lutsk National Technical University), Uzhogova O.A., Ph.D., Associate Professor (Lutsk National Technical University)

Розглядається вплив коефіцієнта теплопровідності на параметри термопружного стану тришарової ортотропної розбіжної оболонки типу «циліндр – конус».

Structural elements in the form of rotating shells made of composite materials are used quite often in various industries. Such shells, as a rule, have a multi-layered structure and are subject to the combined influence of force and temperature factors. Therefore, the questions related to the calculations of shell systems for thermoforce loads are quite relevant in the design and construction of such structures.

The calculation of structures consisting of multilayer shell systems of different configurations is a rather complex mathematical problem, especially in cases where the shell layers have properties of orthotropy.

The implementation of such problems by analytical methods is possible only for a narrow class of shells under certain boundary conditions and certain loads.

The calculation of multilayer structures based on the classical theory of Kirchhoff-Lewa, as numerous studies have shown, in many cases gives rather large errors.

In view of this, applied refined theories were developed which take into account transverse shear deformation and compression in the calculations. As research has shown, on the basis of such models, fairly accurate values of the parameters of the stress-strain state of multilayer orthotropic shells were obtained.

Quite often, such structures are affected not only by force factors but also by temperature loads. A mathematical model was proposed that took into account temperature effects when calculating the stress-strain state of multilayer orthotropic plates and shells.

This article considers the problem of determining the thermoelastic state of a three-layer orthotropic shell under the influence of a temperature field and a force load.

The purpose of this work is to study the influence of the thermomechanical characteristics of the material of the layers on the thermoelastic state of the shell system.

A divergent three-layer shell of the "cylinder-cone" type is considered, which is under the influence of the temperature field and force load under the conditions of convective heat exchange with the surrounding environment.

A load uniformly distributed over the surface acts on the shell. The shell has three layers, two of which are bearing layers and one layer is aggregate.

Ключові слова: багатoshарові оболонки і пластини, кінцево-зсувна модель теорії оболонок.

Keywords: multilayer shells and plates, finite-displacement model of shell theory.

Вступ. Досить часто в різних галузях промисловості застосовуються конструктивні елементи у вигляді оболонок обертання які виготовлені із композитних матеріалів. Такі оболонки мають, як правило, багатoshарову структуру і піддаються комбінованому впливу силових і температурних факторів. Тому питання, які пов'язані із розрахунками оболоноквих систем на термосилові навантаження, є досить актуальними при проектуванні та спорудженні таких конструкцій [1,2,3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Постановка проблеми.

Розрахунок конструкцій, що складаються із багатoshарових оболоноквих систем різної конфігурації, є досить складною математичною задачею, особливо у тих випадках, коли шари оболонки володіють властивостями ортотропії.

Реалізація таких задач аналітичними методами можлива тільки для вузького класу оболонок при певних граничних умовах і певних навантаженнях.

Розрахунок багатoshарових конструкцій на основі класичної теорії Кірхгофа – Лява, як показали багаточисленні дослідження, в багатьох випадках дає досить великі похибки.

З огляду на це, були розроблені прикладні уточнені теорії які у розрахунках враховують деформацію поперечного зсуву і обтиснення. Як показали дослідження на основі таких моделей були отримані досить точні значення параметрів напружено-деформованого стану багатoshарових ортотропних оболонок [1,2,3].

Досить часто такі конструкції піддаються впливу не тільки силових факторів, але і дії температурних навантажень. Була запропонована математична модель, яка враховувала при розрахунках напружено-деформованого стану багатoshарових ортотропних пластин і оболонок, ще і температурні впливи.

В даній статті розглядається задача визначення термопружного стану тришарової ортотропної оболонки яка знаходиться під впливом температурного поля і силового навантаження.

Метою цієї роботи є дослідження впливу термомеханічних характеристик матеріалу шарів на термопружний стан оболонкової системи.

Основна частина. Розглядається розбіжна тришарова оболонка типу “циліндр-конус” (рис.1) яка знаходиться під дією температурного поля і силового навантаження в умовах конвективного теплообміну з оточуючим середовищем.

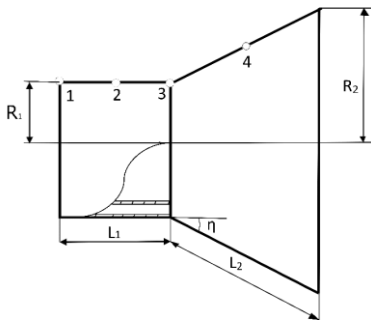


Рис. 1. Конструктивна схема оболонки

Характеристики температурного поля наступні

$$\Theta_1 = \Theta_2 = \Theta_3 = 20^\circ\text{C}, \quad \Theta_4 = 100^\circ\text{C},$$

де Θ_1, Θ_2 , - величини температур, до яких нагріті лівий та правий торці оболонки; Θ_3 - температура, яку має внутрішня поверхня оболонки, а Θ_4 - температура зовнішньої поверхні оболонки.

На оболонку діє рівномірно розподілене по поверхні навантаження, інтенсивність якого дорівнює

$$q = 0,03 \text{ МПа.}$$

Оболонка має три шари, з яких два – несучі шари та один шар – заповнювач. Товщини несучих шарів $t_1 = t_3 = t_n = 0,001$ м, а товщина заповнювача $t_2 = t_{\text{зап}} = 0,012$ м.

Оболонка має довжину $L = 0,4$ м; довжина циліндричної частини - $L_1 = 0,19$ м. Кут конусності $\eta = 25^\circ$.

Шари оболонки володіють наступними характеристиками.

Модуль пружності несучих шарів - $E_n = 7 \cdot 10^4$ МПа, заповнювача - $E_{\text{зап}} = 70$ МПа.

Коефіцієнт Пуассона несучих шарів - $\nu_n = 0,3$, заповнювача - $\nu_{\text{зап}} = 0,1$.

Коефіцієнти тепловіддачі зовнішньої та внутрішньої поверхонь оболонки - $a_3 = a_4 = 1500$ Вт/(м²·К), а для правого і лівого торців оболонки - $a_1 = a_2 = 200$ Вт/(м²·К).

Коефіцієнти лінійного теплового розширення несучих шарів - $\alpha_n = 0,238 \cdot 10^{-4} 1/K$, а для заповнювача - $\alpha_{зап} = 0$.

Коефіцієнти теплопровідності несучих шарів приймалися фіксованими - $\lambda_n = 100 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а заповнювача змінювався так, щоб виконувалася умова

$$-1 \leq \left[\gamma = \lg \left(\frac{\lambda_n}{\lambda_{зап}} \right) \right] \leq 2.$$

В якості граничних умов приймалося, що оболонка має шарнірне спирання при відсутності переміщень торців вздовж осі оболонки.

Для розрахунку такої оболонки застосовувалася математична модель термопружного стану багат шарових ортотропних оболонок [3].

Результати розрахунку термопружного стану оболонки для трьох січень по довжині конструкції наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку оболонки

Номер січення	Величини переміщень та напружень				
	$U_z \cdot 10^{-4}, \text{ м}$	$\sigma_{11}^-, \text{ МПа}$	$\sigma_{11}^+, \text{ МПа}$	$\sigma_{22}^-, \text{ МПа}$	$\sigma_{22}^+, \text{ МПа}$
$\gamma = -1$					
2	1,92	-50,6	-164	86,1	-81,1
3	-1,65	348	-563	-44,1	-451
4	2,75	-19,8	-136	81,0	-70,9
$\gamma = 0$					
2	1,98	-62,7	-152	83,0	-77,0
3	-1,64	339	-554	-46,3	-448
4	2,77	-30,3	-125	76,2	-64,3
$\gamma = 1$					
2	1,93	-65,8	-149	82,2	-75,9
3	-1,64	337	-552	-46,9	-447
4	2,77	-33,0	-122	75,0	-62,5
$\gamma = 2$					
2	1,93	-66,1	-148	82,1	-75,8
3	-1,64	337	-552	-47,0	-447
4	2,77	-33,4	-122	74,8	-62,3

З наведених результатів випливає, що переміщення U_z із збільшенням γ залишаються майже постійними, а напруження $\sigma_{11}^-, \sigma_{11}^+, \sigma_{22}^-, \sigma_{22}^+$ суттєво змінюються. Так меридіональні напруження σ_{11}^- в проміжних січеннях (т.2 і т.4) при збільшенні відносного коефіцієнта теплопровідності в межах $-1 \leq \gamma \leq 0$, значно збільшуються: для січення 2 різниця в результатах дорівнює 19%, а для січення 4 - 35%. При подальшому збільшенні γ ця різниця помітно зменшується.

Меридіональні напруження σ_{11}^+ і окружні $\sigma_{22}^+, \sigma_{22}^-$ при збільшенні γ зменшуються, при цьому найбільш суттєво також в діапазоні $-1 \leq \gamma \leq 0$. Вказане явище пояснюється тим, що якраз в діапазоні $-1 \leq \gamma \leq 0$ епюра температури якісно змінює свій характер, що і приводить до перерозподілу напруженого стану такої оболонкової системи.

References

1. Pasichnyk R., Pasichnyk O., Uzhegova O., Andriichuk O., Bondarskii O. Calculation Optimization of Complex Shape Shells by Numerical Method. In: Ivanov V. et al. Advances in Design, Simulation, and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. pp 643-652. DOI:10.1007/978-3-030-22365-6_64. Online ISBN 978-3-030-22365-6. SCOPUS
2. Pankratova N.D., Rasskazov A.O., Bondar A.G., Bondarskii A.G. Thermostress state of shear-pliable multilayer orthotropic shells and plates. Soviet Applied Mechanics, 1987, 23(7), pp. 658–663
3. Bondar A.G., Rasskazov A.O., Kozlov V.I., Bondarskii A.G. Thermoelastic equilibrium of multilayered composite shells. Strength of Materials., 1989, 21(6), pp. 784–789
4. Grigorenko Y.M., Vasylenko A.T., Pankratova N.D. To the resolution of the stress state of thick-walled inhomogeneous shells. - Application mechanics, 1974, Vol. 10, No. 5, pp. 86-93.
5. Bondarskyi O.G., Uzhegova O.A. Modeling and research of the thermoelastic state of a three-layer composite shell // Modern technologies and calculation methods in construction: Collection. of science works - Lutsk: Lutsk National Technical University, 2022. - Issue 18. - pp. 34-39.
6. Rasskazov O.O., Sokolovska I.I., Shulga M.A. Theory and calculation of layered orthotropic plates and shells. Kyiv: Higher School. 1986. – 191 p.
7. Bondarskyi O.G., Babkov O.V. The influence of the thermal sensitivity of the material of the layers on the stress-strain state of multilayer shells and plates // Modern technologies and methods of calculations in construction: Collection. of science works - Lutsk: Lutsk National Technical University, 2021. - Vol. 16. – pp. 20-25
8. Grigorenko Y.M., Vasylenko A.T., Pankratova N.D. Statics of anisotropic thin-walled shells. Kyiv: Higher School. 1985. – 189 p.

9. Bondarskyi O.G., Babkov O.V., Kosenko V.I. Methodology of numerical solution of boundary value problems of statics of multilayer structure systems. // Interuniversity collection "Scientific notes". – Issue #33. – 2011. – P. 50–52

Література

1. Pasichnyk R., Pasichnyk O., Uzhegova O., Andriichuk O., Bondarskii O. Calculation Optimization of Complex Shape Shells by Numerical Method. In: Ivanov V. et al. Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. pp 643–652. DOI:10.1007/978-3-030-22365-6_64. Online ISBN 978-3-030-22365-6. SCOPUS

2. Pankratova N.D., Rasskazov A.O., Bondar A.G., Bondarskii A.G. Thermostress state of shear-pliable multilayer orthotropic shells and plates. Soviet Applied Mechanics, 1987, 23(7), pp. 658–663

3. Bondar A.G., Rasskazov A.O., Kozlov V.I., Bondarskii A.G. Thermoelastic equilibrium of multilayered composite shells. Strength of Materials. 1989, 21(6), pp. 784–789

4. Григоренко Я.М., Василенко А.Т., Панкратова Н.Д. До розв'язку напруженого стану товстостінних неоднорідних оболонок. – Прикладна механіка, 1974, Т.10, №5, С. 86–93

5. Бондарський О.Г., Ужегова О.А. Моделювання та дослідження термопружного стану тришарової складеної оболонки // Сучасні технології та методи розрахунків в будівництві: Зб. наук. праць – Луцьк: Луцький НТУ, 2022. – Вип. 18. – С. 34–39

6. Рассказов О.О., Соколовська І.І., Шульга М.А. Теорія і розрахунок шаруватих ортотропних пластин і оболонок. Київ: Вища школа. 1986. – 191 с.

7. Бондарський О.Г., Бабков О.В. Вплив термочутливості матеріалу шарів на напружено-деформований стан багатошарових оболонок і пластин // Сучасні технології та методи розрахунків в будівництві: Зб. наук. праць – Луцьк: Луцький НТУ, 2021. – Вип. 16. – С. 20–25

8. Григоренко Я.М., Василенко А.Т., Панкратова Н.Д. Статика анізотропних тонкостінних оболонок. Київ: Вища школа. 1985. – 189 с.

9. Бондарський О.Г., Бабков О.В., Косенко В.І. Методика чисельного розв'язання крайових задач статки систем багатошарової структури. // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Випуск №33. – 2011. – С. 50–52

УДК: 528.5

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-04](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-04)

**ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ
ГЕОДЕЗИЧНОГО ПРИЛАДОБУДУВАННЯ:
ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО
НІВЕЛЮВАННЯ**

**THE HISTORICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT
OF GEODESIC INSTRUMENT CONSTRUCTION:
INSTRUMENTS FOR GEOMETRIC LEVELING**

Верешко О.В., старший викладач (Луцький національний технічний університет), Король П.П., к. геогр. н., доцент, Пугач С.О., д. геогр. н., професор (Волинський національний університет імені Лесі Українки)

Vereshko O.V., senior lecturer (Lutsk National Technical University), Korol P.P., Ph.D. (Geography), Associate Professor, Puhach S.O., DS (Geography), Professor (Lesya Ukrainka Volyn National University)

У даній роботі з історичних позицій проаналізовано еволюційний розвиток геодезичного приладобудування на прикладі приладів для виконання геометричного нівелювання: від римського хоробата до автоматичного оптичного нівеліра з компенсатором і внутрішнім фокусуванням. Підкреслено важливість конструктивних удосконалень оптичних геодезичних приладів та їх внесок у розробку сучасних електронних нівелірів.

Leveling is the most common type of topographic-geodetic work, which is performed to determine elevations between points on the physical surface of the Earth or their heights relative to the accepted starting surface. Geometric leveling is the most accurate method of all leveling methods. In geometric leveling, a horizontal sighting beam is used, which is obtained mainly with the help of geodetic devices, which are called levels. In general, this type of work is performed with equipment, which includes a tripod, a pair of rails, and a level, which, of course, is the main part of the set. An optical level is the simplest and most common geodetic device designed to measure elevations of one point of terrain over another. Their diversity is due to a wide range of areas of application: from construction and installation of equipment to the creation of state leveling networks. Devices are used to determine the difference in height of points. According to accuracy, these devices are divided into technical levels, accurate, and high-precision levels. Most modern optical levels are equipped with an automatic compensator (for automatic setting of the sighting axis in a horizontal position), have a direct image, and a horizontal limb (the price of a division of 1"). Some models of levelers have a special device to protect the compensator

mechanism from accidental shocks and damage when carrying the leveler in a case. Readings are taken using special leveling rails. The difference between the readings gives an excess on the terrain.

In this work, the evolutionary development of geodetic instrumentation is analyzed from a historical perspective using the example of devices for performing geometric leveling: from the Roman trowel to the automatic optical leveler with a compensator and internal focusing. The importance of constructive improvements of geodetic instruments and their influence to the development of modern electronic levels is emphasized.

Ключові слова: геометричне нівелювання, оптичний нівелір, циліндричний контактний рівень, компенсатор, внутрішнє фокусування зорової труби

Keywords: geometric leveling, optical level, cylindrical contact level, compensator, internal focusing of the optical tube

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку топографо-геодезичного виробництва до виконання польового етапу робіт висувуються підвищені вимоги, зокрема вони повинні проводитись у найкоротші терміни і з максимальною точністю, тому виконавці масово замінюють перевірені роками аналогові оптичні прилади сучасним цифровим і лазерним обладнанням. Новітні моделі геодезичних вимірювальних приладів, зокрема нівелірів, широко використовуються у промисловому і цивільному будівництві, картографії, маркшейдерії тощо.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Проблема необхідності удосконалення геодезичних приладів, зокрема нівелірів, активно досліджується у працях вітчизняних та зарубіжних науковців О. Анисенка, К. Платонові [1], В. Борового [2], Я. Костецької [5], Л. Назарова, А. Алтинова, В. Грошева [8], О. Мороза, І. Тревого, Т. Шевченко [10, 11] та ін. Ними здійснено вагомий внесок у розвиток даного напрямку наукових досліджень, але теоретичні та методичні засади здійснення модернізації геодезичних приладів є недостатньо дослідженими і потребують подальшого вивчення з позицій ретроспективного аналізу практичних здобутків у сфері геодезичного приладобудування минулих років.

Формулювання мети, постановка завдання статті. Першочерговим завданням дослідження є обґрунтування доцільності та напрямків вдосконалення конструкції сучасних електронних нівелірів на основі детального аналізу еволюції приладів для виконання геометричного нівелювання: від найпростішого римського хоробата до автоматичного оптичного нівеліра з компенсатором і внутрішнім фокусуванням.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нівелювання є найпоширенішим видом топографо-геодезичних робіт, що проводиться з метою встановлення перевищень між точками фізичної поверхні Землі або їх висот відносно заданої вихідної рівневої поверхні. Нівелювання

використовується для визначення висот опорних точок державної і знімальних висотних та планово-висотних геодезичних мереж, а також мереж згущення, при топографічних зніманнях місцевості, при будівництві шляхів сполучення, водо- та газопроводів, промислових та соціально-культурних об'єктів тощо. Існують різні методи нівелювання: геометричне, тригонометричне, фізичне (барометричне, лазерне, гідро- та аеронівелювання), стереофотограмметричне, механічне. Основним і найбільш поширеним методом нівелювання є геометричне нівелювання. При геометричному нівелюванні використовується горизонтальний промінь візування, який отримують переважно за допомогою геодезичних приладів, які називають нівелірами. Загалом, даний вид робіт виконується комплектом устаткування, до складу якого входять штатив, пара рейок і нівелір, що, безумовно, є основною частиною комплекту.

Класичний оптичний нівелір має багатолітню історію, що налічує не одне століття, а його конструкція зазнавала постійних змін і удосконалень.. На даний час найпоширенішими є автоматичні оптичні нівеліри – прилади, які містять спеціальний конструктивний вузол – компенсатор, що призначений для автоматичного утримання оптичної осі нівеліра в робочому горизонтальному положенні. Застосування такого підходу значно підвищує надійність кінцевих результатів, спрощує та оптимізує працю виконавців і економить їх робочий час. У результаті розвитку сучасних технологій з'явилися нові види приладів: електронні (цифрові) і лазерні нівеліри. У даній роботі розглядається еволюція розвитку оптичних інструментів, що реалізують метод геометричного нівелювання.

В епоху еллінізму (323-30 рр. до н. е.) як особливого етапу в розвитку давньогрецької культури, інструментарій землеміра досягнув високого рівня розвитку. У розпорядженні землеміра, крім діоптри і громи, що використовувались для побудови на місцевості перпендикулярних і паралельних ліній, знаходився хоробат – точний інструмент для виконання геометричного нівелювання. У наукових працях сучасних авторів наводяться ілюстрації реконструкції хоробата у вигляді бруса довжиною 6 м з жолобом у центрі для водяного рівня, двома висками та візирами на його протилежних кінцях (рис. 1).

У II ст. до н. е. Герон Александрійський у трактаті «Про діоптри» описує конструкцію водяних нівелірів, що використовувались на той час і складались з двох заповнених рідиною сполучених посудин з діоптрами та рейками. Надалі водяні нівеліри з аналогічним принципом роботи, в основу роботи яких покладено закони гідростатики, згадуються в інженерних розробках винахідників епохи Відродження (XIV-XVI ст.) у дещо видозміненому вигляді. На середині з'єднувальної металічної трубки було розміщено гільзу для насадки на цапфу штатива, а на її кінцях з

перпендикулярними згинами догори, були вставлені скляні колби, як правило, однакового діаметра. Нівеліри, що конструктивно склались із латунної трубки зі скляними колбами на обох її кінцях, використовувались до початку ХХ ст. Подальше вдосконалення конструкції дозволило розробити прилади для виконання гідростатичного і гідромеханічного нівелювання.



Рис. 1. Зовнішній вигляд хоробата (реконструкція)

Значним кроком у вдосконаленні приладів для вимірювання перевищень методом геометричного нівелювання стала поява циліндричного рівня, який був виготовлений у 1662 році французьким механіком Мельхіседеком Тевено (1620-1691). Циліндричний рівень представляє собою скляну трубку або ампулу, внутрішня поверхня якої у поздовжньому розрізі має вигляд дуги круга радіусом від 3,5 до 200 мм. При виготовленні рівня ампулу заповнюють легкорухомою рідиною, нагрівають та запаюють. Після охолодження всередині ампули утворюється невеликий простір, заповнений парами рідини, який називають бульбашкою рівня. Найпростішим нівеліром є аліада з циліндричним рівнем і двома діоптрами. Аліада обертається у горизонтальній площині відносно підставки з трьома підйомними гвинтами, що скріплюється з штативом. Циліндричний рівень великої довжини з малою кривиною підвищує чутливість інструмента до його нахилу у горизонтальній площині, а підставка з підйомними гвинтами забезпечує його стійкість. Більшість дослідників відносять геодезичні прилади, зокрема нівелір, до класу оптико-механічних за умови наявності зорової труби з системою лінз, тому таку конструкцію аліади з рівнем та діоптрами можна вважати початком етапу переходу від механічних нівелірів до оптико-механічних, оскільки в такому випадку пара діоптрів виконує роль зорової труби з сіткою ниток.

Принципові зміни у конструкції геодезичних приладів, зокрема нівеліра, відбулись у 1609 році після винаходу Галілео Галілеєм (1564-1642) зорової труби, а також у 1611 році після додавання Йоганном Кеплером (1571-1630) сітки ниток в поле зору зорової труби. Першим, хто використав переваги зорової труби з сіткою ниток для виконання геодезичних вимірювань, був Жан Пікар (1620-1682), який «оснастив прицільний пристрій свого квадранта не відкритими діоптрами, а лінзами і сіткою ниток». Запропонована конструкція дозволяла, з одного боку, однозначно зафіксувати візирну вісь зорової труби відносно її корпусу, а з іншого – визначати її висотне положення за розміщенням горизонтальної лінії сітки ниток на рейці, що знаходиться на значній відстані (від 50 і більше метрів) від приладу. Перші конструкції нівелірів із зоровою трубою з'явились на початку XIX ст., зокрема вперше нівелір із зоровою трубою для визначення висот точок місцевості горизонтальним променем візування був використаний французьким інженером Бурдалем у 1857-1864 рр.

У XIX столітті широкого поширення у світі набули нівеліри «французької» конструкції або нівеліри «з перекладною трубою і рівнем при підставці»: на тригері з трьома підйомними гвинтами закріплювалась підставка з циліндричним рівнем, на краях якої розміщувались вилкоподібні опори – «лагери» або «цапфи», в які, перед виконанням вимірювання перевищення двома варіантами, закладалась і закріплювалась зорова труба (рис. 2).



Рис. 2. Нівелір з перекладною трубою типу Его
Франція, DROUHIN CONSTRUCTEUR (кінець XIX – початок XX ст.)

У першому варіанті об'єktiv труби знаходився зліва від підставки, а у другому – справа. При цьому зміна напрямку візування здійснювалась не поворотом підставки на 180° , а зміною положення труби в лагерах. Така конструкція забезпечувала значне підвищення точності вимірювання

перевищень. Крім «французької», використовувались і інші конструкції нівелірів, зокрема «німецька», у якій циліндричний рівень розміщувався під зоровою трубою і жорстко прикріплювався до неї, та «швейцарська» – з циліндричним рівнем над зоровою трубою. Перевага двох останніх конструкцій над «французькою» є очевидною, оскільки зорова труба може мати нахил при перекладанні на «строго горизонтальних лагерах», а наявність рівня при трубі дозволяє одразу виявляти дану помилку.

На територіях з незначними перепадами висот нівеліри широко використовувались при вертикальному зніманні місцевості, виконанні розмічувальних робіт і відкладанні заданих напрямків. З цією метою вони доповнювались засобами орієнтування, наприклад, бусоллю, яка жорстко скріплювалась з підставкою. Використання бусолі для визначення азимута напрямку виявилось корисною опцією при роботі з нівелірами з перекладною трубою, тому вони використовувались до середини ХХ ст.

З часом, при експлуатації, точність нівелірів з перекладною трубою зменшувалась, оскільки при виконанні польових робіт ложементи лагерів зношувались або забруднювались, що призводило до порушення горизонтального положення візирної осі зорової труби. Постійне підвищення вимог до точності вимірювання перевищень методом геометричного нівелювання вимагало розробки нових конструкторських рішень, тому згодом була запропонована нова конструкція, яка отримала достатньо просту і лаконічну назву – нівелір глухий (рис. 3). Назва нівеліра відповідала конструктивному розміщенню трьох основних його складових частин – зорової труби, циліндричного рівня і підставки, які «з'єднувались між собою наглухо, без можливості будь-яких перекладань».

Глухі нівеліри почали виготовляти на початку ХХ ст. і поступово витіснили нівеліри з перекладною трубою. Як і нівеліри з перекладною трубою, так і глухі нівеліри нерідко використовувались при висотному зніманні територій.

Таке знімання виконувалось за попередньо закріпленими на місцевості точками або безпосередньо у процесі нівелювання. З цією метою виготовлялись нівеліри з горизонтальним кругом, що складалися із лімба, закріпленого на підставці, і аліади, розміщеної співвісно з ним, що обертається разом з трубою. У вищеописаних конструкціях нівелірів технологією вимірювань було передбачено, що спочатку бульбашка циліндричного рівня приводиться у нуль-пункт, а тоді береться відлік за

рейкою. З метою скорочення проміжку часу між цими операціями та контролю положення бульбашки рівня при взятті відліку, в деяких конструкціях нівелірів початку ХХ ст. зображення бульбашки рівня за допомогою дзеркальця передавалось у поле зору труби у вигляді «розрізаного» рівня. Саме «розрізаний» або «контактний рівень» виявився більш ефективним і простим рішенням, а тому почав широко використовуватись у глухих нівелірах.



Рис. 3. Нівелір глухий з висувним об'єктивом і трьома зйомними ніжками США, Нью-Йорк, Keuffel & Esser Co. (1914-1915 pp.)

До істотних змін у конструкції нівелірів призвів винахід компенсатора – пристрою для автоматичного «утримання» лінії візування у горизонтальному положенні. Прилади такого типу також називають нівелірами із самовстановною лінією візування. Циліндричний рівень був замінений автоматичним пристроєм, що дозволяє встановлювати візирну вісь у горизонтальне положення при куті її нахилу до декількох хвилин. Наявність компенсатора значно підвищує продуктивність геометричного нівелювання, що дозволяє скоротити час роботи до 40%. Першими нівелірами із самовстановною лінією візування можна вважати маятникові нівеліри-ватерпаси з діоптрами. Після цього з'явилися маятникові нівеліри із зоровою трубою. Одним з таких приладів був маятниковий ватерпас Пікара (XVII ст.), що складався із зорової труби і коробки з маятником довжиною 1,3 м. Подібна конструкція була застосована у маятниковому

нівелірі Гульє, що призначався для виконання маркшейдерських робіт та в нівелірах з перископічною трубою і самовстановною лінією візування.

Висновки. Детальний аналіз конструктивних удосконалень дозволить прослідкувати еволюційний розвиток приладів для виконання геометричного нівелювання. Наступним кроком у розвитку нівелірів стало створення оптико-електронних або цифрових (електронних) нівелірів, які варті окремого дослідження і обговорення.

References

1. Anysenko O.V., Platonova K.A. Suchasni heodezychni prylady, yikh znachennia i rol u heodezychnykh vymiriuvanniakh. Investytsii: praktyka ta dosvid. – 2019. – № 4. – S. 80-83. DOI: 10.32702/2306-6814.2019.4.80
2. Borovy V.O. Heodezychni prylady: konspekt leksii dlia studentiv spetsialnosti 6.070904 – Zemlevporiadkuvannia ta kadastr, 7.070908 – Heoinformatsiini systemy i tekhnolohii. / V.O Borovy, R.M. Litnarovyh. – Chernihiv: ChDIEiU, 2003. – 94 s.
3. Heodezychni prylady ta pryladdia: navchalnyi posibnyk / V. Vashchenko, V. Litynskyi, S. Perii; Natsionalnyi universytet «Lvivska Politekhnikha». – Lviv: Yevrosvit, 2003. – 160 c.
4. Ilkiv Ye.Iu., Haliarnyk M.V., Pryimak D.P. Heodezychne pryladoznavstvo: laboratornyi praktykum. – Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2012. – 123 s.
5. Kostetska Ya.M. Heodezychni prylady. Chastyna II. Elektronni heodezychni prylady : pidruchnyk dlia studentiv heodezychnykh spetsialnosti vuziv. – Lviv : IZMN, 2000. – 324 s.
6. Kuzmin V.I., Biliatynskyi O.A. Inzhenerna heodeziia v dorozhnomu budivnytstvi – K.: Vyshcha shkola, 2006. – 278 s.
7. Metodychni vkazivky do vykonannia laboratornykh robit z dystsypliny «Heodezychni prylady z osnovamy metrolohii ta standartyzatsii» dlia zdobuvachiv vyshchoi osvity pershoho (bakalavrskoho) rivnia za spetsialnistiu 193 «Heodeziia ta zemleustrii» Chastyna II. Optychni heodezychni prylady. Metrolohiiia. / S.M. Trokhymets, O.Ie. Yanchuk, R.S. Nimkovykh. – Rivne: NUVHP, 2021. – 45 s. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/17837/>
8. Nazarov L.S., Altymov A.A., Hroshev V.V. Razvytye heodezycheskoho pryborostroeniya. Nyvelyr. / Neoprofy. – 2017. – №1. – S. 50-53., – №3. – S. 48-51., – №6. – S. 48-52., – 2018. – №1. – S. 49.
9. Nivelir: terminolohichni slovnyk-dovidnyk z budivnytstva ta arkhitektury / R. A. Shmyh, V. M. Boiarchuk, I.M. Dobrianskyi, V.M. Barabash; za zah. red. R.A. Shmyha. – Lviv, 2010. – S. 133. – ISBN 978-966-7407-83-4.

10. Trevoho I.S., Shevchenko T.H., Moroz O.I. Heodezychni pryklady: praktykum. – Lviv, 2007. – 196 s.

11. Shevchenko T. H., Moroz O. I., Trevoho I. S. Heodezychni pryklady: pidruchnyk / za red. T. H. Shevchenka. – Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2009. – 484 s.

Список використаної літератури

1. Анисенко О.В., Платонова К.А. Сучасні геодезичні прилади, їх значення і роль у геодезичних вимірюваннях. Інвестиції: практика та досвід. – 2019. – № 4. – С. 80-83. DOI: 10.32702/2306-6814.2019.4.80

2. Боровий В.О. Геодезичні прилади: конспект лекцій для студентів спеціальностей 6.070904 – Землепорядкування та кадастр, 7.070908 – Геоінформаційні системи і технології. / В.О Боровий, Р.М. Літнарівич. – Чернігів: ЧДІЕіУ, 2003. – 94 с.

3. Геодезичні прилади та приладдя: навчальний посібник / В. Ващенко, В. Літинський, С. Перій; Національний університет «Львівська Політехніка». – Львів: Євросвіт, 2003. – 160 с.

4. Ільків Є.Ю., Галярник М.В., Приймак Д.П. Геодезичне приладознавство: лабораторний практикум. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – 123 с.

5. Костецька Я.М. Геодезичні прилади. Частина II. Електронні геодезичні прилади : підручник для студентів геодезичних спеціальностей вузів. – Львів : ІЗМН, 2000. – 324 с.

6. Кузьмін В.І., Білятинський О.А. Інженерна геодезія в дорожньому будівництві – К.: Вища школа, 2006. – 278 с.

7. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Геодезичні прилади з основами метрології та стандартизації» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» Частина II. Оптичні геодезичні прилади. Метрологія. / С.М. Трохимець, О.Є. Янчук, Р.С. Німкович. – Рівне: НУВГП, 2021. – 45 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/17837/>

8. Назаров Л.С., Алтынов А.А., Грошев В.В. Развитие геодезического приборостроения. Нивелир. / Геопрофи. – 2017. – №1. – С. 50-53., – №3. – С. 48-51., – №6. – С. 48-52., – 2018. – №1. – С. 49.

9. Нівелір: термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І.М. Добрянський, В.М. Барабаш; за заг. ред. Р.А. Шмига. – Львів, 2010. – С. 133. – ISBN 978-966-7407-83-4.

10. Тревого І.С., Шевченко Т.Г., Мороз О.І. Геодезичні прилади: практикум. – Львів, 2007. – 196 с.

11. Шевченко Т. Г., Мороз О. І., Тревого І. С. Геодезичні прилади: підручник / за ред. Т. Г. Шевченка. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. – 484 с.

УДК 624.012 [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-05](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-05)

ОГЛЯД ЗБІРНИХ КАРКАСНИХ КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМ БУДІВЕЛЬ

PRECAST FRAME STRUCTURAL SYSTEMS OF BUILDINGS OVERVIEW

Гарькава О.В., к.т.н., доцент, докторант (Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава)

Harkava O.V., Ph.D., Associate Professor (National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”, Poltava)

У сьогочасній будівельній діяльності України основним завданням є ефективна відбудова житлового фонду. Швидкість зведення будівель та використання тепloeфективних матеріалів є ключовими аспектами цього процесу. Аналізуються рішення збірних каркасних конструктивних систем будівель, котрі найбільш задовольняють висунуті вимоги. Показано, що серед інших безбалкова безкапітельна система будівель максимально відповідає сучасним запитам населення. Проведений аналіз показує, що вона має значні переваги, такі як: зменшення товщини перекриття, прискорення термінів будівництва та збільшення корисного об'єму приміщень. Ця конструктивна система будівель є найбільш ефективною та затребуваною для зведення житлових і цивільних об'єктів, що вимагає удосконалення методів розрахунку її несучої здатності для забезпечення надійності та безпеки експлуатації будівель.

The article explores the reconstruction of Ukraine, highlighting it as one of the priority tasks in the construction sector. Key to this endeavor is the rapid construction of buildings, achievable by using precast reinforced concrete structures. Important considerations include the use of energy-efficient materials for enclosing structures, adaptable interior space, and cost-effectiveness. Traditional approaches to enhancing structural efficiency aim to minimize the cost, weight, and dimensions of components by utilizing new or high-strength materials and improving construction technology. Recent research trends indicate a concerted effort to eliminate protruding elements such as beams, cantilevers, and capitals, or to integrate them within the floor slabs. Automated manufacturing and assembly technologies for precast reinforced concrete structures offer further opportunities for reducing costs and construction time. Consequently, a wide variety of new structural systems in precast reinforced concrete have emerged. The aim and objectives of the research involve reviewing and analyzing existing precast structural systems to identify the most efficient ones for implementation in the reconstruction of Ukraine's housing stock.

The methodology involves tracing the evolution and improvement of structural systems. Traditional precast frame constructions with ribbed slabs, operating on a beam scheme, have evolved into various models. Improvements in the framework aimed to reduce the proportion of monolithic reinforced concrete, to simplify column-beam joints by separating them into minimum moment points. The article also discusses systems with soffit beams and concealed beams. Alongside these, a notable development is the precast framework with flat floors achieved through connecting flat plates directly to the columns. This system utilizes standardized beamless frames composed of vertical multi-story columns and flat floor slabs. Notably, this system gained significant traction due to its architectural versatility, increased interior space without beams, and expedited construction timelines, reducing construction costs. The frame structural system with flat floors offers increased efficiency for residential and civil construction and requires accurate design methods for reliable performance.

Ключові слова: конструктивна система будівель, каркас, збірний залізобетон.

Keywords: structural system of buildings, frame, precast reinforced concrete.

Вступ. Відбудова України на сьогодні є однією з пріоритетних задач будівництва. В цьому процесі одним із ключових показників є висока швидкість зведення будівель, котру може забезпечити застосування збірних залізобетонних конструкцій. Важливими факторами є також використання теплоефективних матеріалів для огорожуючих конструкцій, вільна трансформація внутрішнього простору приміщень, а також невисока вартість. Забезпечити відповідність будівель названим сучасним вимогам населення можна за допомогою каркасних конструктивних систем, широке розмаїття видів котрих ставить задачу виявлення найбільш ефективних із них.

Аналіз останніх досліджень. На шляху розробки нових конструктивних систем будівель чітко прослідковується намагання позбавитись всіх виступаючих за товщину перекриття елементів: балок, консолей та капітелей, або зробити їх прихованими, забезпечивши інтеграцію в товщину перекриття. Традиційні підходи до підвищення ефективності конструктивних систем будівель прагнуть також мінімізувати їх вартість, вагу й розміри перерізів складових елементів за рахунок використання нових або більш високоміцних матеріалів і вдосконалення технології будівництва. Експериментальні та теоретичні дослідження залізобетонних конструктивних систем будівель та їх елементів проводились багатьма науковцями та практиками, зокрема: Т.Н. Азізовим, В.Г. Артюхом, А.М. Бамбурою, А.Я. Барашиковим, К.В. Бережною, Б.Г. Гнідцем, Б.Г. Демчиною, В.С. Дорофєєвим, В.І. Євстаф'євим, О.Д. Журавським, І.В. Мельником, С.М. Микитенком, О.В. Нижником, А.М. Павліковим, М.В. Савицьким, Д.В. Сморкаловим, І.А. Стебловським,

Л.І. Стороженком, О.Л. Шагіним, В.С. Шмуклером, В.І. Шеховцовим, А.М. Юговим і В.В. Тараном та іншими.

Всі названі напрями вдосконалення конструктивних систем будівель віднайшли свою реалізацію у безбалкових безкапітельних системах, котрі на сьогодні займають провідні позиції в галузі масового будівництва як в Україні, так і повсюди за її межами.

В монолітному будівництві серед найбільш прогресивних пропозицій з удосконалення каркасних конструктивних систем будівель слід відмітити застосування в каркасах плоских перекриттів «Airdeck», «Beerplate», «BubbleDeck», «Cobiax», «U-Boot» зі зменшеною власною вагою за рахунок використання пористоутворювачів різного виду, а також створення попереднього напруження на бетон, котре здійснюється безпосередньо на будівельному майданчику та сприяє збільшенню розмірів сітки колон. Розроблені також рішення монолітних каркасів з використанням торкрет-фібробетону та вкладишів-пустотоутворювачів у конструктивних елементах (колонах, перекриттях).

Між тим автоматичні технології виготовлення та монтажу збірних залізобетонних конструкцій пропонують додаткові можливості скорочення витрат і часу на виготовлення та монтаж. Саме тому широке різноманіття проявилось у формуванні нових конструктивних систем каркасних будівель зі збірного залізобетону [1].

Постановка мети і задач досліджень. Огляд та аналіз існуючих збірних каркасних конструктивних систем будівель з метою виявлення найбільш ефективних та впровадження їх у будівництво при відновленні житлового фонду України.

Методика досліджень. На перших етапах розвиток та удосконалення конструктивних систем виявили себе у балкових системах. Традиційні конструкції збірних каркасів багатоповерхових будівель з ребристим перекриттям, що працюють за балковою схемою, представлені у серії 1.20-1. Каркас складається зі збірних перевернутих таврових та Г-подібних балок, багатоповерхових колон, вертикальних діафрагм жорсткості та пустотних плит як елементів перекриття. Зараз в Україні традиційний тип збірних каркасів (рис. 1) представлений зокрема виробниками [2 – 4], котрі виготовляють повний набір збірних елементів каркасів.

У запропонованих конструкціях суттєво вдосконалені рішення вузлів з'єднань елементів, застосовуються матеріали підвищеної міцності, але принципова конструктивна система каркасу залишається незмінною.

Серед інших каркасних конструктивних систем з балковими перекриттями слід відмітити збірно-монолітний каркас системи SCOP PPB, що був запропонований фірмою «PPB SARET» (Франція) у 1988 р. та його модифікації «Казань-XXI век», «Рекон», «AlveoLosa» та інші.



Рисунок 1 – Фруктосховище «Ерідон» у процесі зведення, м. Львів [3]

Каркас SCOP PPB складається зі збірних колон і комплексних збірно-монолітних ригелів балкової конструкції, об'єднаних збірно-монолітними дисками перекриттів. Збірні частини ригелів і плит виконують роль незнімної опалубки для укладання монолітного бетону. Стики збірної частини ригеля, що мають петлеподібні випуски арматури, з попередньо-напруженими плитами товщиною 60 мм замонолічуються шляхом укладання армованого шару бетону товщиною 80 – 140 мм по периметру перекриття. Удосконалення каркасу загалом здійснювалось у напрямі зменшення частки монолітного залізобетону, тому згодом у його модифікаціях збірно-монолітні плити були замінені на пустотні (рис. 2).

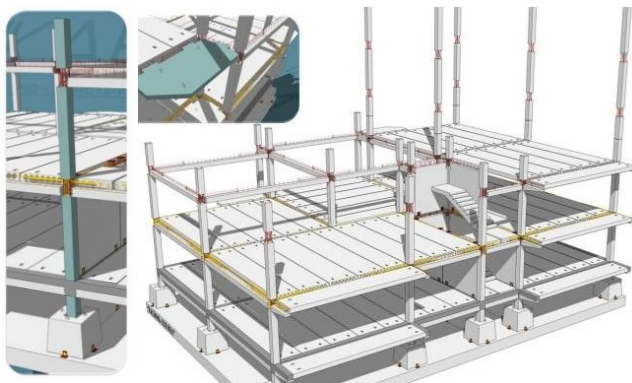
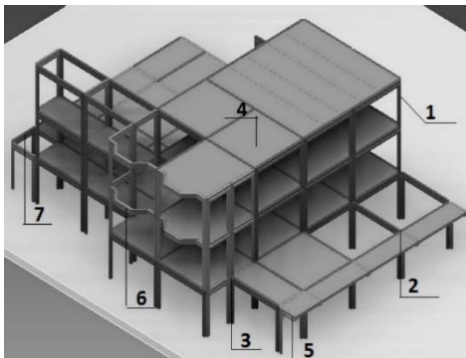


Рисунок 2 – Модифікований каркас SCOP PPB [5]

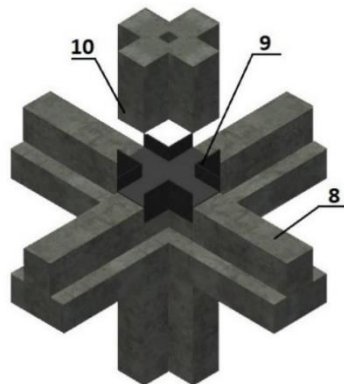
Залізобетонні колони виконуються відразу на кілька поверхів з прорізами в рівні перекриття. По висоті колони з'єднуються за допомогою штепсельного стику, тобто шляхом встановлення поздовжніх арматурних стержнів однієї колони в спеціально залишені гнізда у тілі іншої, що дозволяє з'єднувати колони з перерізами різних розмірів.

Для спрощення влаштування стику колон та ригелів у деяких системах здійснена спроба розділити у просторі місця розташування стику ригеля з колоною та балок між собою, влаштувавши стики балок в точках з мінімальними моментами. До таких систем можна віднести «Дуна-Frame», «PG Connection», «Contiframe» та інші.

Пропозиції щодо зміни конфігурації збірних елементів каркасу порівняно з традиційними також реалізовані в конструктивній системі «РАМПА» [6], розробленій в Україні під керівництвом В.С. Шмуклера (рис. 3).



а)



б)

Рисунок 3 – Конструктивна система «РАМПА»: а) – каркас; б) – вузол з'єднання рам; 1 – залізобетонна рама; 2 – металевий вузловий з'єднувальний елемент; 3 – складена колона, утворена суміжними стійками рам; 4 – панель перекриття; 5 – консольна рама-панель; 6 – еркерна рама; 7 – ригель рами таврового перерізу; 8 – рама нижнього поверху; 9 – кондуктор; 10 – рама верхнього поверху [6]

Запропоновано каркасну конструкцію, що містить встановлені по осях просторового каркасу плоскі залізобетонні рами висотою на поверх, з'єднані в кожному вузлі за допомогою єдиного вузлового елемента з

утворенням стійками рам колон каркасу, та панелі перекриття, оперті за контуром на полиці таврових ригелів рам. Панелі перекриття в кутах з'єднані з рамами каркасу за допомогою листових шарнірів. Стійки рам, що утворюють колону, об'єднані між собою за висотою жорстко шляхом омонолічування порожнини між стійками (для будівель, що не сприймають сейсмічні впливи та поверховістю менше трьох поверхів) або за допомогою податливих дискретних в'язей.

Подальшим розвитком системи «РАМПА» є система «ІКАР» [7], в якій габаритні збірні елементи: рами та панелі перекриття, розчленовані на більш компактні: колони, ригелі та балкові плити перекриття. Перекриття комірки в межах сітки колон складається з непарної кількості плит балкового типу, при цьому в сусідніх комірках плити перекриття укладаються з поворотом на 90° , тобто у перпендикулярних напрямках. Крайні (в комірці) плити перекриття за рахунок наявної на їх бічній поздовжній грані підрізки спираються на ригель одного напрямку, а за рахунок підрізки на бічній поверхні короткої сторони – на ригелі другого напрямку. Середній елемент перекриття спирається за короткими сторонам на ригелі, а за поздовжніми – на крайні плити перекриття. Таким чином, спирання плит в диску реалізує поверхову схему передачі навантаження із плити на плиту, що забезпечує спільність їх вертикальних переміщень.

Відомі системи балкових каркасів, у яких основні несучі елементи: балки та колони виготовляються пустотілими із наступним їх заповненням монолітним бетоном на будівельному майданчику. Це, зокрема, системи «Structurapid», «Thomas System», RPC-K System, УДС.

Подальшим кроком у розвитку конструктивних систем стали системи з плитними ригелями значної ширини з невеликою висотою перерізу, що дозволяли зменшити загальну висоту перекриття, тим самим збільшивши будівельний об'єм приміщень. Прикладами таких балкових систем є: «Dycore», «Quickfloor», «Spanlight», «Nebraska» [8] та інші. Застосування плитних ригелів дозволяє щонайменше вдвічі зменшити висоту перекриття порівняно з балковим ригелем. Але все ж таки даний прийом не усуває повністю виступаючі елементи та не забезпечує формування плоского перекриття, котре є більш ефективним. Тому подальшим розвитком каркасних конструктивних систем стало утворення систем з прихованим ригелем.

Система IMS (рис. 4) [9] розроблена в Югославії у 1950-х роках та призначена для створення збірного каркасу, придатного для як комерційного, так і для житлового будівництва. Основним збірним елементом цієї системи перекриття є попередньо напружена плита, яка виготовляється у два етапи. На першому етапі виготовляється ребриста

плита з попередньо напруженою верхньою полицею. На другому етапі нижня частина плити обладнується дротяною сіткою та опускається в шар монолітного бетону. Коли бетон набере достатньої міцності, попереднє напруження передається на верхню та нижню частини плити. Виготовлена плита має гладку поверхню зверху та знизу.

Попередньо напружена арматура в двох напрямках встановлюється у розширених швах між плитами в одноплитній системі і проходить крізь колони (рис. 4). В багатоплитних системах попередньо напружені стержні також проходять через канали в плитах.

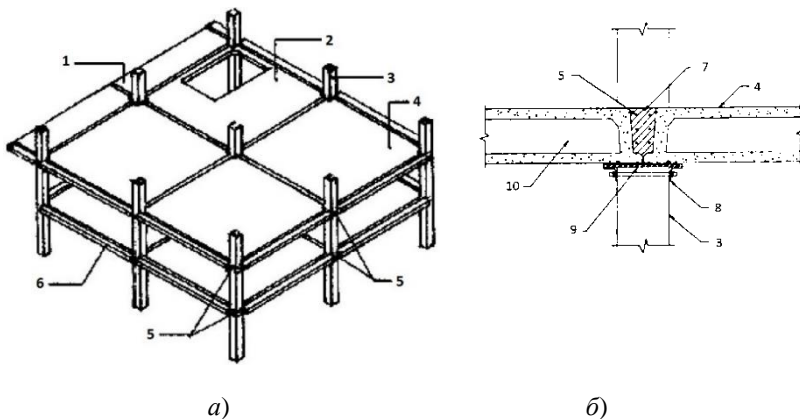


Рисунок 4 – Конструктивна система IMS [9]: а) – загальний вигляд; б) – прихований ригель в стику плит; 1 – консольна плита; 2 – плита з отвором для сходів; 3 – колона; 4 – типова плита; 5 – попередньо напружена арматура; 6 – фасадна розпірка; 7 – монолітний бетон; 8 – сталеві кутики; 9 – тимчасова опорна рамка; 10 – канал

Фінська система «DELTA BEAM» [10] – це плоска система перекриття для багатоповерхових будівель будь-якого типу (рис. 5).

Сталеві балки «DELTA BEAM» із листової сталі у вигляді гнучого трапецієподібного профілю з висотою, рівною товщині перекриття, слугують прихованим ригелем та призначені для використання в якості конструктивного елемента в поєднанні з усіма загальними типами залізобетонних плит: пустотними, плитами типу «Filigree», композитними сталевими настилами, сталевими настилами та монолітними бетонними плитами. Це дає можливість влаштування тонких перекриттів і утворення балкової конструкції в межах товщини плити.

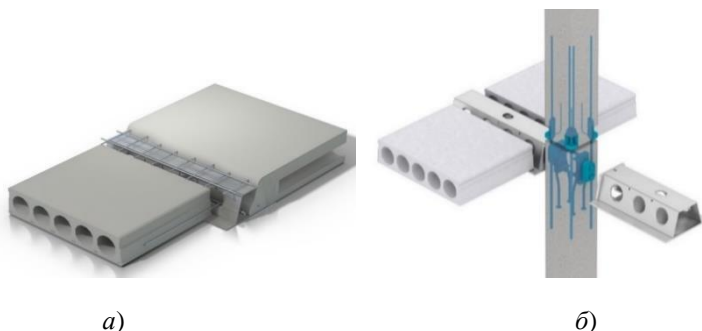


Рисунок 5 – Конструктивна система «DELTA BEAM» [10]:
а) стик ригеля з пустотними плитами; б) стик ригеля з колоною

Розроблення та удосконалення збірно-монолітних конструктивних систем, котрі мають у своєму складі приховані ригелі, здійснено в Україні під керівництвом М.В. Савицького. Запропоновані рішення залізобетонних каркасів зі збірними плитами та монолітними несучими і в'язевими ригелями [11]. У збірно-монолітному залізобетонному перекритті застосовуються багатопустотні плити перекриття зі скошеними під кутом $45^\circ - 60^\circ$ торцями та отворами на поверхні плит в місцях розташування пустот для встановлення обмежувачів монолітного бетону. Запропоноване перекриття має підвищену міцність похилих перерізів та високу несучу спроможність. Для підвищення жорсткості реалізовано також встановлення арматурних каркасів у поздовжні проміжки шириною 50 – 150 мм між багатопустотними плитами з подальшим їх замонолічуванням. Розроблена конструкція каркасу перевірена експериментально на дію розрахункового значення навантаження для граничних станів першої групи.

Відомі також деякі інші збірно-монолітні каркасні конструктивні системи, в яких плоске перекриття реалізується шляхом влаштування прихованих ригелів, зокрема, «Сочі», «РАДИУС», «Supra», «TERRIVA» та інші, проте в них суттєво більшою, порівняно з попередніми, є частка монолітного бетону.

Поряд з названими системами свого розвитку і поширення набула збірна каркасна система з плоским перекриттям, котре реалізується шляхом з'єднання плоских плит між собою без влаштування прихованого ригеля. Тобто, ця система не є наслідком трансформації балкових систем, а походить від збірної безбалкової системи перекриття.

Удосконалена безконсольно-безкапітельно-безбалкова каркасна – конструктивна система (ББКК) будівель [12] вперше була застосована в Україні в м. Полтава у 2008 році при зведенні двох 16-поверхових будівель.

При цьому використані розроблені в Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» під керівництвом А.М. Павлікова удосконалені рішення каркасу [13]. Вказана система розроблена на основі уніфікованої системи збірно-монолітного безригельного каркасу, котра складається з вертикальних колон та плоских плит перекриття. Конструктивні рішення ББКС в практиці зведення будівель почали застосовувати з 1940 року. Саме в цей час в безбалкових перекриттях було запропоновано з'єднувати плити з колонами без застосування капітелей. Аналоги і попередники цієї системи відомі також під назвами КУБ 2,5 (конструкція універсальна безбалкова), КУБ-1, КБК (конструкції безригельного каркасу) або КУБ 3V. Зокрема, система КУБ 2,5 застосована в Україні при зведенні бізнес-центру багатофункціонального громадського комплексу з об'єктами спорту, відпочинку і розваг у м. Запоріжжя з урахуванням сейсмічного впливу [14].

У загальному випадку каркас ББКС (рис. 6) складається з вертикальних багатоярусних колон без виступаючих опорних частин, плит перекриття та в'язей або діафрагм жорсткості [12 – 13].

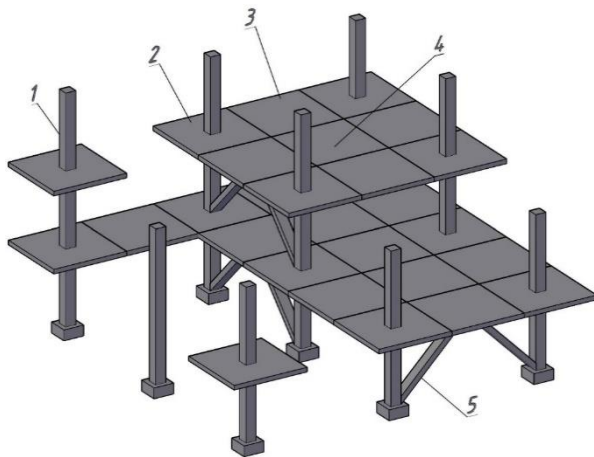


Рисунок 6 – Загальний вигляд безбалкової безкапітельної конструктивної системи будівель: 1 – колона; 2 – надколонна плита; 3 – міжколонна плита; 4 – середня плита; 5 – лінійна в'язь

Плоскі перекриття системи складаються з трьох типів збірних залізобетонних плит (рис. 6): надколонних, міжколонних та середніх. Товщина усіх плит – 160 мм, їх опалубкові розміри в плані прийняті

однаковими – 2980×2980 мм. Замонолічування швів між ними шириною 20 мм здійснюється без установаження опалубки.

Надколонні плити кріпляться зварюванням закладених в них об'єм до арматури колони за допомогою з'єднувальних деталей, а передбачені монтажні проміжки в 20 мм між колоною та об'ємною, а також між плитами заповнюються високоміцним дрібнозернистим бетоном. При цьому в забетонуваних проміжках утворюються шпонки, бетон котрих додатково зміцнюється за рахунок всебічного обтиснення.

Вертикальними несучими елементами каркасу є збірні залізобетонні дво- чи триярусні колони з розмірами поперечного перерізу 400×400 мм, а також частково залізобетонні діафрагми жорсткості [12].

На сьогодні збірна каркасна безбалкова конструктивна система набула значного поширення в Україні. Її реалізація здійснюється виробниками як із Полтавського регіону, так і з інших областей. Це зумовлюється її суттєвими перевагами, серед яких варто відмітити автономність архітектурно-планувальних рішень та збільшений внутрішній корисний об'єм приміщення завдяки відсутності ригелів, скорочення терміну будівництва до 50% порівняно з іншими конструктивними системами.

Результати досліджень. Підсумовуючи вищесказане, проаналізовані збірні та збірно-монолітні системи каркасів можна розділити за конструкцією перекриття (рис. 7).

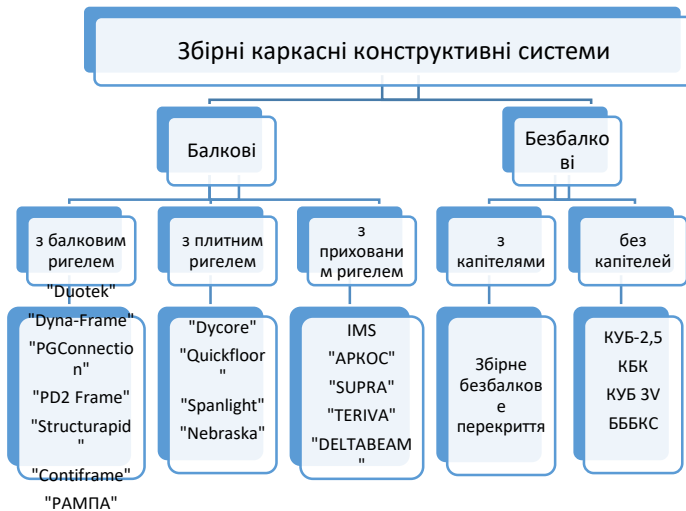


Рисунок 7 – Види збірних та збірно-монолітних каркасних конструктивних систем будівель

Висновки. Користуючись наведеною схемою (рис. 7) можна відмітити, що велика кількість конструктивних систем збірних і збірно-монолітних будівель базуються на балкових каркасах. При цьому очевидно є тенденція до їх вдосконалення у напрямі як зменшення товщини перекриття, так і у мінімізації частки монолітного бетону.

Перші балкові конструктивні системи відрізнялись суттєвою висотою перекриття від 1220 мм («Duotek») до 645 мм («PD2 Frame») та значним об'ємом монолітного бетону, котрим вкривалось усе перекриття суцільним шаром товщиною до 60 мм. Системи з плитним ригелем дозволили досягти висоти перекриття 410 мм («Nebraska»), але не усунули виступаючі із площини перекриття елементи.

Максимально вдосконалені каркасні конструктивні системи з плоскими перекриттями є на сьогодні найбільш ефективними та затребуваними для зведення житлових та цивільних будівель. Серед них слід відмітити каркаси ББКС із безбалковим перекриттям, котре має загальну висоту перекриття 160 мм з мінімальним використанням монолітного бетону. Названа конструктивна система володіє порівняно з іншими додатковими перевагами, що стосуються зручності монтажу та підвищеної швидкості зведення будівель, простоти складових елементів та високої їх якості, зменшеної вартості будівництва. Це безперечно ставить особливі задачі до розроблення ґрунтового розрахунку несучої здатності елементів цієї конструктивної системи для забезпечення надійної експлуатації.

References

1. Pessiki S., Prior R., Sause R., Slaughter S. Review of Existing Precast Concrete Gravity Load Floor Framing Systems. PCI Journal, 1995, Vol. 40(2), P. 52-68. <https://doi.org/10.15554/pcij.03011995.52.68>
2. Beton vid Kovalskoi. Retrieved from <https://beton.kovalska.com>
3. Oberbeton Ukraina. Retrieved from <https://oberbeton.ua/uk/>
4. 3 betony. Retrieved from <http://3betony.com.ua>
5. Pavlikov A.M., Baliashni D.K., Harkava O.V., Dovzhenko O.O., Mykytenko S.M., Pinchuk N.M., Fedorov D.F. Suchasni konstruktyvni systemy budivel iz zalizobetonu. Poltava, 2017, PoltNTU.
6. Shmukler V.S. Karkasno-panelnyi budynok «rampa» (Patent Ukrainy 4638), 1994. Retrieved from: <https://uapatents.com/12-4638-karkasno-panelnij-budynok-rampa.html>
7. Shmukler V.S., Shmukler I.V. Karkasno-panelnyi budynok «ikar» (Patent

Ukrainy 10955), 1996. Retrieved from: <https://uapatents.com/6-10955-karkasnijj-budinok-ikar.html>

8. Low S.-G., Tadros M.K., Nijhawan J.C. (1991). Minimization of Floor Thickness in Precast Prestressed Concrete Multistory Buildings. PCI Journal, 1991. Vol. 36(4), P.74-92. <https://doi.org/10.15554/pcij.07011991.74.93>

9. Petrovic B., Dimitrijevic R. (1978). Prefabricated Prestressed Concrete Skeleton System IMS. Housing Science, 1978. Vol. 2(4), P. 369-375.

10. Peikko. Deltabeam Composite beam. Retrieved from: <https://www.peikko.com/products/product/deltabeam-product-information/>

11. Savytskyi M.V., Mahala B.C., Rabich O.V. та in. Sposib ulashtuvannya zbirno-monolitnoho zalizobetonnoho perekryttia, 2007. (Patent Ukrainy 23418). Retrieved from: <https://uapatents.com/1-23418-sposib-ulashtuvannya-zbirno-monolitnogo-zalizobetonnoho-perekryttia.html>

12. Pavlikov A.M., Harkava O.V., Fedorov D.F., Farenjuk H.H., Petter B.M., Bovkun Zh.M. Industrialnyi bezkapitelno-bezbalkovyi karkas budivli dostupnoho zhytla (Patent Ukrainy 93195), 2014. Derzh. sluzhba intelekt. vlasnosti Ukrainy. Retrieved from: <https://uapatents.com/4-93195-industrialnijj-bezkapitelno-bezbalkovijj-karkas-budivli-dostupnoho-zhitla.html>

13. Pavlikov A.M., Harkava O.V., Bezrukavyy D.V. Vprovadzhennia bezryhelno-bezkapitelnoi karkasnoi konstruktyvnoi systemy v proektuvannia budivel pid dostupne zhytlo. Zb. nauk. prats (resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy), 2013. Vyp. 27, S. 352-359.

14. Banakh A.V. Vplyv seismichnykh dii na zalizobetonni karkasy sporud pidvyshchenoho rivnia vidprovidalnosti. Budivelni konstruksii, 2013. № 78 (1), S. 300-306.

Список використаної літератури

1. Pessiki S., Prior R., Sause R., Slaughter S. Review of Existing Precast Concrete Gravity Load Floor Framing Systems. PCI Journal, 1995, Vol. 40(2), P. 52-68. <https://doi.org/10.15554/pcij.03011995.52.68>

2. Бетон від Ковальської. Доступ через <https://beton.kovalska.com>

3. Обербетон Україна. Доступ через <https://oberbeton.ua/uk/>

4. З бетони. Доступ через <http://3betony.com.ua>

5. Павліков А.М., Балясний Д.К., Гарькава О.В., Довженко О.О., Микитенко С.М., Пінчук Н.М., Федоров Д.Ф. Сучасні конструктивні системи будівель із залізобетону. Полтава, 2017, ПолтНТУ.

6. Шмуклер В.С. Каркасно-панельний будинок «рампа» (Патент України 4638), 1994. Доступ через: <https://uapatents.com/12-4638-karkasno-panelnijj-budinok-rampa.html>

7. Шмуклер В.С., Шмуклер І.В. Каркасно-панельний будинок «ікар» (Патент України 10955), 1996. Доступ через : <https://uapatents.com/6-10955-karkasnijj->

[budinok-ikar.html](#)

8. Low S.-G., Tadros M.K., Nijhawan J.C. (1991). Minimization of Floor Thickness in Precast Prestressed Concrete Multistory Buildings. PCI Journal, 1991. Vol. 36(4), P.74-92. <https://doi.org/10.15554/pcij.07011991.74.93>

9. Petrovic B., Dimitrijevic R. (1978). Prefabricated Prestressed Concrete Skeleton System IMS. Housing Science, 1978. Vol. 2(4), P. 369-375.

10. Peikko. Deltabeam Composite beam. Доступ через: <https://www.peikko.com/products/product/deltabeam-product-information/>

11. Савицький М.В., Магала В.С., Рабіч О.В. та ін. Спосіб улаштування збірно-монолітного залізобетонного перекрыття, 2007. (Патент України 23418). Доступ через : <https://uapatents.com/1-23418-sposib-ulashtuvannya-zbirno-monolitnogo-zalізobetonного-perekryttya.html>

12. Павліков А.М., Гарькава О.В., Федоров Д.Ф., Фаренюк Г.Г., Петтер Б.М., Бовкун Ж.М. Індустріальний безкапітельно-безбалковий каркас будівлі доступного житла (Патент України 93195), 2014. Держ. служба інтелект. власності України. Доступ через: <https://uapatents.com/4-93195-industrialnijj-bezkapitelno-bezbalkovijj-karkas-budivli-dostupnogo-zhitla.html>

13. Павліков А.М., Гарькава О.В., Безрукавий Д.В. Впровадження безригельно-безкапітельної каркасної конструктивної системи в проектування будівель під доступне житло. Зб. наук. праць (ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди), 2013. Вип. 27, С. 352-359.

14. Банах А.В. Вплив сейсмічних дій на залізобетонні каркаси споруд підвищеного рівня відповідальності. Будівельні конструкції, 2013. № 78 (1), С. 300-306.

УДК 691.328.1 [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-06](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-06)

РЕКОНСТРУКЦІЯ ІНЖЕНЕРНИХ ОБ'ЄКТІВ НЕЖИТЛОВОГО ФОНДУ В КОНТЕКСТІ ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ

RECONSTRUCTION OF ENGINEERING FACILITIES OF NON- RESIDENTIAL FUNDS IN THE CONTEXT OF RENEWAL UKRAINE

Добровольська О.Г., к.т.н., доцент, Фостащенко О.М. к.т.н.,
доцент, Чудновський П.Б., магістрант (Запорізький національний
університет)

**Dobrovolska O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor,
Fostashchenko H., Ph.D. in Engineering, Associate Professor Chudnovsky
P., M.Sc (Zaporizhzhya National University)**

У даній праці здійснено аналіз досвіду відновлення міст після війни в інших країнах. Проаналізувавши результати наукових публікацій, приходимо до висновку, що в Україні формується індивідуальний підхід до відбудови. В роботі представлено варіант реконструкції нежитлової будівлі із застосуванням енергоощадних технологій, виконано порівняльний аналіз чотирьох варіантів опалення будівлі з використанням нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії.

The work presents the results of monitoring the condition of a non-residential building and developed proposals regarding the option of its reconstruction using energy-saving technologies, performed a comparative analysis of four options for heating the building using non-traditional and renewable energy sources.

The relevance of the considered problem is explained by the fact that the process of rebuilding Ukraine continues in parallel with new destruction during military operations and shelling throughout the country, despite the lack of resources, it remains vital, as it allows people to stay in the country and survive in the conditions of a full-scale war.

The article summarizes the results of the experience of reconstruction and restoration of destroyed buildings and infrastructure in the process of post-war reconstruction in Ukraine and abroad. Analysis of the results of the implementation of building modernization measures showed significant economic benefits for single-family houses and the need for state subsidies for the successful implementation of energy-efficient reconstruction. The results of graphic modeling of the reconstruction of elements of a non-residential building are presented. In the reconstruction project, the following options for engineering heating systems were analyzed: A) a warm floor with water heating and a heat pump (air-water); B) a warm floor with water heating and an electric boiler; C) a warm floor with water heating and a solid fuel boiler; D) solar power station and floor with electric heating.

The results of a comparative analysis of the energy efficiency of four options for heating the building according to two criteria are shown in the form of diagrams.

The results of energy consumption calculations showed that the lowest electricity consumption is for option A, the funds invested in the equipment will pay off within 5.5 heating seasons. The use of materials and heating systems with a high level of autonomy significantly reduces energy costs due to their energy efficiency.

Ключові слова: реконструкція будівельних об'єктів; типологія житлових будівель; інженерні системи опалення; рівень автономності.

Keywords: reconstruction of construction objects; typology of residential buildings; engineering heating systems; level of autonomy.

Вступ. Реконструкція України почалася під час початку повномасштабної війни та продовжується паралельно з новими руйнуваннями під час воєнних дій та обстрілів на всій території країни. Фахівці вважають, що цей процес, хоча й стикається з нестачею ресурсів, є життєво важливим, оскільки дозволяє людям залишатися в країні та виживати в умовах повномасштабної війни. Для досягнення тривалого успіху, перед початком будь-яких реконструкцій необхідно провести ретельну підготовку. Цей процес може розпочатися з прийняття законодавчої бази, впровадження антикорупційних реформ і встановлення стандартів на рівні центральної влади. Визначення порядку виконання основних завдань, таких як розмінування великих ділянок землі, прибирання завалів, будівництво притулків і шкіл, а також надання основної медичної допомоги, допоможе швидко розпочати процес відновлення.

Аналіз останніх досліджень. За оцінками Світового банку та Міністерства економіки України, для відновлення країни після війни необхідно принаймні 411 мільярдів доларів [1]. Основними напрямками є відбудова критичної інфраструктури, житла та важливих соціальних і транспортних об'єктів. Для розробки та удосконалення плану відновлення України потрібно вивчити та проаналізувати досвід відновлення міст після війни в інших країнах.

Так, фахівці, які займались реконструкцією іракського міста Мосул [2], підкреслюють важливість участі переміщених осіб у формуванні можливих післявоєнних моделей житла: під час розробки можливих парадигм житла після конфлікту було враховано типологію будівель, середній розмір ділянок, рекомендовану площу приміщень та житлові стандарти. Крім того, у пропозиціях враховувалися основні вимоги до житла, бажаний розподіл приміщень, методи переміщення та рівень конфіденційності. Як показує досвід Дамаску [3], стратегії неформального житла є найпоширенішим рішенням житлової кризи воєнного часу. Як свідчить досвід фахівців [4], після шести великих катастроф у трьох країнах Азії реконструкція будівель повинна мати три виміри: соціальний, технічний (будівництво без

переміщення) та просторово-часовий, пов'язаний з локалізацією будівельних навичок. Досвід Боснії та Герцеговини [5] підтверджує, що навіть при застосуванні «швидких» заходів для відновлення, немає можливості здійснити миттєві відбудови після воєнних руйнувань.

Фахівці [6] вважають, що відсутність систематичної стратегії відновлення призводить до неефективності, в результаті збільшуються збитки для навколишнього середовища, а відсутність комплексного плану захисту історичних будівель з великою культурною цінністю становить серйозну проблему.

Після завершення конфлікту необхідно розробити план відновлення, який буде спиратися на стійкість та енергоефективність, з метою перетворення України та її місцевих органів самоврядування на інтелектуальні міста [7]. Крім того, як наголошують фахівці [8], більш як половина території країни не має офіційно зацифрованих записів про права власності, що ускладнює ситуацію з підтвердженням права власності на зруйновані будівлі при відсутності паперових документів.

У різних країнах велике значення приділяється впровадженню енергоефективних технологій під час будівництва та реконструкції. За думкою експертів [9], енергоефективна реконструкція нежитлових будівель розв'язує проблему дефіциту житла і дозволяє зекономити на будівельних матеріалах та енергоспоживанні. Фахівці [10] вважають, що модернізація будівель за допомогою утеплення зовнішніх стін, заміни вікон на енергоефективні та підвищення ефективності системи теплопостачання є оптимальними заходами для зменшення витрат енергії.

У відбудові не існує універсального підходу, який підходить для всіх ситуацій. Те, що працювало для міст в Іраку або Сирії, малоімовірно буде ефективним для Харкова, Бахмута чи Запоріжжя. Кожна країна має свої відмінності, кожна спільнота є унікальною. Тому міжнародні приклади успішної відбудови можуть служити лише історичним досвідом.

Постановка мети і задач досліджень. Мета цієї роботи полягає у створенні загальних концепцій реконструкції нежитлових та зруйнованих будівельних об'єктів з використанням енергоощадних технологій та відновлювальних енергетичних джерел. Основні завдання включають наступне:

- узагальнення результатів післявоєнної відбудови в Україні та за кордоном, аналіз закордонного та вітчизняного досвіду реконструкції та відновлення зруйнованих будівель та інфраструктури;
- розроблення основних етапів реконструкції елементів нежитлових та зруйнованих будівельних об'єктів;
- визначення принципів впровадження енергоефективних та енергоощадних технологій у процесі відновлення будівельних об'єктів.

Об'єктом дослідження є нежитлова та зруйнована забудова в південній смузі України, а предметом дослідження – формування громадського простору через реконструкцію нежитлових і зруйнованих будівельних об'єктів.

Опис об'єкта. Будівля, яка підлягає реконструкції, двоповерхова, прямокутної форми в плані. Покрівля – руберойдна неексплуатована, над нею укладено конструкцію з сонячних панелей. Розміри будівлі в осях складають 14000× 7000 мм.

Методика досліджень. Для дослідження загальних концепцій реконструкції нежитлових і зруйнованих будівель було застосовано наступну методичку: статистичний аналіз інформаційних джерел стосовно реконструкції та відновлення зруйнованих будівель, натурні обстеження та фотофіксація конструктивних елементів будівельного об'єкта нежитлового фонду, проект експериментальної реконструкції з графічним моделюванням елементів забудови, розробка інженерних систем опалення будівлі із застосуванням альтернативних та відновлювальних джерел енергії; розробка рекомендації стосовно застосування енергоощадних технологій при реконструкції будівель.

Результати досліджень. Загальні риси архітектурно-містобудівного проектування в Україні протягом останніх шестидесяти років представлені у вигляді матриці на рис. 1.

	Односімейні будинки	Багатоквартирні будинки до 2 поверхів	Багатоквартирні будинки до 5 поверхів	Багатоквартирні будинки до 9 поверхів	Багатоповерхові будинки
1955-1975					
1978-1998					
2000-2022					

Рисунок 1 – Матриця типології житлових будівель в Україні

Аналіз результатів впровадження заходів з модернізації будівель показав значні економічні вигоди для односімейних будинків. Однак витрати на такі заходи на одного мешканця в цій категорії будівель виявилися в середньому втричі вищими, ніж для інших типів житла, таких як багатоквартирні будинки або багатоповерхівки. З урахуванням обмежених можливостей громадян України фінансувати модернізацію будинків, державні субсидії можуть стати необхідними для успішної реалізації енергоефективної реконструкції.

Проект реконструкції будівлі було виконано відповідно до наявного планування місцевості. На рисунку 2 показані зміни, які були внесені до будівлі під час її реконструкції.

Основою будівлі після реконструкції залишається цокольний поверх, підлога та стіни товщиною 400 мм викладені річковим камінням, він має залізобетонний фундамент глибиною залягання 1,5 м. Цей поверх у задовільному стані, після зовнішнього оновлення переобладнується у лазню з місцем відпочинку. Перегородки в середині приміщення прийняті цегляними товщиною 120 мм з використанням цементного розчину М 50. Перекриття складається із залізобетонних пустотних плит серії 1.141.1. Зовнішні секційні стіни першого поверху, відлиті з перлітобетону М 50, який має високі теплоізоляційні та шумоізоляційні властивості, утеплені пінопластом з нанесенням декоративного тинькування. Другий поверх до реконструкції був демонтований та видалений для подальшої утилізації.

В проекті реконструкції були проаналізовані наступні варіанти інженерних систем опалення:

- а) тепла підлога з водяним підігрівом та тепловий насос (повітря-вода);
- б) тепла підлога з водяним підігрівом та електричний котел;
- в) тепла підлога з водяним підігрівом та котел на твердому паливі;
- г) сонячна електрична станція та підлога з електричним обігрівом.

Критеріями для вибору оптимального варіанту опалення будівлі були енергетичні витрати; вартість обладнання та енергетичних витрат. Результати аналізу енергоефективності розглянутих інженерних систем опалення будівлі представлені у вигляді діаграми на рис. 3.

З представлених варіантів найбільша вартість обладнання для варіанту Г, крім того, енергетичні витрати в холодний період року не забезпечує сонячна станція, ефективність роботи якої в цей період становить 5–10 % від робочої потужності.

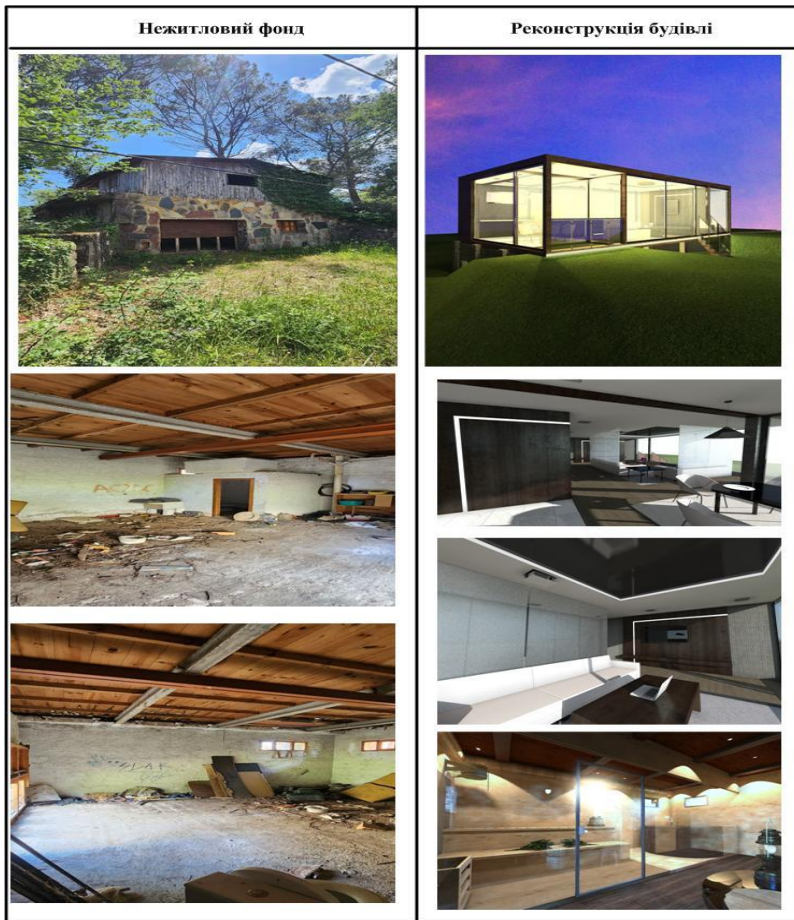


Рисунок 2 – Реконструкція нежитлової будівлі

При застосуванні варіанту Б треба враховувати значні витрати електроенергії, які у 4 рази більші, ніж енергетичні витрати за варіантом А.

Порівняємо варіанти А та В. Найменші витрати електроенергії визначені за варіантом В, але при використанні котла на твердому паливі треба врахувати вартість паливного матеріалу, тому вартість енергоносіїв за варіантом В у 2,3 рази перевищує відповідний показник за варіантом А. Результати розрахунків енерговитрат показали, що найменші витрати електроенергії становлять для варіанту А, вкладені в обладнання кошти окупляться протягом 5,5 опалювальних сезонів.

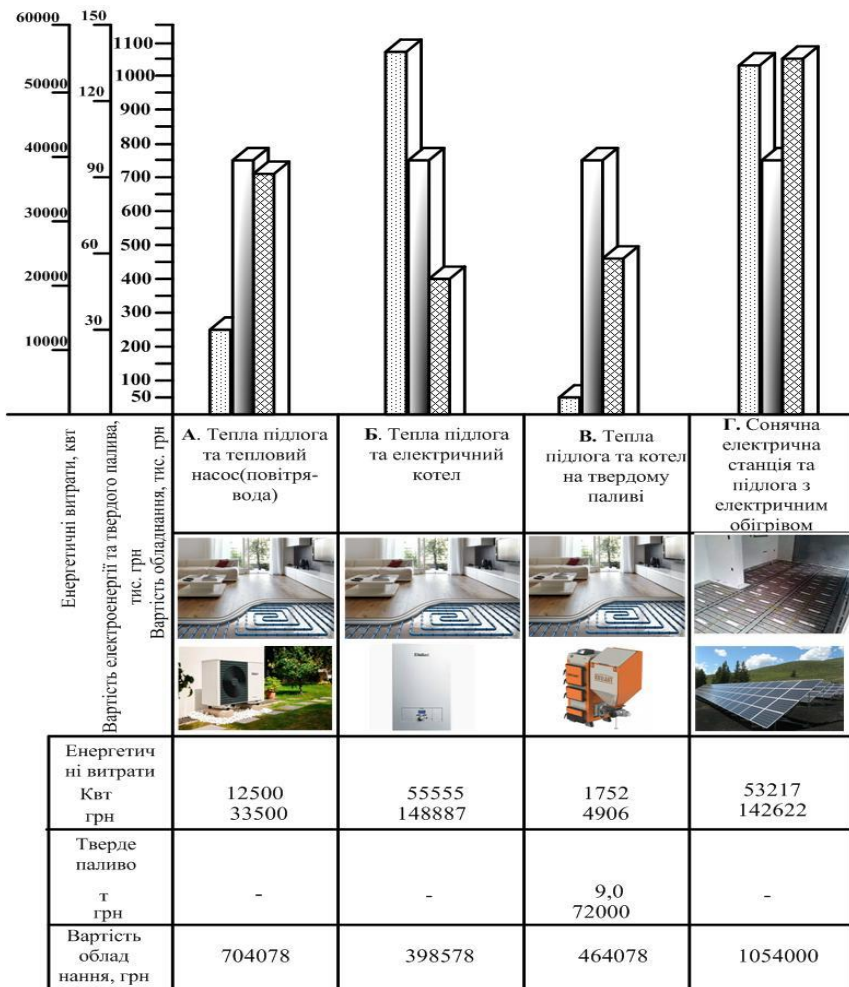


Рисунок 3 – Аналіз варіантів опалення будівлі

Висновки

1. У процесі відновлення не існує єдиного підходу, який можна застосувати у всіх випадках. Кожна країна має свої особливості, тому міжнародні приклади успішної реконструкції можуть бути корисними як історичний досвід та джерело натхнення.

2. Реконструкція нежитлових будівель може призвести до перетворення сотень тисяч одиниць в житлові приміщення з мінімальним впливом на навколишнє середовище.

3. Екологічна придатність таких реконструкцій у порівнянні з традиційним будівництвом нових житлових об'єктів очевидна, оскільки це дозволяє уникнути значної кількості будівельних відходів, що утворюються під час демонтажу споруд.

4. Використання енергоефективних матеріалів та систем опалення з високим рівнем автономності призводить до значної економії енергії.

References

1. Chym prysluzhytsia Ukraini svitovyi dosvid povoiennoi vidbudovy. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-vidbudova/3690887-cim-prisluzitsa-ukraini-svitovij-dosvid-povoiennoi-vidbudovi.html>
2. Saeed Z., Almkhtar A., Abanda H., Tah J. Mosul City: Housing Reconstruction after the ISIS War Cities. *Cities*, 2022. Vol. 120. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103460>
3. Barend Wind, Batoul Ibrahim. The war-time urban development of Damascus: how the geography- and political economy of warfare affects housing patterns. *Habitat International*, 2020. Vol. 96, P.1–15. URL:https://pure.rug.nl/ws/portalfiles/portal/133410778/1_s2.0_S0197397519309464_main.pdf
4. Malyi E., Vakhanvati M., Sararit T. People-centered disaster recovery: A comparison of long-term outcomes of housing reconstruction in Thailand, India, and Japan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2022. Vol. 81. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212420922004538>
5. Martinović A., Ifko S. Industrial heritage as a catalyst for urban regeneration in post-conflict cities Case study: Mostar, Bosnia and Herzegovina. *Cities*, 2018. Vol. 74. P. 259–268. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275117308338?via%3Dihub>
6. Hala A., Manuel C. Post-war sustainable housing design strategies: the case of reconstruction in Iraq. *Renewable energy and environmental sustainability*, 2021. Vol. 6. URL:<https://search.worldcat.org/title/9456437001>
7. Cifuentes-Faura J. Ukraine's post-war reconstruction: Building smart cities and governments through a sustainability-based reconstruction plan. *Journal of Cleaner Production*, 2023. Vol. 419. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623024812>
8. Panfil J., Unru J., Kholod M. Case Report: Housing, land, and property restitution after wars takes decades: Ukraine can change this. *World Development Perspectives*, 2023. Vol. 31. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452292923000358>
9. Gursel A., Shehabi A., Horvath A. What are the energy and greenhouse gas benefits of repurposing non-residential buildings into apartments? *Resources, conservation and recycling*, 2023. Vol.198. URL:<https://tinyurl.com/4ah6jpv6>

10. Kadric D., Aganovic A., Martinovic S., Delalic N., Delalic B. Gurda a Cost-related analysis of implementing energy-efficient retrofit measures in the residential building sector of a middle-income country – a case study of Bosnia and Herzegovina. *Energy & Buildings*, 2022. Vol. 257. URL: <https://tinyurl.com/mrd7dwwj>

Література

1. Чим прислужиться Україні світовий досвід повоєнної відбудови. [Електронний ресурс]

URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-vidbudova/3690887-cim-prisluzitsa-ukraini-svitovij-dosvid-povoennoi-vidbudovi.html>

3. Saeed Z., Almkhtar A., Abanda H., Tah J. Mosul City: Housing Reconstruction after the ISIS War Cities. *Cities*, 2022. Vol. 120. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103460>

3. Barend Wind, Batoul Ibrahim. The war-time urban development of Damascus: how the geography- and political economy of warfare affects housing patterns. *Habitat International*, 2020. Vol. 96, P.1–15.

URL:https://pure.rug.nl/ws/portalfiles/portal/133410778/1_s2.0_S0197397519309464_main.pdf

4. Malyi E., Vakhanvati M., Sararit T. People-centered disaster recovery: A comparison of long-term outcomes of housing reconstruction in Thailand, India, and Japan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2022. Vol. 81. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212420922004538>

5 Martinović A., Ifko S. Industrial heritage as a catalyst for urban regeneration in post-conflict cities Case study: Mostar, Bosnia and Herzegovina. *Cities*, 2018. Vol. 74. P. 259–268.

URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275117308338?via%3Dihub>

6. Hala A., Manuel C. Post-war sustainable housing design strategies: the case of reconstruction in Iraq. *Renewable energy and environmental sustainability*, 2021. Vol. 6. URL:<https://search.worldcat.org/title/9456437001>

7. Cifuentes-Faura J. Ukraine's post-war reconstruction: Building smart cities and governments through a sustainability-based reconstruction plan. *Journal of Cleaner Production*, 2023. Vol. 419.

URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623024812>

8. Panfil J., Unru J., Kholod M. Case Report: Housing, land, and property restitution after wars takes decades: Ukraine can change this. *World Development Perspectives*, 2023. Vol. 31.

URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452292923000358>

9. Gursel A., Shehabi A., Horvath A. What are the energy and greenhouse gas benefits of repurposing non-residential buildings into apartments? *Resources, conservation and recycling*, 2023. Vol.198. URL:<https://tinyurl.com/4ah6jpve>

10. Kadric D., Aganovic A., Martinovic S., Delalic N., Delalic B. Gurda a Cost-related analysis of implementing energy-efficient retrofit measures in the residential building sector of a middle-income country – a case study of Bosnia and Herzegovina. *Energy & Buildings*, 2022. Vol. 257. URL: <https://tinyurl.com/mrd7dwwj>

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-07](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-07)

УДК 624.012:539.4

ОПІР КАМ'ЯНИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДІАГОНАЛЬНОМУ РОЗКОЛЮВАННЮ

RESISTANCE OF MASONRY AND REINFORCED CONCRETE MEMBERS TO DIAGONAL SPLITTING

**Довженко О.О., к.т.н., проф., Погрібний В.В., к.т.н., с.н.с.,
Пенц М.В., аспірантка, Мищенко М.О., аспірант (Національний
університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»)**

**Dovzhenko O.O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Pohribnyi
V.V., Ph.D. in Engineering, Senior Researcher, Pents M.B., Postgraduate
Student, Myshchenko M.O., Postgraduate Student (National University
«Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»)**

Розглядаються питання забезпечення цілісності кам'яних та залізобетонних елементів несучих систем будівель і споруд при дії навантаження, рівнодійна якого спрямована за діагоналю в площині елемента. Найбільш поширеним є випадок спільної дії вертикальних і горизонтальних сил, котрі у сейсмічних районах будівництва в значній мірі впливають на несучу здатність конструкції. Особлива увага приділена дрібнорозмірним елементам, до яких відноситься цегляна кладка, та залізобетону як композитному матеріалу. Відмічається складність їх напружено-деформованого стану при діагональному розколюванні. Опір оцінюється на основі розривних рішень у теорії пластичності.

The issue of ensuring the integrity of masonry and reinforced concrete load-bearing members of the structural systems of buildings under the action of a load whose resultant force is directed diagonally in the plane of the member is considered. The most common is the case of the combined action of vertical and horizontal forces, which in seismic construction areas significantly affect the bearing capacity of structures. Special attention is paid to small-sized members, which include masonry, and reinforced concrete as a composite material. This is due to the complexity of their stress-strain state when performing diagonal splitting (simultaneous shear in compressed areas and tear in the tension zone). The failure of load-bearing structures leads to accidents and the collapse of objects as a whole or their parts, threatens the safety of people and the environment, and the loss of material values. One of the ways to increase safety is a justified clarification of the definition of the bearing capacity of structures, which creates conditions for effective design. Taking into account that significant plastic strains occur during an earthquake, the expediency of applying the theory of plasticity to design the ultimate load of masonry walls, short reinforced concrete corbels, key joints of beams with slabs and columns, and

wall panels in which loss of bearing capacity through diagonal splitting is possible. Masonry and concrete are considered as a rigid-plastic body. Plastic strains are localized on the failure surface, adjacent areas are considered rigid. The principle of virtual velocities is applied, and the mathematical apparatus of the theory of plasticity is adapted to masonry and concrete, taking into account the specifics of their strength and strain properties. The bearing capacity of structures is determined from the condition of minimum capacity of plastic strain. Normal and tangential stresses on the shear surface in the compressed zones correspond to the strength condition. The results obtained by the variation method found experimental confirmation. Recommendations on constructive measures to improve serviceability are provided.

Ключові слова: кладка, залізобетон, сейсміка, деформація, зріз, відрив.

Keywords: masonry, reinforced concrete, seismicity, strain, shear, tear.

Вступ. Для створення умов надійної експлуатації будівель і споруд та уникнення аварійних ситуацій особлива увага приділяється забезпеченню цілісності несучих конструкцій та їх з'єднань, відмова яких загрожує безпеці людей і довкілля. За досягнення конструкцією граничного стану першої групи відбувається її відмова-зрив, яка характеризується неможливістю подальшої експлуатації об'єкта і навіть призводить до припинення його існування взагалі. Підвищення безпеки потребує детального вивчення поведінки конструкцій і аналізу можливих випадків втрати несучої здатності з уточненням методів її визначення. При спільній дії вертикальних і горизонтальних (сейсмічних) сил і схемах передачі навантаження та спірання елементів, які визначають діагональний напрямок траєкторії головних напружень, реалізуються діагональне розколювання, одним із шляхів уникнення якого є розроблення додаткових конструктивних заходів з надійної експлуатації, про що засвідчено в [1].

Аналіз останні досліджень. Важливе значення приділяється конструкціям із дрібнорозмірних елементів, зокрема із цегли. В нормах [1] наведений мінімальний обсяг вимог щодо їх проектування, зведення, реконструкції та передбачається можливість обґрунтованого їх підвищення. Вплив горизонтального навантаження при розрахунках згідно з [2, 3] здійснюється шляхом врахування ексцентриситетів прикладання горизонтальних сил для визначення коефіцієнта зменшення несучої здатності на дію вертикальних сил. За постійно діючого вертикального навантаження допускається в розрахунках конструкцій замінювати розрахункову міцність кладки f_{kd1} на згин у площині руйнування, паралельній горизонтальному шву (за неперев'язаним перерізом), на підвищену умовну розрахункову міцність $f_{kd1,app}$. Однак, у нормах не наведені розрахункові схеми та не деталізовано алгоритм визначення

несучої здатності з урахуванням сейсмічної небезпеки. При дії сейсмічного навантаження виникає необхідність у забезпеченні несучої здатності з урахуванням вимог стійкості та монолітності конструкцій [4, 5]. У цьому напрямку в [6] для сейсмічних районів наведені найбільш характерні випадки пошкоджень та руйнування стін. Слід зазначити, що під час землетрусів спостерігаються значні пластичні деформації [7], що вказує на доцільність застосування теорії пластичності для розв'язання задач несучої здатності цегляних стін у зонах їх локалізації. Відомі випадки руйнування у межах похилої стиснутої смуги в коротких залізобетонних консолях [8] і швах шпонкових з'єднань [9], які можна класифікувати як діагональне розколювання.

Вказане вище обумовлює необхідність уточнення областей реалізації різних випадків можливого руйнування з використанням теорії пластичності для визначення несучої здатності кам'яних і залізобетонних конструкцій, а також стикових з'єднань із підвищеним опором зрізу з урахуванням специфіки напружено-деформованого стану в зоні руйнування.

Постановка мети та задачі досліджень. Визначення опору кам'яних і залізобетонних елементів при діагональному розколюванні, перевірка достовірності отриманих результатів та надання пропозицій з підвищення експлуатаційної придатності.

Основні положення розрахунку. Для визначення несучої здатності кам'яних стін при дії горизонтального (сейсмічного) навантаження, коротких консолей та шпонкових з'єднань при домінуванні деформації зсуву використовуються математичний апарат теорії пластичності, адаптований до кам'яної кладки та бетону, і розривні рішення [10 – 12]. Застосовується варіаційне обчислення, принцип віртуальних швидкостей, умова мінімуму потужності пластичної деформації, котрі визначають величину граничного навантаження. В якості умови пластичності прийнята умова міцності, котра геометрично представляє собою параболоїд обертавання.

При дії сейсмічного навантаження в горизонтальних перерізах над і під віконними отворами порушується суцільність розчинних швів і передача навантаження відбувається за площадками спирання перемичок та на ділянках стін, які примикають до отворів.

У [4, 5] відмічена діагональна направленість силових потоків із концентрацією напружень у місцях зміни жорсткості конструкції та її руйнування у напрямку рівнодійної сили.

Несуча здатність кам'яних стін в цьому випадку визначається на основі розв'язання задачі опору смуги при двосторонньому місцевому стиску з одночасним руйнуванням в зоні стиску та розтягу. За боковими гранями

клиноподібної стиснутої зони діють рівномірно розподілені дотичні й нормальні напруження, котрі встановлюються відповідно прийнятої умови міцності; в зоні відриву напруження дорівнюють міцності кладки на осевий розтяг.

Процес руйнування відбувається наступним чином: наближаючись одна до одної у вертикальному напрямку зі швидкістю V_1 трикутні області зумовлюють рух бокових жорстких областей кладки в перпендикулярному напрямку зі швидкістю V_2 .

Кінематична схема руйнування смуги наведена на рис. 1.

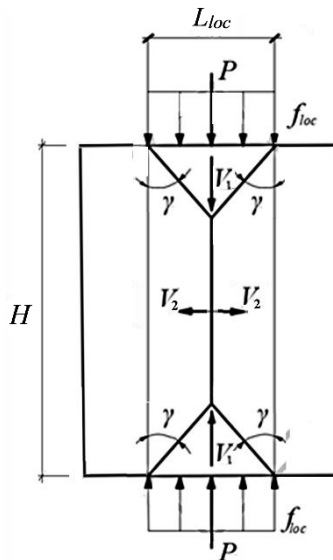


Рисунок 1 – Кінематична схема руйнування смуги

Граничні значення головних нормальних напружень $\sigma_1 = P/A_d$, які сприймає смуга, підраховуються за залежністю:

$$\sigma_1 = \left[\frac{\tan(\gamma + \psi)}{\tan \gamma} - 1 \right] \left(d \frac{\sqrt{1 + 4 \tan^2 \psi}}{\tan \psi} - m \right) + \tan(\gamma + \psi) f_d \left(\frac{H}{L_{loc}} - \frac{1}{\tan \gamma} \right), \quad (1)$$

де A_d – площа поперечного перерізу смуги; ψ – кут між напрямком швидкості та площиною зсуву; γ – кут між поверхнею руйнування та

напрямок дії сили; $m = f_d - f_t$, тут f_d і f_t – міцність кладки при осьовому стиску та розтягу; H/L_{loc} – відношення висоти смуги до її ширини. Результати розрахунку наведені в [10].

Розташування в межах ділянки стіни зон стиску зі зсувною формою руйнування та розтягу з відривом, а також кінематична схема при діагональному розколюванні простінка наведені на рис. 2.

Ширина розрахункового елемента, на котрий передається навантаження, дорівнює $L_{loc} = l_{sup} / \cos \varphi$, де l_{sup} – довжина площадки спирання перемички, φ – кут рівнодійної навантаження до вертикалі, а висота смуги $H = D - l_{sup} \tan \varphi$, де D – довжина діагоналі простінка.

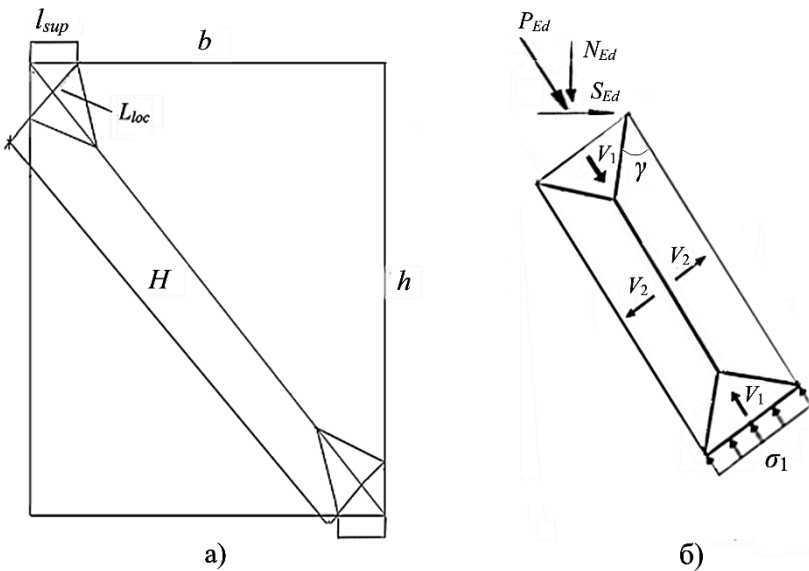


Рисунок 2 – Розташування в простінку стиснутих і розтягнутої зон (а) та кінематична схема руйнування (б)

Вертикальне зусилля з урахуванням впливу горизонтальної сили при діагональному розколюванні визначається за умови $0,6 \leq S_{Ed} / N_{Ed} \leq 1$ із залежності:

$$N_{Rd} = \frac{k_m f_d l_{sup} t}{S_{Ed} / N_{Ed}}, \quad (2)$$

де $k_m = (0,8 + 2f_t / f_d)(H / L_{loc})^{0,2}$ – коефіцієнт, який враховує вплив міцності кладки на розтяг та відношення h / l_{sup} на величину граничного опору; t – товщина стіни.

За розрахункове граничне зусилля N_{Rd} приймається менше значення із зусиль, отриманих при зрізі за похилим перерізом [10] і діагональному розколюванні.

Перевірка достовірності отриманих теоретичних результатів виконана за даними випробувань дослідних зразків серій RL [13], КРПУ, КРПО, КПП, КПК [14] з використанням методики RILEM TC [15] та ASTM E519 [16]. Довжина площадки передачі навантаження l_{sup} складає 65 мм. Навантаження передавалося за всією товщиною зразків. За характером прикладання навантаження випробування носить назву діагонального стиску.

При розрахунку кам'яних конструкцій міцність кладки при стиску є одним із важливих визначальних факторів. У НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» проводяться дослідження щодо встановлення розмірів і форми стандартного зразка для її експериментального визначення.

Результати порівняння опору кам'яних зразків, визначеного за запропонованим методом [10] та отриманого експериментально [13, 14] вказують на їх задовільну близькість: для 12 дослідних зразків середнє арифметичне відхилення відношення теоретичного опору до експериментального становить 0,982 з коефіцієнтом варіації 14,2 %.

В експериментальних дослідженнях зафіксовано «діагональне розколювання» в межах умовної смуги, котре можна розглядати як сукупність стиснутих трикутних зон біля опори та місця прикладання навантаження, з'єднаних площиною відриву в зоні розтягу. Ширина смуги відповідає границям площадки передачі навантаження. Руйнування дослідних зразків починалося з вдавлювання стиснутих клинів у кладку з подальшим переміщенням її бокових частин перпендикулярно до тріщини відриву, котра з'єднувала вершини клинів.

Розміщення найбільш напружених зон і траєкторії головних напружень у простінках (рис. 3) знайшли експериментальне підтвердження за характером руйнування.

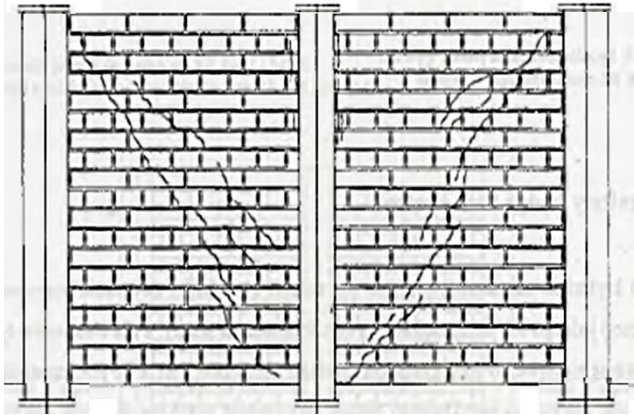


Рисунок 3 – Характер руйнування простінків у випробувальному стенді при сумісній дії горизонтального та вертикального навантаження [13]

Питання опору залізобетонних елементів при діагональному розколюванні виникає при розрахунку коротких консолей у межах руйнування за похилою стиснутою смугою та швів стикових шпонкових з'єднань із підвищеним опором зрізу із трапецієвидними та трикутними шпонками. У розрахунковій моделі, що розглядається в [9], несуча здатність визначається опором стиснутого підкосу між шпонками. Його ширина та кількість шпонок, які він охоплює, залежать від ширини шва, кроку шпонок і вмісту арматури. Дана модель ґрунтується на методах нижньої оцінки (статичному), запропонований же авторами підхід базується на кінематичному методі (верхньої оцінки) при діагональному розколюванні (рис. 4).

Висновки. Діагональне розколювання характеризується зрізом у стиснутих зонах та відривом в області розтягу, граничний стан в яких досягається одночасно. Для оцінювання опору кам'яних і залізобетонних елементів та шпонкових стикових з'єднань при діагональному розколюванні перспективним є застосування теорії пластичності, варіаційного обчислення та розривних рішень. З метою уникнення втрати несучої здатності шляхом діагонального розколювання необхідно підвищувати довжину площадки передачі навантаження на конструкцію та

передбачити при проектуванні конструктивні заходи, котрі збільшують довжину розрахункового перерізу в напрямку діагоналі, зокрема для стін ширина простінків повинна перевищувати їх висоту, що надає можливість використати ділянки стін під вікнами.

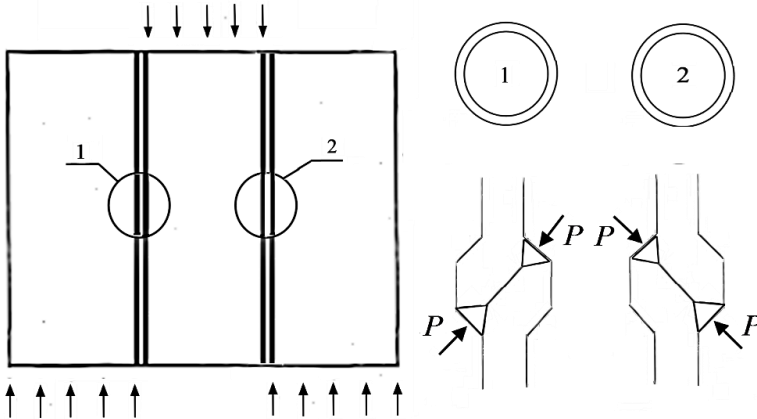


Рисунок 4 – Діагональне розколювання в шпонкових з'єднаннях панельних стін

References

1. DBN V.1.1-12:2014 Budivnytstvo u seismichnykh raionakh Ukrainy. – K.: Minrehion Ukrainy. – 2014. – 110 s.
2. DBN V.2.6-162:2010. Konstruktsii budynkiv i sporud. Kam'iani ta armokam'iani konstruktsii. Osnovni polozhennia. – K.: Minrehionbud Ukrainy. – K.: 2011. – 98 s.
3. Eurocode 6: Design of masonry structures. – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures: EN 1996-1-1:2005. – Brussels: CEN. – 2005. – 123p.
4. Liu Z. Effects of size and position of openings on in-plane capacity of unreinforced masonry walls / Z. Liu, A. Crewe // Bull Earthquake Eng. – 2020. – Vol. 18. – Pp. 4783–4812.
5. Brzev S. Seismic design guide for masonry buildings / S. Brzev, D. Anderson. – Canadian Concrete Masonry Producers Association, 2018. – 104 p.
6. DSTU B V.1.1-28: 2010 Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Shkala seismichnoi intensyvnosti. – K., Minrehionbud Ukrainy. – 2010. – 79 s.

7. Ashkynadze H.M. Zhelezobetonnye steny seismostoikykh zdanyi. Yssledovaniya y osnovy proektyrovaniya / H.M. Ashkynadze, M. Ye. Sokolov. – M., 1988. – 486 s.
8. Maksymovych B.Yu. Nesucha zdatnist korotkykh zalizobetonnykh konsoli: avtoref. dys ... kand. tekhn. nauk: spets. 05.23.01 «Budivelni konstruktсии, budivli ta sporudy» / B.Yu. Maksymovych. – Lviv: Nats. un-t «Lviv. Politekhnika», 2004. – 21 c.
9. Nielsen M.P. Limit Analysis and Concrete Plasticity; 3rd ed./ M.P. Nielsen, L.C. Hoang. – CRC Press, 2016. – 788 p.
10. Pohribnyi V.V. Metodolohiia rozrakhunku nesuchoi zdatnosti zalizobetonnykh i kam'ianykh konstruktсии z vykorystanniam umov ekstremumu deformuvannia: monohrafiia / V.V. Pohribnyi. – Poltava: PP «Astraiia», 2022. – 388 s.
11. Dovzhenko O. Work of masonry under the combined action of vertical and horizontal loads: an analysis of experimental studies / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, D. Usenko, M. Qiniso // Zbirnyk naukovykh prats (haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo). Poltava, 2020. – Vyp. 2(55). – Pp. 44–51.
12. Dovzhenko O. The masonry calculation strength under the vertical and horizontal loads combined action by the variational method in the plasticity theory / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, V. Usenko, D. Usenko // Zbirnyk naukovykh prats (haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo). Poltava, 2021. – Vyp. 2(57). – Pp.26-31.
13. Piekarczyk A. Badania początkowej wytrzymałości muru niezbrojonego na ścinanie w kierunku prostopadłym do spoin wsporny / A. Piekarczyk // Zeszyty naukowe politechniki śląskiej, seria: budownictwo. – 2000. – Vol. 1482. – S. 187–197.
14. Derkach V.N. Anizotropiia prochnosti kamЕННОI kladky na rastiazhenye pry raskalыvaniy / V.N. Derkach // Nauchno-tekhnycheskye vedomosti SPbHPU. – Nauka y obrazovanye. – 2012. – №2 (147). – S. 259–265.
15. RILEM TC. 1994. 76-LUM. Diagonal tensile strength tests of small wall specimens, 1991. In RILEM, Recommendations for the Testing and Use of Constructions Materials. London: E&FN SPON. – Pp. 488–489.
16. ASTM E 519–02, Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages. In Annual Book of ASTM Standards. West Conshohock, PA: ASTM International, 2002.

Література

1. ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво у сейсмічних районах України. – К.: Мінрегіон України. – 2014. – 110 с.
2. ДБН В.2.6-162:2010. Конструкції будинків і споруд. Кам'яні та армокам'яні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України. – К.: 2011. – 98 с.
3. Eurocode 6: Design of masonry structures. – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures: EN 1996-1-1:2005. – Brussels: CEN. – 2005. – 123p.

4. Liu Z. Effects of size and position of openings on in-plane capacity of unreinforced masonry walls / Z. Liu, A. Crewe // *Bull Earthquake Eng.* – 2020. – Vol. 18. – Pp. 4783–4812.
5. Brzev S. Seismic design guide for masonry buildings / S. Brzev, D. Anderson. – Canadian Concrete Masonry Producers Association, 2018. – 104 p.
6. ДСТУ Б В.1.1-28: 2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Шкала сейсмічної інтенсивності. – К., Мінрегіонбуд України. – 2010. – 79 с
7. Ашкинадзе Г.М. Железобетонные стены сейсмостойких зданий. Исследования и основы проектирования / Г.М. Ашкинадзе, М.С. Соколов. – М., 1988. – 486 с.
8. Максимович Б.Ю. Несуча здатність коротких залізобетонних консолей: автореф. дис ... канд. техн. наук : спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Б.Ю. Максимович. – Львів: Нац. ун-т «Львів. Політехніка», 2004. – 21 с.
9. Nielsen M.P. Limit Analysis and Concrete Plasticity; 3rd ed./ M.P. Nielsen, L.C. Hoang. – CRC Press, 2016. – 788 p.
10. Погрібний В.В. Методологія розрахунку несучої здатності залізобетонних і кам'яних конструкцій з використанням умов екстремуму деформування: монографія / В.В. Погрібний. – Полтава: ПП «Астрія», 2022. – 388 с.
11. Dovzhenko O. Work of masonry under the combined action of vertical and horizontal loads: an analysis of experimental studies / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, D. Usenko, M. Qinisho // *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво).* – Полтава, 2020. – Вип. 2(55)'. – Pp. 44–51.
12. Dovzhenko O. The masonry calculation strength under the vertical and horizontal loads combined action by the variational method in the plasticity theory / O. Dovzhenko, V. Pohribnyi, V. Usenko, D. Usenko // *Зб. наук. пр. (галузеве машинобудування, будівництво).* – Полтава, 2021. – Вип. 2 (57)'. – Pp. 26–31.
13. Piekarczyk A. Badania początkowej wytrzymałości muru niezbrojonego na ścinanie w kierunku prostopadłym do spoin wsporny / A. Piekarczyk // *Zeszyty naukowe politechniki śląskiej, seria: budownictwo.* – 2000. – Vol. 1482. – S. 187–197.
14. Деркач В.Н. Анизотропия прочности каменной кладки на растяжение при раскалывании / В.Н. Деркач // *Научно-технические ведомости СПбГПУ.* – Наука и образование. – 2012. – №2 (147). – С. 259–265.
15. RILEM TC. 1994. 76-LUM. Diagonal tensile strength tests of small wall specimens, 1991. In RILEM, Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials. London: E&FN SPON. – Pp. 488–489.
16. ASTM E 519–02, Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages. In Annual Book of ASTM Standards. West Conshohock, PA: ASTM International, 2002.

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-08)

УДК 711.062

ТОРГОВО-РОЗВАЖАЛЬНІ ЦЕНТРИ. КЛАСИФІКАЦІЯ. ЕТАПИ ПРОЄКТУВАННЯ ТА НОРМИ БУДІВНИЦТВА

SHOPPING AND ENTERTAINMENT CENTERS. CLASSIFICATION. DESIGN STAGES AND CONSTRUCTION STANDARDS

Зеленська В.В. студентка, **Шевченко Я.О.** студентка,
Тригуб Р.М. к.т.н., доцент (Національний технічний університет
«Київський національний університет будівництва і
архітектури», м.Київ)

Zelenska V.V. student, **Shevchenko Y.O.** student, **Trigub R.M.**
**PhD., Associate Professor (Urban Construction National Technical
University «Kyiv National University of Construction and
Architecture», Kyiv)**

Торгівельно-розважальні центри є невід'ємною частиною структури сучасного урбаністичного середовища. Вони є центром дозвілля, реалізації торгівлі та мають прямий вплив на економічний розвиток та суспільне життя міст та агломерацій. Проектування та будівництво торгівельно-розважальних центрів є складним процесом та потребує дотримання багатьох норм та стандартів.

The history of trade is inextricably linked with the history of cities. After all, it is trade and handicrafts that are the main factors that caused the emergence of the city. Many large and powerful cities arose precisely at the intersection of trade routes. Already then, and this is the 3rd millennium BC. BC such ancient cities developed: Babylon, Memphis, Athens, and Carthage. And even then, each of these cities had a place of trade, where the main aspects of city life traditionally took place: social contacts, ideas, conversations, observing others, news, gossip, and recreation.

The shopping center is a modern type of building, which is the embodiment of ancient traditions of city life. For a long time, these buildings were ignored and caused disdain among architects of traditional views due to their set commercial purpose. However, over time, despite everything, the shopping center became one of the formative factors of the planning structure of the city, which strongly affects its life, health, and vitality.

A shopping center is a group of shopping facilities that are united in one single place and are managed as a whole, according to their type, dimensions, and location, they functionally comply with absolutely all the needs of the shopping area that they have undertaken to serve. Types of shopping centers are distinguished from each other by the following main features:

- *purpose;*
- *enterprises they serve;*
- *scale;*
- *place and form of origin (located above the ground, under the ground, or partially both here and there);*
- *a segment of buyers.*

Classification of shopping centers according to international standards is regulated by ICSC (The International Council of Shopping Centers).

Ключові слова: торговельний та торговельно-розважальний центр, торгова площа, класифікація ТРЦ, етапи проектування ТРЦ.

Keywords: shopping and shopping and entertainment center, shopping area, shopping center classification, stages of shopping center design.

Вступ

Історія торгівлі невід’ємно пов’язана з історією міст. Саме торгівля та ремісництво є одними з основних чинників, що спричинили появу міст, як осередків проживання груп людей. Багато значних міст зводилось саме на перетині важливих торгових шляхів. Вже тоді, в III тис. до н. е., свій розвиток почали такі давні міста: Вавилон, Мемфіс, Афіни, Карфаген. На той час у цих містах були спеціальні зони для торгівлі, де традиційно проходили основні події міського життя: соціальні контакти, генерація ідей, комунікація, спостереження за іншими, новини, плітки, відпочинок.

ТРЦ – це сучасний вид будівлі, який відображає давні традиції міського життя. Архітектори традиційних поглядів тривалий час ігнорували та зневажали ТРЦ. Це було пов’язане з чіткою кореляцією комерційної мети будівель даного типу. Проте з часом, незважаючи на початкове прискіпливе сприйняття, ТРЦ став одним із чинників, що формує планувальні структури міста та суттєво впливає на його життя, здоров’я та життєздатність.

Торговельний центр – це група торговельних об’єктів, які зосереджені в одному місці або комплексі, керуються як одне ціле і за типологією, розмірами та місцезорозташуванням функціонально відповідають потребам торговельної зони, яку вони обслуговують (згідно з ДБН В.2.2-23:2009 "Підприємства торгівлі").

Торговельно-розважальний центр або комплекс (ТРЦ чи ТРК) є різновидом торговельного центру (ТЦ), який може розміщуватися у різних приміщеннях комплексу або в одній багатофункціональній будівлі. До складу будівлі такого типу, крім торгових об’єктів та місць з додатковим сервісом, включають об’єкти:

- культурно-видовищного призначення;
- розважального та спортивного призначення (кінотеатри, боулінг, спортивний зал, ковзанка, плавальний басейн, фітнес тощо);

- службові;
- «побутові та допоміжні приміщення персоналу (гардеробні, душові, туалети з універсальними кабінами)» [3].

Класифікація торгово-розважальних центрів

Типологія торгових центрів описана в [3]. У нормативних документах зазначено, що «торговий центр це сукупність торгових об'єктів, які зібрані в одному єдиному місці і керуються як одне ціле. В даному випадку, торгові об'єкти дотримуються усіх потреб торгової зони, яку вони взялися обслуговувати» [3].

Типи торгових центрів відрізняються одне від одного за такими основними ознаками:

- мета;
- підприємства, які вони обслуговують;
- масштаб;
- місце та форма походження (наземні, підземні, змішаний тип);
- сегмент клієнтів.

Класифікація торгових центрів за міжнародними стандартами позначається ICSC (The International Council of Shopping Centers - Міжнародна рада торгових центрів).

Ця Міжнародна рада, що веде бізнес як ICSC, є глобальною торговельною асоціацією, яку вона називає «індустрією ринків». Заснована в 1957 році, вона налічує понад 70 000 членів у більш ніж 100 країнах, включаючи власників торгових центрів, розробників, менеджерів, спеціалістів з маркетингу, інвесторів, роздрібних продавців і брокерів, а також науковців і державних службовців. Будучи всесвітньою галузевою торговельною асоціацією, ICSC зв'язується з понад 25 національними та регіональними радами торгових центрів у всьому світі. У липні 2021 року ICSC змінила свій бренд лише за своїми ініціалами та прийняла слоган «Innovating Commerce Serving Communities - Інноваційне комерційне обслуговування спільнот».

Дослідницька група ICSC Ukraine Research Group, яка створена у червні 2013 у складі ICSC для вивчення ринку торгових центрів в Україні та стандартизації даних.

Відповідно до класифікації, розробленої ICSC, торгові центри поділяються на 2 групи: моли (англ. Malls) та оупен-ейр центри (англ. Open-air Center) [5].

Моли включають регіональний та суперрегіональний типи.

Регіональний торговий центр Regional Center – торговий центр, що пропонує клієнтам широкий спектр товарів (одяг, меблі, товари для дому тощо), різноманіття послуг та сервісів, а також локації для відпочинку та

розваг. Регіональні торгові центри будують навколо 1-2 якірних орендарів. Характерною для даної категорії торгових центрів є загальна орендна площа, яка коливається у межах 37000 - 75000 м². Такі торговельні центри пропонують послуги, що притаманні для ділових районів, але вони менш різноманітні, ніж спектр послуг в суперрегіональному торговому центрі. Типове розміщення для регіональних центрів – 30-40 хвилин транспортної доступності. Кількість відвідувачів – понад 150 000 осіб. Зона охоплення - 8 - 24 км [5].

Суперрегіональний торговий центр (Super regional Center) – торговий центр, який пропонує клієнтам широкий вибір товарів (одяг, меблі, товари для дому тощо), різноманітні види послуг, а також локації для відпочинку та розваг. Вони будуються навколо трьох і більше якірних орендарів, площею понад 7000 м² кожен. Орендна площа магазинів-якорів має складати 50–70% від загальної орендної площі. Типовими якорями є: магазини промислових товарів; магазини товарів широкого вжитку; магазини товарів зі знижками; відділ брендівих товарів, відпочинкова зона. Радіус обслуговування становить від 8 км до 40 км [5].

До оупен-ейр центрів відносять усі інші типи торговельних центрів, а саме: мікрорайонний, районний, тематичний / фестивальний центри (англ. Theme/Festival Center), лайфстайл центр (англ. Lifestyle Center), аутлет центр (англ. Outlet Center), пауер центр (англ. Power Center), належать до оупен-ейр центрів. Їх радіус обслуговування може сягати від 5 до 20 км [5].

Для усіх типів торговельних центрів існують певні зазначені характеристики: загальна концепція та орендна площа. «Орендна площа (англ. Gross leasable area (GLA) – загальна площа, яка винятково призначена для використання орендарями, що включає в себе підвали, мезоніни або верхні поверхи. Площа вимірюється в квадратних метрах від осьової лінії спільних перегородок та від меж зовнішніх стін. Оскільки GLA легко можна виміряти, його прийнято використовувати як стандарт для статистичного порівняння; GBA (Gross Building Area) – це загальна площа будівлі; якірний магазин (англ. Anchor) – великий, часто мережевий, оператор роздрібної торгівлі відомого бренду, що розташовується на території торгового центру на правах орендаря чи власника, що орендує площу» [5]. Основна задача якоря – приваблювати основні потоки відвідувачів до торгового центру. Крім магазинів, якорним орендарем можуть бути: фуд-корти, кінотеатри, розважальні заклади, іміджеві місця та некомерційні об'єкти (пам'ятки архітектури та ін).

У системі торгово-розважальних центрів виділяють три основні складові: орендовані приміщення; підсобні приміщення; комунікативний простір.

ТРЦ є багатофункціональною архітектурною спорудою. Інтегруюча ланка у структурі ТРЦ – це комунікативний простір. Поняття «комунікативний простір» є міждисциплінарним та є ознакою багаторівневого архітектурного середовища, що виконує функцію зв'язку між елементами функціонального наповнення торгово-розважальних центрів, в якому відбувається задоволення потреб, як психологічної, так і соціальної комунікації між відвідувачами. Зокрема, це поняття широко використовується у соціології, психології та теорії комунікації.

Етапи проєктування ТРЦ

Щоб забезпечити прибутковість та безпеку торгового центру (ТЦ), необхідно дбати про кожен аспект ще на етапі проєктування. Від створення загальної концепції до докладного планування функціонального призначення кожного приміщення, кожен крок має бути продуманим.

Інженерно-технічне проєктування ТЦ включає наступні етапи та компоненти:

- Підготовчі роботи. Перш ніж розпочати будівництво ТРЦ, необхідно обрати місце його розташування, розробити концепцію будівлі з урахуванням складських і господарських приміщень, розрахувати їхню площу, визначитися з кількістю поверхів, продумати дизайн фасаду тощо.

- Виконання інженерно-пошукових робіт на майданчику, аналіз ґрунту, розташування ґрунтових вод (геологія, геодезія).

- Розробка документації із планувальними, технологічними, інженерними, архітектурними та конструктивними рішеннями. Архітектурне планування. На цьому етапі складається перелік усіх функціональних зон ТЦ (магазинів, кінотеатрів, ігрових кімнат, фуд-кортів, розважальних комплексів, санітарних кімнат, господарських приміщень, паркінгу тощо). Кожна з цих зон повинна мати максимальну місткість і пропускну здатність. Їх необхідно розмістити так, щоб забезпечити рівномірний розподіл товарних і клієнтських потоків.

- Експертиза документації. Документи на дозвіл будівництва є законною підставою для реалізації будівельного або архітектурного проєкту. Відповідна інстанція, а саме, Державна архітектурно-будівельна інспекція, надає будівельну документацію з метою контролю виконання нормативів, правил, вимог і умов містобудівного законодавства.

- Розробка робочих креслень.

- Проєктування інженерних комунікацій. На цьому етапі визначається розташування всіх інженерних систем: опалення, вентиляції, кондиціонування, водопостачання та каналізації. Не варто забувати про елементи телекомунікації та систему безпеки. Продумане розташування інженерних систем суттєво підвищує продуктивність роботи торгового центру та комфорт його відвідувачів.

- Отримання дозволу на будівництво. Дозвіл на будівництво – сукупність процесів і етапів реалізації архітектурного об'єкта в Україні; дозвіл на будівництво – офіційний документ, який видає Державна інспекція архітектури та містобудування України (ДІАМ).

- Підготовка ескізу дизайнерського проекту. Інтер'єр ТЦ повинен створювати легку атмосферу, яка сприятиме тривалому перебуванню відвідувачів на його території.

- Авторський нагляд, що забезпечує дотримання відповідності реалізації об'єкту до його проекту.

Згідно з [4], завдання на проектування затверджується замовником та узгоджується проектувальником. Детальніше розглянемо стадії проектування торгового центру як архітектурного об'єкта:

1. *Ескізний проект* є першою фазою проектування, спрямованою на визначення основних містобудівних, архітектурних, художніх та функціональних аспектів об'єкта, а також техніко-економічних показників. На даній стадії визначається оптимальне розташування будівлі на ділянці, враховуючи навколишнє середовище: протипожежні заходи, інженерні мережі та орієнтація будівлі за сторонами світу. Також розробляються схематичні планувальні рішення, визначаються основні функціональні зони та концепція зовнішнього вигляду майбутньої споруди.

За підсумком цієї стадії отримуємо список документів та цифр: «вихідні дані, пояснювальна записка, попередні техніко-економічні показники, ситуаційна схема, схема генплану, плани поверхів, фасади, перспективи та фотомонтажі із урахуванням навколишньої забудови, схематичний розріз» [4].

На *завершальній стадії етапу ескізного проекту* формується набір документів і даних, який включає в себе: вихідні матеріали, пояснювальну записку, попередні техніко-економічні показники, схематичну ситуаційну схему, генеральний план, плани кожного поверху, фасади, перспективні види та фотомонтажі, де враховується навколишня забудова, і схематичний розріз.

Приблизний зміст документації включає наступне:

- початкові відомості
- загальний опис рішень, ухвалених у рамках проекту
- техніко-економічні показники
- генеральний план
- схема рельєфу та ландшафту
- плани благоустрою та зеленого оздоровлення
- плани транспортних та пішохідних маршрутів (за необхідності)
- загальний план інженерних мереж (за необхідності)
- архітектурно-будівельні концепції

- фасади
- плани поверхів
- плани дахів
- розрізи
- деталі огороджувальних конструкцій

Рішення з інженерного забезпечення будівлі включає у себе основні схеми розташування технічного обладнання, такі як системи водопостачання, каналізації, опалення, вентиляції, кондиціонування повітря, електропостачання, автоматизації, системи очищення повітря та видалення диму, сміттєвидалення та інші.

Спеціальні розділи проекту, такі як плани організації будівництва, оцінка впливу на довкілля, кошторисна документація та інші, виконуються за необхідністю, залежно від характеристик конкретного об'єкта. На даному етапі проектування також проводяться розрахунки теплотехніки для огороджувальних конструкцій з урахуванням вимог щодо енергозбереження.

2. Етап *робочої документації* для будівництва призначений для підготовки матеріалів, необхідних для виконання будівельно-монтажних робіт і визначення вартості проекту. Цей етап також включає детальне уточнення всіх аспектів будівництва, таких як розміщення вузлів, оздоблювальні елементи, заходи з уникнення втрат тепла, перелік матеріалів і виробів, а також технічні специфікації для нестандартних елементів. Робоча документація розробляється на основі попереднього етапу проектування, що був затверджений раніше.

3. Етап *робочого проекту* є важливим кроком у проектуванні, який фактично об'єднує на собі стадію "П" та робочі креслення.

4. Етап *авторського нагляду* за будівництвом передбачає контроль розробниками проекту ходу будівельних робіт, перевірку відповідності виконання проектних рішень, документування відхилень у спеціальному журналі, своєчасне внесення коректив та уточнень до проектних рішень, а також надання допомоги у виборі будівельних та декоративних матеріалів.

Робоча документація проекту торгового центру включає такі розділи:

- пояснювальна записка;
- технологічні розділи;
- будівельно-архітектурні рішення;
- схеми залізобетонних конструкцій;
- схеми металевих конструкцій;
- вентиляція, кондиціонування та опалення, різноманітні ізоляції;
- каналізація та водопостачання;
- електрика;

- системи автоматизації;
- сигналізації, зв'язок та мережа, системи безпеки (відеоспостереження).

Нормативна база проектування торгових центрів

При проектування торгового центру потрібно враховувати важливі показники :

- ступінь безпечності будівлі стосовно вогню;
- наявність наземного та підземного паркінгу;
- наявність обладнання для електромобілів;
- заповнення віконних отворів;
- проектування відкритих просторів з доступом природного світла (проходи та частини атриуму);
- раціональне планування та розміщення орендарів;
- розміщення загальних зон (фуд-корт, зони відпочинку);
- формування артерії руху (основні, центральні та допоміжні алеї)

Під час проектування важливо передбачати необхідні системи протипожежного захисту:

- пожежна сигналізація;
- керування евакуацією;
- самостійні системи миттєвого пожежогасіння;
- система диспетчеризації СПЗ;
- зручне розташування об'єкту для маломобільного населення.

З 1 серпня 2019 року набули чинності певні зміни до [3], які були затверджені наказом Мінрегіону №313 від 20 листопада 2018 року. Згідно з цими змінами, усунуто обмеження щодо максимальної висоти торговельних залів у гіпермаркетах, супермаркетах, магазинах, ринках та інших торговельних закладах, які будуються або реконструюються. Це відкриває можливість будувати сучасні та привабливі об'єкти без прив'язки до висоти приміщень, щоб відвідувачі могли користуватися торговельними послугами у сучасних та комфортних приміщеннях.

Ще однією важливою зміною, яка набула чинності відтепер, є можливість проектувати торговельні зали без обмежень по висоті. Раніше у будівельних нормах існували певні обмеження стосовно висоти приміщень для торговельних закладів. Зазвичай, поверхи будувалися на висоту від 3.0 до 3.3 м, і лише за відповідним обґрунтуванням і залежно від площі торговельного залу їх можна було підвищувати до максимуму 4.8 м. Зміни усунули ці обмеження, відкривши можливість проектувати сучасні та привабливі торговельні об'єкти будь-якої висоти, як це практикується у всьому світі.

Отже, в новій версії ДБН зазначається, що висота поверхів торговельних зал за необхідності може бути збільшена за наявності відповідного обґрунтування щодо механізації, обладнання або конструкції. При цьому мінімальна висота від підлоги до стелі залишається на рівні 3 м (як і раніше), а для двосвітних торгових залів — не менше 5.8 м за наявності антресолей.

ДБН В.2.2-23:2009 «Підприємства торгівлі» доповнено:

- новим підрозділом «Вимоги до проектування торговельних і торговельно-розважальних центрів (комплексів), що розміщуються в одній багатofункціональній будівлі» [3], який, серед іншого, встановлює і вимоги до земельних ділянок розміщення ТЦ і ТРЦ (ТРК);

- вимогами до безпеки та доступності підприємств торгівлі для маломобільних груп населення (враховано положення ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд»);

- вимогами до енергоефективності та енергозбереження;
- вимогами механічного опору і стійкості, довговічності та ремонтпридатності.

«У будівлі ТЦ і ТРЦ (ТРК) допускається влаштування приміщень для короткотривалого перебування та дозвілля дітей (до 3-4-х годин без організації харчування та сну). Такі приміщення не повинні містити спальень і кухонь, а їх слід розміщувати не вище другого поверху з автономним евакуаційним виходом (з пандусом для маломобільних груп населення)» [3].

«У ТЦ і ТРЦ(ТРК) слід передбачати для покупців та відвідувачів:

- туалети, які мають універсальну кабінку з відповідними пристроями для осіб з інвалідністю та санітарно-гігієнічним обладнанням;

- приміщення для жінок з немовлятами, в якому встановлюють стіл для сповивання та відповідне санітарно-гігієнічне обладнання» [3].

Вимоги щодо земельних ділянок для розташування підприємств торгівлі

На земельній ділянці магазину необхідно передбачати зону для зручного під'їзду відвідувачів і зону для розвантаження автомобілів та прийому товару. На території для покупців можуть базуватись майданчики для сезонної торгівлі, кіоски, торговельні автомати, засоби реклами тощо, а також місця для відпочинку відвідувачів.

Проектування автостоянок: наземні однорівневі та багаторівневі, відкриті та закриті, підземні

Для проектування автостоянок потрібно враховувати такі нормативні параметри:

- розміри одного машино-місця «(з урахуванням мінімально припустимих зазорів безпеки 0,5 м) - 2,5 × 5,3 м. Для тимчасових

автостоянок допускаються розміри стоянки $2,3 \times 5,0$ м. Зазори безпеки допускається збільшувати до 0,7 м;

- мінімальна ширина проїздів: із двобічним рухом - 6 м, з одnobічним рухом - 3,5 м;

- радіуси заокруглення бортового каменю - не менше ніж 6м» [3].

«При розрахунку кількості мотоциклів, які можуть бути розставлені на стоянках, приймаються такі габарити для місця паркування: мотоцикл з коляскою - $2,4 \times 1,7$ м, мотоцикл-одинак - $2,4 \times 0,8$ м, відстань між мотоциклами - не менше ніж 0,5 м» [3].

«Мінімальна відстань від в'їзду на автостоянку та виїзду з неї:

- від перехресть магістральних вулиць загальноміського та районного значення (від межі проїзної частини) - 100 м;

- від перехресть вулиць і проїздів місцевого значення (від межі проїзної частини) - 35 м;

- від зони зупинки масового пасажирського транспорту - 30 м» [3].

Благоустрій ділянок торгових центрів

Ділянки підприємств роздрібної торгівлі повинні мати опорядження, яке називається благоустроєм території.

До благоустрою ділянки ТРЦ відносять:

- озеленення;

- оснащення малими архітектурними формами (лави для сидіння тощо);

- місця для встановлення рекламних стендів.

Доступні доріжки, тротуари та майданчики для вантажівок повинні бути покриті асфальтом або покриттям, яке відповідає їх призначенню. Для зон доступу та розвантаження транспорту слід встановлювати навіси для тари (якщо її зберігання не передбачено у складських приміщеннях) і розміщувати майданчики для сміття. На території роздрібних торгових пунктів слід передбачити систему водовідведення, а там, де існує стічна каналізація, - відводити воду у стічну систему. Для прибирання території необхідно встановлювати поливальні крани. Контейнери для сміття мають бути розташовані на спеціальних майданчиках, межі яких повинні бути не менші за 1 м від основи кожного контейнера. Майданчик для сміття повинен знаходитися на відстані не менш як 25 м від торгового підприємства та від вікон та дверей прилеглих житлових та громадських будівель.

Загальні вимоги

Об'ємно-планувальні та конструктивні рішення проєктованих будівель і споруд підприємств роздрібної торгівлі повинні забезпечувати організацію торгівлі сучасними методами. До них відносять: самообслуговування, вільний доступ до товарів, продаж з експозиторами, комплексна механізація вантажно-розвантажувальних робіт завдяки засобам вертикального та

горизонтального транспорту. Головною метою об'ємного планування ТРЦ є створення зручного простору для клієнтів та продавців.

Основні групи приміщень у функціональній структурі будівель роздрібною торгівлі:

- торговельні приміщення для обслуговування клієнтів;
- приміщення для приймання та зберігання товарів, для підготовки товарів до продажу;
- підсобні приміщення;
- технічні приміщення систем інженерного обладнання.
- службові та побутові приміщення;

Висновки

Мережі сучасних торговельно-розважальних центрів стрімко розвиваються. Будуються нові торговельні споруди. Відбуваються реконструкції та реновації вже існуючих. Адже для того, щоб залучати нових клієнтів та йти в ногу з часом, потрібно створювати та впроваджувати нові концептуальні рішення в галузі ритейлу. Тому кожні 5-7 років конкурентоспроможні торговельно-розважальні центри проходять стадії перебудов та реконструкцій відповідно до заданих норм та стандартів.

References

1. DBN V.2.3-15:2007. Споруди транспорту Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів.
2. DBN V.2.2-9:2018. Громадські будинки та споруди. Основні положення.
3. DBN V.2.2-23:2009. Будинки і споруди. Підприємства торгівлі
4. DBN A.2.2-3-2004 Sklad, poriyadok rozrobky, pohodzhennya ta zatverdzhennya proektnoyi dokumentatsiyi dlya budivnytstva
5. U.S. Shopping-Center Classification and Characteristics [Electronic Resource] – ICSC, 2015. – Mode of access:
http://www.icsc.org/uploads/research/general/US_CENTER_CLASSIFICATION.pdf

Список використаної літератури

1. ДБН В.2.3-15:2007. Споруди транспорту Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів.
2. ДБН В.2.2-9:2018. Громадські будинки та споруди. Основні положення.
3. ДБН В.2.2-23:2009. Будинки і споруди. Підприємства торгівлі
4. ДБН А.2.2-3-2004 Склад, порядок розробки, погодження та затвердження проектною документації для будівництва
5. U.S. Shopping-Center Classification and Characteristics [Electronic Resource]– ICSC, 2015. – Mode of access:
http://www.icsc.org/uploads/research/general/US_CENTER_CLASSIFICATION.pdf

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10\(20\)-09](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10(20)-09)

УДК 692.4:699.86

ІМОВІРНІСНИЙ АНАЛІЗ РІВНЯ ТЕПЛОВОЇ НАДІЙНОСТІ ПОКРИТТІВ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

PROBABILITY ANALYSIS OF RESIDENTIAL BUILDINGS COATINGS THERMAL RELIABILITY LEVEL ON THE TERRITORY OF UKRAINE

Карюк А.М., к.т.н., доцент (Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»), Коба Б.Р., інженер (ТОВ «Укргазпроект»)

Kariuk A., Ph.D., Associate Professor (National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»), Koba B., Engineer (Limited liability company «Ukrigasprojekt»)

За авторською методикою отримані імовірні тривалості стану теплової відмови суміщених покриттів житлових будівель за критерієм перевищення допустимого температурного перепаду між внутрішнім повітрям і внутрішньою поверхнею огороження. У 25 регіонах України (за винятком Південного берега Криму з істотно вищими температурами повітря) імовірні тривалості теплових відмов досить систематично зростають з південного заходу на північний схід у межах від 153 до 221 хвилини/рік. Виявлені відмінності рівня теплової надійності покриттів у різних регіонах України спонукають до більш точного нормування мінімально необхідного опору теплопередачі.

The purpose of the work is to assess the level of thermal reliability of residential buildings combined with coatings in different regions of Ukraine and analyze territorial changes in thermal reliability indicators.

An indicator of combined coatings' thermal reliability is the probable duration of thermal failure condition according to the criterion of exceeding the permissible temperature difference between the indoor air and the inner surface of the enclosure. The indicator was determined according to the author's methodology for 26 regions of Ukraine (24 administrative regions, the Autonomous Republic of Crimea, and the Southern coast of Crimea) using regional statistical characteristics of atmospheric air temperature obtained in previous studies. Combined coatings, whose heat transfer resistance meets the requirements of thermal insulation current norms of buildings, Building Code B.2.6-31:2021 were analyzed. The probable duration of thermal failures in terms of the second temperature zone is somewhat shorter than under the first temperature zone. A schematic map constructed based on the results of calculations indicates that the probable durations of coatings thermal failures increase from the southwest to the northeast of Ukraine,

changing from 153 to 221 minutes/year. The duration of coating thermal failure on the territory of the Southern coast of Crimea is much shorter.

Identified differences in the thermal failure duration on the territory of different regions of Ukraine indicate the feasibility of adjusting the norms of buildings' thermal protection to regulate more accurately the minimum necessary coatings' heat transfer resistance.

Ключові слова: суміщені покриття, теплова надійність, імовірні тривалості теплових відмов

Keywords: combined coatings, thermal reliability, thermal failures probable durations

Вступ. Важливим елементом теплового захисту житлових і цивільних будівель є суміщені покриття. Для них ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція будівель" встановлюють мінімально необхідні значення опору теплопередачі, майже удвічі вищі, ніж для стін. У попередніх роботах [1, 2, 3] показано, що досить достовірним показником теплової надійності огорожень є тривалість перевищення гранично допустимого значення температурного перепаду між внутрішнім повітрям і внутрішньою поверхнею огороження. Судження щодо якості регулювання рівня теплової надійності огорожувальних конструкцій у ДБН В.2.6-31:2021 [4] можна зробити за результатами аналізу мінливості цього показника по території України.

Аналіз останніх досліджень. У роботі [1] запропонована методика визначення імовірної тривалості стану теплової відмови за критерієм перевищення допустимого температурного перепаду між внутрішнім повітрям і внутрішньою поверхнею огороження. Ця методика також стисло викладена в статті [2], де вона використана для аналізу тривалості теплових відмов стін житлових будівель у різних областях України. У якості показника теплової надійності в роботах [1, 2] використовується річна (у хвиликах на рік) та відносна тривалість стану теплової відмови, яка визначається з урахуванням статистичних характеристик температури внутрішнього та зовнішнього атмосферного повітря, а також опору теплопередачі огороження.

Статистичні характеристики температури атмосферного повітря для 485 пунктів спостереження України наведені в монографії [3], де обґрунтована можливість подання температури у формі квазістаціонарного випадкового процесу або послідовності з 12-ти нормально розподілених випадкових величин для кожного з місяців року. Узагальнені дані для аналізу територіальної мінливості показників теплової надійності покриття наведені в [5], де встановлені статистичні характеристики температури

атмосферного повітря у кожному з місяців року для 24 областей України, АР Крим та Південного берега Криму. Ці дані використані в роботі [2] для аналізу територіальної мінливості показників теплової надійності стін житлових будівель і так само можуть бути використані для розрахунків теплової надійності інших огорожувальних конструкцій.

Експериментально-статистичні дослідження температурного режиму житлових будівель [6] показали, що стандарт температури внутрішнього повітря у житлових приміщеннях можна прийняти рівним $0,6^{\circ}\text{C}$.

У [1] наведено узагальнені характеристики опору теплопередачі типових огорожувальних конструкцій, які складаються з несучої частини та ефективної теплоізоляції. Показано, що математичне сподівання опору теплопередачі приблизно на 5% більше від обчисленого за [4, 7] розрахункового значення, а коефіцієнт варіації можна вважати близьким до $0,06\dots 0,08$. Результати експериментально-статистичних досліджень [8] показали, що коефіцієнт теплопровідності плит з мінеральної вати описується випадковою величиною з нормальним законом розподілу. При середній густині плит 50 кг/м^3 коефіцієнт варіації цього розподілу дорівнює $0,12$, а при густині 115 кг/м^3 – $0,08$.

Загалом виконаний огляд останніх досліджень показав, що дані робіт [5...8] можуть бути використані для аналізу імовірної тривалості теплових відмов суміщених покриттів у різних регіонах України за методикою [1, 2].

Мета дослідження полягає в тому, щоб оцінити імовірні тривалості теплових відмов суміщених покриттів житлових будинків у різних регіонах України та проаналізувати їх зміни по території держави.

Вихідні дані та результати оцінювання показників теплової надійності покриття. Показниками теплової надійності суміщених покриттів є річна (у хвиликах на рік) та відносна тривалість дії теплової відмови за критерієм перевищення допустимого значення температурного перепаду між температурами внутрішнього повітря та внутрішньої поверхні огороження (критерій комфортності). Ці показники обчислені за методикою [1, 2] з урахуванням описаних нижче вихідних даних.

Суміщені покриття житлових будівель складаються з несучої залізобетонної плити, утеплення з плит мінеральної вати та гідроізоляції. Розрахункові значення опору теплопередачі покриттів R_0 встановлені за нормами [4]. Опір теплопередачі залізобетонної плити та гідроізоляції є незначним, тому коефіцієнт варіації опору теплопередачі покриття в цілому наближається до коефіцієнта варіації опору теплопередачі шару утеплення, який згідно з даними [8] можна прийняти рівним $0,08$. Математичне сподівання M_R та стандарт S_R опору теплопередачі покриттів визначаються за наближеними залежностями, встановленими в [1]. Отримані таким чином

характеристики опору теплопередачі покриттів для двох температурних зон України наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики опору теплопередачі покриттів, $\text{m}^2 \times \text{K}/\text{Вт}$

Території України	R_0	M_R	S_R
перша температурна зона за [6]	7,0	7,35	0,44
друга температурна зона за [6]	6,0	6,30	0,38

Математичне сподівання температури повітря в приміщенні прийняте за нормами [4] рівним $+20^\circ\text{C}$. Статистичні характеристики температури зовнішнього повітря для обраного регіону прийняті за даними [5].

Результати визначення тривалості теплових відмов суміщених покриттів Q у кожному з 26 регіонів України наведені в таблиці 2.

Наведені в таблиці 2 відносні тривалості теплових відмов Q_{rel} можна наближено вважати імовірностями відмови протягом одного року. Вони пропорційні значенням Q , тому в подальшому аналізуються річні тривалості теплових відмов Q .

Територіальна мінливість тривалості теплової відмови. Візуалізація даних таблиці 2 здійснена на схематичній карті з рисунка 1, де для кожної області вказані імовірні тривалості стану теплової відмови покриттів (у хвилини на рік). На рисунку прослідковується досить систематичне зростання тривалості теплової відмови у напрямку з південного заходу на північний схід. Найменші тривалості теплової відмови реалізуються в Криму та особливо – на Південному березі Криму.

У таблиці 2 регіони України розділені на дві групи відповідно до температурних зон норм [4]. Для обох груп у таблиці наведені узагальнюючі дані у вигляді мінімальних, максимальних і середніх по температурній зоні значень імовірної тривалості стану теплової відмови. Середні та максимальні значення тривалості дії теплових відмов у другій температурній зоні отримані на 16% меншими, ніж у першій. Це вказує на доцільність певного коригування мінімально необхідного опору теплопередачі суміщених покриттів з метою вирівнювання показників теплової надійності по території України. Набагато меншою тривалістю теплової відмови виділяється Південний берег Криму з теплішим субтропічним кліматом, ніж в інших регіонах України.

Таблиця 2 – Імовірні тривалості теплових відмов покриттів

Регіони України	Річна тривалість відмови Q, хв/рік	Відносна тривалість відмови Q _{rel}
Перша температурна зона R ₀ = 7,0 м ² ×К/Вт		
Вінницька	199	3,79E-04
Волинська	189	3,60E-04
Дніпропетровська	163	3,10E-04
Донецька	169	3,22E-04
Житомирська	203	3,86E-04
Івано-Франківська	193	3,67E-04
Київська	205	3,90E-04
Кіровоградська	163	3,10E-04
Луганська	195	3,71E-04
Львівська	169	3,22E-04
Полтавська	209	3,98E-04
Рівненська	193	3,67E-04
Сумська	221	4,20E-04
Тернопільська	194	3,69E-04
Харківська	216	4,11E-04
Хмельницька	197	3,75E-04
Черкаська	202	3,84E-04
Чернівецька	153	2,92E-04
Чернігівська	216	4,11E-04
Мінімум	153	2,92E-04
Максимум	221	4,20E-04
Середнє	192	3,66E-04
Друга температурна зона R ₀ = 6,0 м ² ×К/Вт		
Крим ПБ	106	2,01E-04
Закарпатська	175	3,33E-04
Запорізька	186	3,53E-04
Крим	152	2,89E-04
Миколаївська	178	3,38E-04
Одеська	170	3,23E-04
Херсонська	171	3,25E-04
Мінімум	106	2,01E-04
Максимум	186	3,53E-04
Середнє	162	3,09E-04

На рисунку 2 наведені гістограми розподілу тривалості теплових відмов покриттів на території регіонів, які відносяться до першої та другої температурних зон України згідно з нормами [4].



Рисунок 1 – Річні тривалості теплових відмов покриттів на території України

У першій температурній зоні спостерігається поділ областей на дві групи: тривалість дії теплових відмов у Дніпропетровській, Донецькій, Кіровоградській, Львівській та Чернівецькій областях не перевищує 169 хв/рік, а в усіх інших областях вона є не меншою за 189 хв/рік. Гістограма з рисунка 2 показує, що із загального розподілу тривалості теплових відмов у другій температурній зоні різко виділяється у бік пониження Південний берег Криму, для якого характерний тепліший субтропічний клімат.

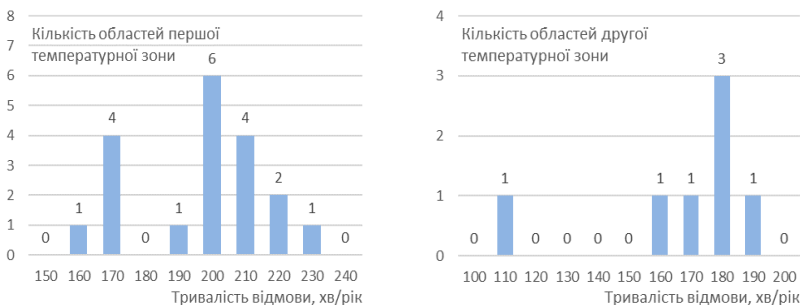


Рисунок 2 – Гістограми розподілу тривалості теплових відмов покриттів

Виявлені істотні відмінності в тривалості теплових відмов покриттів на території різних областей України спонукають до більш точного нормування мінімально необхідного опору теплопередачі покриттів. Доцільність такого кроку підтверджується тим, що Дніпропетровська, Донецька, Кіровоградська та Чернівецька області з меншими тривалостями теплових відмов географічно розміщені у південній частині першої температурної зони, а субтропічний клімат Південного берега Криму принципово відрізняється від клімату інших регіонів України.

Висновки

1. У якості показника теплової надійності суміщених покриттів використано імовірну тривалість теплової відмови за критерієм перевищення допустимого температурного перепаду між внутрішнім повітрям і внутрішньою поверхнею огороження. Цей показник визначений для 26 регіонів України за авторською методикою з використанням отриманих у попередніх дослідженнях узагальнених статистичних характеристик температури атмосферного повітря.

2. Імовірні тривалості теплових відмов суміщених покриттів, опір теплопередачі яких відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021, досить систематично зростають з південного заходу на північний схід України, змінюючись у межах 153...221 хвилин/рік. Значно меншою є тривалість теплової відмови покриттів на території Південного берега Криму.

3. Виявлені відмінності в тривалості теплових відмов покриттів на території різних областей України вказують на доцільність коригування норм теплового захисту будівель з метою більш точного нормування мінімально необхідного опору теплопередачі.

References

- 1.Kariuk A., Pashynskiy V., Pashynskiy M., Mammadova F. (2022) Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability // Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, 181, pp. 179-189. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_18
- 2.Kariuk A.M. (2023). Teplova nadiinist stin zhytlovykh budivel u rehionakh Ukrainy. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi: zbirnyk naukovykh prats, 19, 84-91
- 3.Temperaturni vplyvy na ohorodzhvalni konstruktssii budivel (monohrafiia) / V.A. Pashynskiy, N.V. Pushkar, A.M. Kariuk / Odeska derzhavna akademiia budivnytstva ta arkhitektury. – Odesa, 2012. – 180 s.
- 4.DBN V.2.6-31:2021. Teplova izoliatsiia ta enerhoeffektyvnist budivel. – К.: Minrehion Ukrainy, 2022. – 23 s.ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – К.: Мінрегіон України, 2022. – 23 с.
- 5.Kariuk A.M. (2022). Raionuvannia kharakterystyk temperatury povitria dlia otsiniuvannia teplovoi nadiinosti ohorodzhvalnykh konstruktssii. Suchasni

- tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi: zbirnyk naukovykh prats, 17, 53-60.
6. Pashynskiy V.A., Pashynskiy M.V., Nastoyashchiy V.A., Skrynnyk I.O. Statistical characteristics of wall temperature for assessing thermal reliability and energy efficiency of residential buildings. *Modern engineering and innovative technologies issue 26 part 2. April 2023. Pp. 19-25. URL: <https://doi.org/10.30890/2567-5273> (date of access: 26.01.2024).*
 7. DSTU 9191:2022. *Teploizoliatsiia budivel. Metod vyboru teploizoliatsiinoho materialu dlia utepлення budivel. - K., 2022. – 60 s.*
 8. Shulhin V. V., Kariuk A. M. *Imovirnisne podannia tekhnichnykh kharakterystyk teploizoliatsiinykh materialiv. Zbirnyk naukovykh prats (haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo). Poltava: PolNTU, Vyp. 4(39). 2013. S. 257-262.*

Література

1. Kariuk A., Pashynskiy V., Pashynskiy M., Mammadova F. (2022) *Methods of Probabilistic Assessment of Building Enclosing Structures Thermal Reliability // Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, 181, pp. 179-189. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_18*
2. Карюк А.М. (2023). *Теплова надійність стін житлових будівель у регіонах України. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: збірник наукових праць, 19, 84-91*
3. *Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель (монографія) / В.А. Пашинський, Н.В. Пушкар, А.М. Карюк / Одеська державна академія будівництва та архітектури. – Одеса, 2012. – 180 с.*
4. ДБН В.2.6-31:2021. *Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – К.: Мінрегіон України, 2022. – 23 с.*
5. Карюк А.М. (2022). *Районування характеристик температури повітря для оцінювання теплової надійності огорожувальних конструкцій. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: збірник наукових праць, 17, 53-60.*
6. Pashynskiy V.A., Pashynskiy M.V., Nastoyashchiy V.A., Skrynnyk I.O. Statistical characteristics of wall temperature for assessing thermal reliability and energy efficiency of residential buildings. *Modern engineering and innovative technologies issue 26 part 2. April 2023. Pp. 19-25. URL: <https://doi.org/10.30890/2567-5273> (date of access: 26.01.2024).*
7. DSTU 9191:2022. *Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. - K., 2022. – 60 с.*
8. Шульгін В. В., Карюк А. М. *Імовірнісне подання технічних характеристик теплоізоляційних матеріалів. Збірник наукових праць (галузеve машинобудування, будівництво). Полтава: ПолНТУ, Вип. 4(39). 2013. С. 257-262.*

УДК 691.3

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10\(20\)-10](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10(20)-10)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО - МЕХАНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ МОДИФІКУЮЧОЇ ДОБАВКИ
КМД «НАВІКОН» У БЕТОННИХ СУМІШАХ**

**STUDY OF PHYSICAL - MECHANICAL INDICATORS OF THE
APPLICATION OF COMPLEX MODIFYING ADDITIVE KMD
"NAVIKON" IN CONCRETE MIXTURES**

Кислюк Д.Я. к.т.н., доц., Нінічук М.В., к.т.н., ст.викл. (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк), Костюк Т.О., д.т.н. професор (Харківській національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова), Савенко В.І. к.т.н., професор (Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ)

Kyslyuk D.Y., Ph.D., Associate Professor, Ninichuk M.V., Ph.D., senior lecturer (Lutsk National Technical University), Kostyuk T.O., Dr. Tech. Sc., Professor (Kharkiv National University of Urban Economy named after O.M. Beketov), Savenko V.I., Ph.D., professor (Kyiv National University of Construction and Architecture)

Комплексна модифікуюча добавка КМД «Навікон» збільшує гідротехнічні та фізико-механічні властивості бетонів. Досліджено пластифікуючий та водоредукуючий ефект комплексної модифікованої добавки КМД «Навікон» (Navikon KMD). Встановлено, що добавка відповідає критеріям сильнопластифікуючих та суперводоредукуючих добавок. Добавка КМД «Навікон» дає можливість істотно підвищити його міцність – від 30 до 50% і водонепроникність та перевести звичайний важкий бетон у розряд гідротехнічного.

Monolithic construction is developing, and every day concrete acquires more and more specific characteristics: faster or slower, depending on the need, they gain strength; become resistant to low temperatures; become waterproof; different colors and shades; protect steel structure elements from corrosion; gain resistance to aggressive environments and durability, without losing their physical properties. The key to everything is a complex chemical additive, which is added to concrete during its production or to the finished concrete mixture. The use of the additive will significantly increase the profitability of concrete mixtures, because the introduction of a complex chemical additive developed jointly with the Navikon-Ukraine company will improve the

physical characteristics of concrete, significantly reduce the cost, and increase the quality by an order of magnitude.

NavyCon KMD is a complex of mineral chemical modifiers for improving the hydro-technical and physicomachanical properties of concrete and construction solutions used in civil and industrial construction, tunnel construction, the repair and restoration of bridges and overpasses, road construction, particularly in the manufacture of paving slabs with increased strength, waterproofing and frost resistance, to obtain a concrete mixture of high plasticity and homogeneity; increased strength of concrete and concrete products; increases their waterproofness, frost resistance, gas permeability, and resistance to abrasion and sulfate corrosion in conditions of high humidity and significant temperature changes. It can be used for the production of dense artificial products in the form of pipes, segments, blocks, tiles, and other products used in conditions where increased waterproofness and frost resistance are required. The use of Navikon KMD in the composition of concrete, and cement-sand mixtures increases their waterproofing capacity by three to four degrees, allows to exclude additional waterproofing of structures, and gives them increased strength, frost resistance, and resistance to the influence of aggressive environments.

The effect of the complex modified additive Navikon KMD on the mobility of the concrete mixture and the strength of concretes, which are widely used for the production of precast reinforced concrete structures, is investigated in the work. It was established that the use of the additive leads to an increase in the grade of ease of placement of the concrete mixture by three degrees, from P1 to P4 (OK from 1-4 cm to 16-20 cm) relative to the control mixture. It was established that the additive meets the criteria of highly plasticizing and super water-reducing additives. The additive of KMD "Navikon" makes it possible to significantly increase its strength from 30 to 50% and water resistance and transfer ordinary heavy concrete to the category of hydraulic concrete.

Ключові слова: пластифікатор, комплексна модифікована добавка, рухливість бетонної суміші, міцність на стиск.

Keywords: Plasticizer, complex modified additive, mobility of concrete mixture, compressive strength.

NavyCon KMD (КМД «Навікон») являє собою комплекс мінеральних хімічних модифікаторів для підвищення гідротехнічних та фізико-механічних властивостей бетонів та будівельних розчинів, що застосовуються у цивільному та промисловому будівництві, тунелебудуванні, для ремонту та відновлення мостів та шляхопроводів, дорожньому будівництві, зокрема, при виготовленні тротуарної плитки з підвищеною міцністю, водонепроникністю та морозостійкістю, для отримання бетонної суміші високої пластичності та однорідності; підвищеної міцності бетонів та бетонних виробів; збільшує їх водонепроникність, морозостійкість, газопроникність і стійкість до

стирання та сульфатної корозії в умовах підвищеної вологості та значних перепадах температур. Може бути використана для виготовлення щільних штучних виробів у вигляді труб, сегментів, блоків, плиток та інших виробів, що використовуються в умовах, де потрібна підвищена водонепроникність і морозостійкість. Добавка КМД «Навікон» принципово відрізняється від інших добавок тим, що її збалансований склад на іонно-молекулярному рівні дозволяє створювати кристалічний бар'єр і формувати структуру бетону на мікро- та макрорівнях шляхом зарощування пор та капілярів кристалічними новоутвореннями, аналогічними за складом кристалогідратних сполук цементного каменю. Застосування КМД «Навікон» у складі бетону, цементно-піщаних сумішей підвищує їхню гідроізолюючу здатність на три-чотири ступені, дозволяє виключити додаткову гідроізоляцію конструкцій, надає їм підвищеної міцності, морозостійкості та стійкості до впливу агресивних середовищ.[1,2]



Рисунок 1 – Комплексна модифікуюча добавка КМД «Навікон»

Для дослідження фізико-механічних показників комплексної модифікуючої добавки КМД «Навікон» була складена програма випробувань. На базі будівельної лабораторії ЛНТУ було передбачено дослідити пластифікуючий і водоредукуючий ефект при застосуванні добавки:

- 4% від маси цементу, для проведення порівнянь дослідження класу бетону C8/10 (M150);
- 3% від маси цементу, для проведення порівнянь дослідження класу бетону C12/15 (M200).

Було передбачено виготовити та випробувати 8 серій бетонних зразків для дослідження рухливості бетонної суміші та кубикової міцності бетону у віці 7, 14 та 28 діб.

Для виготовлення зразків серій використовується важкий бетон С12/15 (М200), склад бетонної суміші приймається за вагою 1:2,74:4,74 при В/Ц=0,8, та бетон С8/10 (М150), склад бетонної суміші приймається за вагою 1:3,75:5,95 при В/Ц=0,8 для контрольних зразків. Водоцементне відношення у бетонах з добавкою зменшувалося до В/Ц=0,7. Для всіх зразків використовується портландцемент ПЦ І 500 вітчизняного виробництва Дікергофф, Волиньцемент. В якості крупного заповнювача використовували гранітний щебінь фракції 5-20 мм, а дрібного – кварцовий пісок митий із модулем крупності 1,2 ...1,8

Всі зразки кожної серії виготовляються з одного замісу бетонної суміші, згідно з ДСТУ Б В.2.7-171:2008.

Згідно з програмою, передбачено:

- куби контрольні класу бетону С8/10 (М150) В/Ц 0,8 (КК 150);
- куби контрольні класу бетону С12/15 (М200) В/Ц 0,8 (КК 200);
- куби С8/10 (М150) з добавкою 4% пластифікатора «МД» В/Ц 0,7; 0,75; 0,8 (КМД 150 - 0,7; 0,75; 0,8);
- куби С12/15 (М200) з добавкою 3% пластифікатора «МД» В/Ц 0,7; 0,75; 0,8 (КМД 200 - 0,7; 0,75; 0,8).

Ефективність добавки визначають за збільшенням рухливості бетонної суміші від Р1 (ОК = 1-4 см) до Р5 (ОК = 21 см), при цьому міцність бетону на стиск у порівнянні з бетоном контрольного зразка не має знижуватись. Водоредукуючий ефект визначають за збільшенням міцності на стиск бетону у порівнянні з бетоном контрольного зразка.

Робота виконувалася у два етапи: перший етап полягав у дослідженні пластифікуючого ефекту комплексної модифікуючої добавки КМД «Навікон» на бетонну суміш; другий етап включав в себе визначення впливу добавки на міцність бетонних кубів, тобто її застосування для підвищення міцнісних характеристик бетону.

Дослідження рухливості бетонної суміші відбувалося згідно з ДСТУ Б В.2.7-114 за допомогою еталонного конуса з діаметром основи 200 мм. Пластифікуючий ефект комплексної модифікуючої добавки КМД «Навікон» оцінювали за однакового водоцементного відношення В/Ц = 0,8.

Рухливість контрольної бетонної суміші класу бетону С8/10 (М150) без пластифікатора складала $OK = 0,8$ см, для класу бетону С12/15 (М200) – $OK = 2,2$ см.

Введення модифікуючої добавки КМД «Навікон» у кількості 4% призводить до збільшення осідання конуса з 0,8 см до 2,0 см, а в бетоні С12/15 (М200) ефект був більш виражений, вміст добавки 3% призвів до збільшення осідання конуса з 2,2 см до 16 см. Отже, застосування модифікуючої добавки КМД «Навікон» призводить до збільшення марки за легкоукладальністю бетонної суміші на два ступені – від Р1 до Р4 (OK від 1-4 см до 16-20 см) відносно контрольної суміші, що відповідає критеріям сильнопластифікуючих добавок за ДСТУ Б В.2.7-171. У бетоні С8/10 (М150) за більшої концентрації пластифікатора (4%) рухливість суміші істотно не збільшилась, оскільки контрольна суміш була жорсткою $OK < 1$ см.

Випробування бетонних сумішей з комплексною модифікуючою добавкою КМД «Навікон» за однакової консистенції відбувалось при зменшенні водоцементного відношення в бетоні з $V/C=0,8$ до $V/C=0,7$. Додатково досліджували бетонні суміші з проміжним водоцементним відношенням $V/C=0,75$.

Зниження витрати води в основній бетонній суміші у порівнянні з контрольною склала $WPE = 12,5\%$, що за критерієм ефективності відповідає супер водоредукуючим добавкам.

Випробування бетонної суміші С12/15 (М200) за концентрації модифікуючої добавки КМД «Навікон» 3% показало осідання конуса 1,8 см. В бетонній суміші С8/10 (М150) з добавкою КМД «Навікон» рухливість склала $OK=0,5$ см. Осідання конуса контрольної суміші становило 1,5 см та 2,2 см, відповідно. При проміжному значенні збільшення водоцементного відношення спостерігалось збільшення рухливості бетонної суміші – 1,0 см та 8,5 см. Отже, в бетонах С12/15 (М200) використання добавки КМД «Навікон» дозволяє знизити витрати води на 12,5% та забезпечити рухливість бетонної суміші на рівні контрольних зразків (марка за легкоукладальністю Р1).

Фізико-механічні характеристики бетону (кубова міцність) при одноразовому навантаженні визначались за стандартними методиками згідно з програмою випробувань. Випробовування кубів на стиск

виконували на гідравлічному пресі ИП-1000 (з ціною поділки 1,0 кН). Кубикову міцність бетону визначали у віці 7, 14 і 28 діб. Результати випробувань наведені в таблицях.

При випробуванні контрольних кубиків КК150 на стиск у віці 28 діб міцність становила $f_{cm,cube} = 26,4$ МПа, контрольних кубиків КК200 – $f_{cm,cube} = 26,61$ МПа .

Міцність бетонних кубів із використанням добавки КМД «Навікон» за однакового водоцементного відношення збільшується на 11,7%. Міцність бетонних кубів КМД150-0,8 у віці 28 діб рівна $f_{cm,cube} = 29,5$ МПа. Міцність бетонних кубів КМД200-0,8 у віці 28 діб рівна $f_{cm,cube} = 26,92$ МПа. Результати досліджень бетонних кубів у віці 7 та 14 діб показали аналогічний ефект.

Таблиця 1 – Результати випробувань з дослідження впливу модифікуючої добавки КМД «Навікон», клас бетону С8/10

№	Вид бетонних зразків	Осідання конуса	Рухливість	Міцність бетону $f_{cm,cube}$ МПа		
				7 днів	14 днів	28 днів
1	Куби контрольні класу бетону С8/10 В/Ц 0,8 (КК 150)	0,8	P1	19,92	26,31	26,4
2	Куби С8/10 з добавкою 4% пластифікатора «МД» В/Ц 0,8 (КМД 150 - 0,8)	2,0	P1	22,78	24,43	29,5
3	Куби С8/10 з добавкою 4% «МД» В/Ц 0,75 (КМД 150 - 0,75)	1,0	P1	26,014	30,89	34,7
4	Куби С8/10 з добавкою 4% «МД» В/Ц 0,7 (КМД150-0,7)	0,5	P1	27,14	32,66	38,0

Міцність бетонних кубів із використанням добавки КМД «Навікон» за однакового водоцементного відношення не зменшується, що характерно для пласифікуючих добавок при великому збільшенні рухливості бетонної суміші.

Таблиця 2 – Результати випробувань з дослідження впливу модифікуючої добавки КМД «Навікон», клас бетону С12/15

№	Вид бетонних зразків	Осідання конуса	Рухливість	Міцність бетону $f_{cm,cube}$ МПа		
				7 днів	14 днів	28 днів
1	Куби контрольні класу бетону С12/15 В/Ц 0,8 (КК 200)	2,2	P1	20,11	22,8	26,6
2	Куби С12/15 з добавкою 3% пластифікатора «МД» В/Ц 0,8 (КМД 200 - 0,8)	16,0	P4	21,39	23,5	26,9
3	Куби С12/15 з добавкою 3% «МД» В/Ц 0,75 (КМД 200 - 0,75)	8,5	P2	21,63	26,6	29,9
4	Куби С12/15 з добавкою 3% «МД» В/Ц 0,7 (КМД 200 - 0,7)	1,8	P1	29,15	32,16	36,3

Випробовування кубів КМД150-0,75 і КМД150-0,7 дозволяють оцінити водоредукуючий ефект добавки КМД «Навікон». Міцність бетонних зразків КМД150-0,75 збільшується на 31,3% від міцності контрольних кубів до $f_{cm,cube} = 34,67$ МПа, в кубах КМД150-0,7 – на 44,04% до $f_{cm,cube} = 38,03$ МПа у віці 28 днів. Порівняння результатів випробувань на 7 день показав приріст міцності 30,6% для КМД150-0,75 та 36,3% - для КМД150-0,7.

Результати випробувань кубів КМД200-0,7 показали схожі результати з бетоном класу С8/10, міцність на 28 день збільшується на 36,3% від міцності контрольних кубів до $f_{cm,cube} = 36,27$ МПа. На 7, 14 день показав приріст міцності 45% та 41% відповідно. Для кубів КМД200-0,75 водоредукуючий ефект менший, що зв'язано з збільшенням рухливості бетонної суміші. Міцність бетонних зразків збільшується менше до $f_{cm,cube} = 29,98$ МПа на 31,3% від міцності контрольних кубів.

Отже, використання модифікованої добавки КМД «Навікон» може збільшити міцність бетону від 30 до 45% при випробуванні бетонних

сумішей за однакової консистенції. Дані властивості добавки КМД «Навікон» відносяться до критеріїв ефективності суперводоредуруючої добавки за ДСТУ Б В.2.7-171.

Якщо брати до уваги економічну доцільність застосування добавки КМД «Навікон», то з розрахунку 3-7% на 1 одиницю обсягу або, наприклад, 15-25 кг КМД «Навікон» на 1м куб. бетону, ціна одиниці обсягу зростає на 55–65%. У разі застосування діючих гідротехнічних складів ціна за одиницю об'єму збільшується на 110 - 200%, при цьому підвищується водонепроникність бетону. У разі застосування КМД «Навікон» збільшуються значення відразу кількох показників: водонепроникність, міцність, морозостійкість, значно сповільнюється або повністю припиняється процес корозії арматури, тому що у складі КМД «Навікон» містяться інгібітори корозії та перетворювачі іржі.

При застосуванні КМД «Навікон» як добавки, необхідно в'яжучим в бетоні використовувати тип портландцементу ПЦ I (ДСТУ Б В.-2.7-46). Використання портландцементу з добавками шлаку ПЦ II/Ш, ПЦ II/Б-Ш, золи-винесення ПЦ II-З, вапняку ПЦ II-В, а також композиційних цементів ПЦ II/А-К та ПЦ II/ Б-К, пуцоланових, шлакопортландцементів – НЕДОПУСТИМО

Висновки. Комплексна модифікуюча добавка КМД «Навікон» підвищує гідротехнічні та фізико-механічні властивості бетонів, збільшує їх водонепроникність, морозостійкість, газопроникність, захищає елементи сталевих конструкцій від корозії та стійкості до агресивних середовищ.

Застосування модифікуючої добавки КМД «Навікон» призводить до збільшення марки за легкоукладальністю бетонної суміші на три ступені – від Р1 до Р4 (ОК від 1-4 см до 16-20 см) відносно контрольної суміші, що відповідає критеріям сильнопластифікуючих добавок за ДСТУ Б В.2.7-171.

У жорстких бетонах, при однаковому водоцементному відношенні, застосування модифікуючої добавки КМД «Навікон» дозволяє збільшити міцність бетону на 11,7%.

Добавка КМД «Навікон» відноситься до критеріїв ефективності суперводоредуруючої добавки за ДСТУ Б В.2.7-171.

Добавка КМД «Навікон» дає можливість істотно підвищити міцність бетону – від 30 до 50% і водонепроникність та перевести звичайний важкий бетон у розряд гідротехнічного.

References

1. Kostiuk T.A., Kasianenko K.V., Kysliuk Ya.D. Doslidzhennia vplyvu materialiv pronyknoi dii dlia vidnovlennia i remontu budivel i sporud TM NAVYCON // Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi: zb. nauk. prats - Lutsk: Lutskiy NTU, 2023. - Vyp. 19. - S. 92-100.
2. Tekhnichniy rehlament na proektuvannia ta vykorystanniaia hidroizolatsiinykh, remontno-vidnoliuvalnykh robot i antykorozshnoho zakhystu budivelnykh konstruksii z porystykh mineralnykh materialiv. Kyiv: NDIBP Minbudu Ukrainy, 2020.
3. DSTU B V.2.7-171:2008 Budivelni materialy. Dobavky dlia betoniv i budivelnykh rozchyniv. Zahalni tekhnichni umovy (EN 934-2:2008, NEQ) - Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2010.
4. DSTU-N B V.2.7-175:2008 Budivelni materialy. Nastanova shchodo zastosuvannia khimichnykh dobavok u betonakh i budivelnykh rozchynakh – Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2010
5. DSTU B V.2.7-114-2002 Sumishi betonni. Metody vuprobuvan Kyiv:, 2002.

Література

1. Костюк Т.А., Кас'яненко К.В., Кислюк Я.Д. Дослідження впливу матеріалів проникної дії для відновлення і ремонту будівель і споруд ТМ NAVYCON // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. праць - Луцьк: Луцький НТУ, 2023. - Вип. 19. - С. 92-100.
2. Технічний регламент на проектування та використання гідроізоляційних, ремонтно-відновлювальних робіт і антикорозійного захисту будівельних конструкцій з пористих мінеральних матеріалів. Київ: НДІБП Мінбуду України, 2020.
3. ДСТУ Б В.2.7-171:2008 Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2:2008, NEQ) - Київ: Мінрегіонбуд України, 2010.
4. ДСТУ-Н Б В.2.7-175:2008 Будівельні матеріали. Настамова щодо застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010
5. ДСТУ Б В.2.7-114-2002 Суміші бетонні. Методи випробувань Київ:, 2002

УДК 624.012.26 [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-11](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-11)

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ
ВУЗЛІВ МОНОЛІТНИХ РАМ І НЕРОЗРІЗНИХ БАЛОК ІЗ
КРИВОЛІНІЙНОЮ АРМАТУРОЮ, НАПРУЖЕНОЮ НА БЕТОН**

**EXPERIMENTAL STUDIES OF CRACK RESISTANCE OF UNIT SOF
MONOLITHIC FRAMES AND CONTINUOUS BEAMS WITH CURVED
REINFORCEMENT STRESSED ON CONCRETE**

**Козак О.В., к.т.н., доц., Андрусyak А.В., к.т.н., доц., Артим В.І.,
д.т.н., проф., Палійчук І.І., к.т.н., доц. (Івано-Франківський
національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ)**

**Kozak O.V., Ph.D., Associate Professor, Andrusyak A.V., Ph.D.,
Associate Professor, Artym V.I., Doctor of Engineering, Professor, Paliichuk
I.I., Ph.D., Associate Professor (Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk)**

Розрахунок міцності залізобетонних елементів за дії поперечних сил є важливою задачею, так як руйнування конструкції від цих сил може бути крихким, що є дуже небезпечно. Окрім міцності, важливими вимогами для залізобетонних конструкцій є забезпечення довговічності (корозійної стійкості), виконання функціонального призначення (недопущення надмірного розкриття тріщин) та дотримання естетичних вимог. Вплив попередньо напруженої криволінійної арматури (з натягом на бетон) на тріщиностійкість вузлів монолітних рам та нерозрізних балок є мало дослідженим і потребує додаткового вивчення із проведенням експериментальних досліджень.

The purpose of the experiment is to study and compare the stress-deformation state of the nodes of monolithic continuous beams without prestressing reinforcement and with curvilinear tension reinforcement (with different angles of inclination) under short-term loading, loaded by two concentrated forces equidistant from the support.

The design of the samples allows for analyzing the stress-strain state, the process of crack formation, and the load-bearing capacity depending on the different angles of inclination of the prestressed reinforcement with tension on the concrete (without adhesion to the concrete).

In the course of the experiments, the nature of cracking and destruction of the samples was investigated in detail. At each stage of loading the samples, the appearance of the first cracks was recorded visually, as well as with the help of strain gauges (and indicators).

During the study of the crack resistance of the experimental samples, it was established that the force of crack formation, as well as the nature of the development of cracks in all series of samples, is different.

Thus, in samples without prestressed reinforcement, a rather rapid appearance of a critical crack was observed, which subsequently developed and led to the destruction of the samples.

In the samples with curved tension reinforcement, with the angle of inclination of the reinforcement $\alpha=6^\circ$, the appearance of the slope of the crack was recorded at fairly late stages of loading and subsequently led to the sudden destruction of the samples.

In the samples with curved tension reinforcement, with the angle of inclination of the reinforcement $\alpha=13^\circ$, a whole system of inclined cracks was recorded, which also appeared at the late stages of loading, but critical cracks appeared suddenly and led to destruction.

According to the results of experimental studies, a comparative analysis of the average values of crack opening widths for samples without prestressed reinforcement and samples with curvilinear stressed reinforcement (with different angles of inclination) was obtained

Ключові слова: похилі перерізи, тріщиностійкість, ширина розкриття тріщин, попередньо-напружена арматура, криволінійна попередньо-напружена арматура, натяг на бетон.

Keywords: inclined sections, crack resistance, crack opening width, pre-stressed reinforcement, curved-stressed reinforcement, tension on concrete.

Напружено-деформований стан похилих перерізів з напруженням на бетон залишається мало вивченим. Підтвердженням цього є відсутність єдиної методики розрахунку, яка б урахувала всі фактори, що впливають на роботу перерізів залізобетонних елементів при одночасній дії згинального моменту, поперечної та поздовжньої сил. Найбільш невивченим фактором є напружена арматура (як з, так і без зчеплення з бетоном), вплив якої на міцність похилих перерізів у різних нормативних документах трактується по-різному [1,2].

Для дослідження тріщиностійкості (характеру руйнування) із подальшим удосконаленням методики розрахунку тріщиностійкості похилих перерізів проведені випробування проміжних вузлів монолітних залізобетонних нерозрізних балок. Основна мета експериментальних досліджень – визначення впливу попередньо напруженої криволінійної арматури (з натягом на бетон та без зчеплення з бетоном) на тріщиностійкість та характер руйнування похилих перерізів монолітних вузлів нерозрізних балок (рам) при короткочасному поперечному навантаженні.

Для проведення експерименту та визначення основних показників були запроєктовані та виготовлені монолітні проміжні вузли нерозрізної балки, що відповідає типовим проектним рішенням монолітної каркасної будівлі. Виготовлені три серії зразків із різним розміщенням попередньо напруженої арматури[3,4]:

- серія КБ-1 – без попередньо напруженої арматури;
- серія КБ-2 – із криволінійною напруженою арматурою (кут нахилу арматури $\alpha=6^\circ$);
- серія КБ-3 – із криволінійною напруженою арматурою (кут нахилу арматури $\alpha=13^\circ$).

Геометричні параметри зразків із розміщенням напруженої арматури зображені на рис. 1.

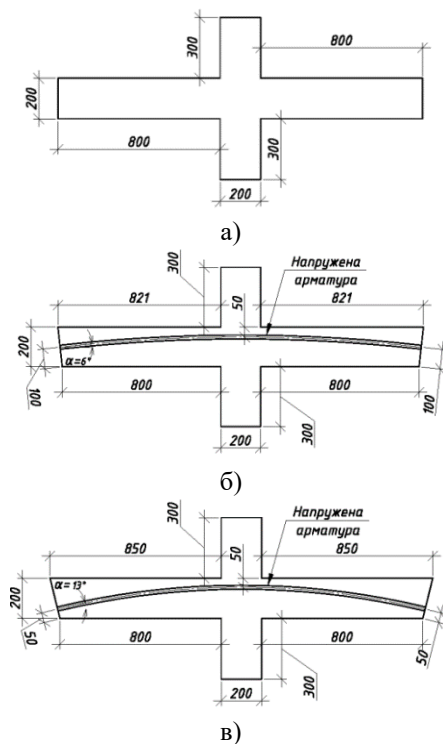


Рисунок 1 – Геометричні характеристики дослідних зразків:
а) серія КБ-1; б) серія КБ-2; в) серія КБ-3

У процесі експериментальних досліджень вимірювали та фіксували такі значення:

- деформації бетону нижньої та верхньої грані бетону (в розтягнутій і стисненій зонах);
- зусилля у напружуваній арматурі;
- прогини на краях зразків;
- рівень навантаження за появи нормальних і похилих тріщин, ширина їх розкриття;
- руйнування зразків.

Для визначення вищезазначених параметрів на зразки встановлювалося вимірювальне обладнання у необхідних зонах (рис. 2).

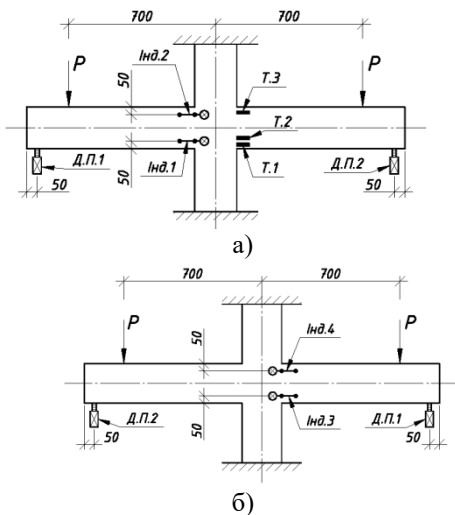


Рисунок 2 – Схема розміщення вимірюваного обладнання із переднього (а) та заднього (б) боків:

Інд. 1...4 – індикатори годинникового типу зі шкалою поділки 0,001 мм та базою 50 мм; Т1...Т3 – тензорезистори (базою 50 мм); Д.П.1, 2 – датчики переміщень

Деформації бетону визначали за допомогою тензодатчиків з базою 50 мм та за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм.

Контроль значення навантаження на зразок та зусилля в напружуваній арматурі здійснювався за допомогою датчиків тиску рідини ADZ-SML 10.0.

Прогини по краях зразків визначалися потенціометричними датчиками переміщення CLP13-25.

Вимірювальне обладнання (окрім індикаторів та тензорезисторів) було підключено до автоматичної реєструючої апаратури із програмним забезпеченням. Загальний принцип реєструючої апаратури полягає в тому, що аналоговий сигнал від обладнання (датчиків тиску рідини та датчиків переміщення) через аналогово-цифровий передавач (АЦП) надходить до електронно-обчислювальної машини (ЕОМ), де за допомогою програмного забезпечення виводяться цифрові значення показників обладнання.

Дослідження напружено-деформованого стану бетону проводилося згідно тензометричного методу, що є найбільш розповсюдженим для вимірювання деформацій. Рівень сигналів тензорезисторів реєструвався за допомогою вимірювальної тензометричної системи типу СИИТ- 3.

В ході виконання експериментів детально досліджувався характер тріщиноутворення та руйнування зразків. На кожному етапі завантаження зразків візуально, а також за допомогою тензодатчиків (та індикаторів) фіксували появу перших тріщин.

Рівень навантаження, при якому фіксували перші тріщини, а також сам характер тріщиноутворення у кожній серії були різними. Загальні результати тріщиностійкості дослідних зразків наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Загальні результати випробувань зразків на тріщиностійкість

Серія	Зразок	Зусилля утв. тріщ. R_{sg} , кН		Рівень виникнення пох. тріщ., R_{sg}/R_u		Довжина проєкції пох. тріщ. l_k , см	
		зразка	сер-не	зразка	сер-не	зразка	сер-не
КБ-1	КБ-1.1	28,10	28,1	0,50	0,50	47,40	48,0
	КБ-1.2	28,40		0,50		48,00	
	КБ-1.3	27,90		0,51		48,60	
КБ-2	КБ-2.1	36,00	36,0	0,53	0,53	30,10	30,0
	КБ-2.2	36,40		0,53		29,50	
	КБ-2.3	35,70		0,53		30,40	
КБ-3	КБ-3.1	40,20	40,2	0,53	0,53	44,70	44,0
	КБ-3.2	40,40		0,53		44,00	
	КБ-3.3	40,00		0,53		43,40	

За результатами експериментальних випробувань, при ідентичних умовах навантажень, руйнування всіх серій зразків відбувалося по похилій тріщині. В результаті досліджень отримано класичну форму руйнування перерізів, похилих до поздовжньої осі (зеув).

Середнє значення несучої здатності зразків серії КБ-1 (без попередньо напруженої арматури) становить 56 кН. Середнє значення зусилля тріщиноутворення – 28,1 кН. Руйнування відбувалося по похилій тріщині із проекцією на горизонтальну вісь 480 мм. Загальний вигляд тріщиноутворення зразків серії КБ-1 (перед руйнуванням) наведений на рис. 3.

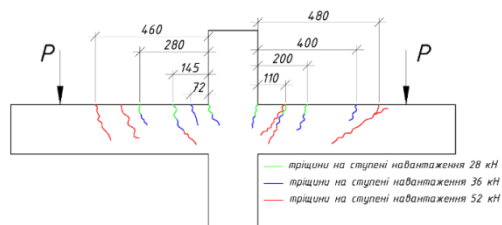


Рисунок 3 – Загальний вигляд тріщиноутворення зразків серії КБ-1

Середнє значення несучої здатності зразків серії КБ-2 (із попередньо напруженою криволінійною арматурою середнього кута нахилу) – 68,1 кН (у 1,22 рази більше, ніж зразків серії КБ-1). Середнє значення зусилля тріщиноутворення – 36,0 кН (у 1,28 рази більше, ніж КБ-1). Руйнування відбувалося по похилій тріщині із проекцією на горизонтальну вісь 300 мм. Загальний вигляд тріщиноутворення зразків серії КБ-2 (перед руйнуванням) наведений на рис. 4.

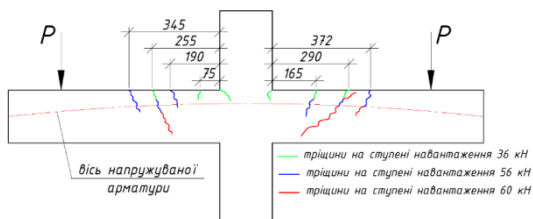


Рисунок 4 – Загальний вигляд тріщиноутворення зразків серії КБ-2

Середнє значення несучої здатності зразків серії КБ-3 (із попередньо напруженою криволінійною арматурою максимального кута нахилу) становить 76,0 кН (у 1,36 рази більше, ніж КБ-1 та в 1,12 рази більше, ніж КБ-2). Середнє значення зусилля тріщиноутворення – 40,2 кН (у 1,43 рази більше, ніж КБ-1 та в 1,12 рази більше, ніж КБ-2). Руйнування відбувалося по похилій тріщині із проекцію на горизонтальну вісь 440 мм. Загальний вигляд тріщиноутворення зразків серії КБ32 (перед руйнуванням) наведений на рис. 5.

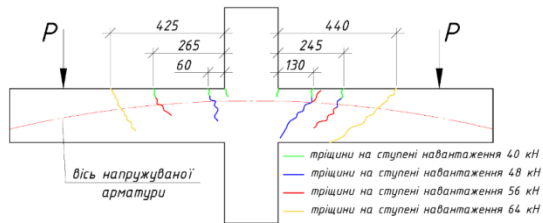


Рисунок 5 – Загальний вигляд тріщиноутворення зразків серії КБ-3

Таким чином, у ході дослідження тріщиностійкості експериментальних зразків встановлено, що зусилля тріщиноутворення, а також характер розвитку тріщин в усіх серіях зразків різний.

Так, у зразках серії КБ-1 спостерігалася досить швидка поява критичної тріщини, яка в подальшому розвивалася і призвела до руйнування зразків.

У зразках серії КБ-2 поява похилих тріщини фіксувалася на досить пізніх ступенях навантаження і в подальшому призводила до раптового руйнування зразків.

У зразках серії КБ-3 фіксувалася ціла систем похилих тріщин, що також появлялися на пізніх етапах навантажень, однак критичні тріщини з'являлися раптово та призводили до руйнування.

Графіки середніх значень ширини розкриття тріщин за зразками серії КБ1, КБ-2 та КБ-3 наведені на рис. 6.

Висновки

1. Отримані результати експериментальних досліджень дозволили встановити схеми руйнування опорних зон нерозрізних балок.

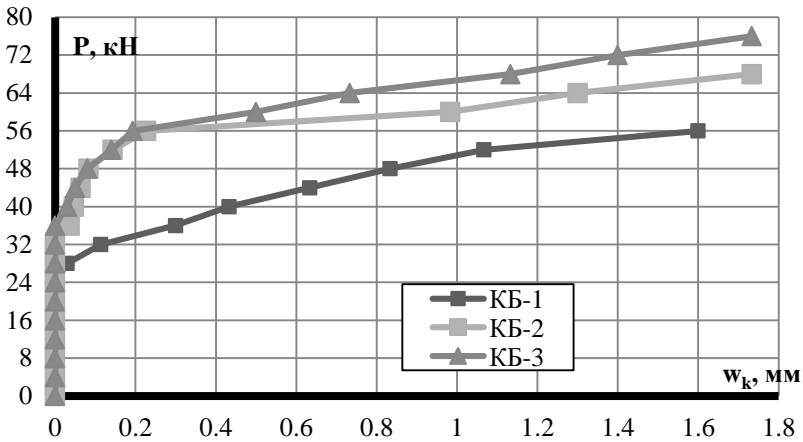


Рисунок 6 – Графік середніх значень ширини розкриття тріщин дослідних зразків серій КБ-1, КБ-2 та КБ-3

2. Наявність попередньо напруженої криволінійної арматури суттєво впливає на форму руйнування, характер тріщиноутворення та загальну несучу здатність дослідних зразків.
3. Руйнування зразків серії КБ-1 відбувалося по похилій тріщині, поява якої фіксувалася практично перед самим руйнуванням зразка, що розвивалася від опори до місця прикладення навантаження.
4. Руйнування зразків серії КБ-2, як і в зразках серії КБ-1, відбувалося по похилій тріщині, поява якої фіксувалася практично перед самим руйнуванням зразка, однак критична тріщина, в порівнянні із КБ-1, мала практично в 2 рази меншу проекцію на горизонтальну вісь (тріщина розвивалась на половину відстані між опорою та місцем прикладення навантаження).
5. У зразках серії КБ-3 спостерігалась зовсім інша картина. При випробовуванні дослідних зразків спостерігався розвиток декількох похилих тріщин: фіксувалася похила тріщина максимально близько до опори (на відстані 120..130 мм від грані колони), в подальшому фіксувалася похила тріщина ближче до місця прикладення навантаження (на відстані 240..250 мм від грані колони), а в результаті, як і в зразках серії КБ-1, відбувалося руйнування по похилій тріщині, поява якої фіксувалася практично перед самим руйнуванням зразка, що розвивалася від опори майже до місця прикладення навантаження (значення проекції на горизонтальну вісь фіксувалось дещо меншим, ніж у КБ-1).

6. Отримані залежності розкриття тріщин від значення поперечної сили (зрізу) дозволяють удосконалити методику розрахунку тріщиностійкості похилих перерізів, із врахування криволінійної попередньо напруженої арматури, залежно від її кута нахилу.

References

1. Kozak O., Zhuravskiy O., Delyavskyy M. Effect of the pre-stressed reinforcement curvature on the bearing capacity of inclined sections of monolithic beams. AIP Conference Proceedings 2077, 020027 (2019); Published Online: 21 February 2019 <https://doi.org/10.1063/1.5091888>
2. Kozak O., Zhuravskiy O. Experimental research of the influence of curved reinforcement steel without adhesion to the concrete on the bearing capacity of inclined sections at post-tensioning // USEFUL (SCIENTIFIC JOURNAL, 2018 - #2).
3. Kozak O.V. Calculation of units of monolithic frames with tension reinforcement on concrete in the calculation complex "LIRA-SAPR" //Building structures. Theory and practice: coll. of science pr. Kyiv, KNUBA, 2019. Issue 5. P. 32-38.
4. Smorkalov D.V. Monolithic reinforced concrete structures with pre-tensioned ropes // Building structures. Theory and practice. KNUBA. - issue 10, 2022. P. 136-142.

Література

1. Козак О., Журавський О., Делявський М. Вплив кривизни попередньо напруженої арматури на несучу здатність похилих перерізів монолітних балок. AIP Conference Proceedings 2077, 020027 (2019); Опубліковано онлайн: 21 лютого 2019 <https://doi.org/10.1063/1.5091888>
2. Козак О., Журавський О. Експериментальне дослідження впливу криволінійної арматури без адгезії до бетону на несучу здатність похилих перерізів при донапруженні. //USEFUL (SCIENTIFIC JOURNAL, 2018 - #2).
3. Козак О.В. Розрахунок вузлів монолітних рам з напружуваною арматурою на бетон в розрахунковому комплексі «ЛІРА-САПР» //Будівельні конструкції. Теорія і практика: зб. наук. пр. Київ, КНУБА, 2019. Вип. 5. С. 32-38.
4. Сморгалов Д.В. Монолітні залізобетонні конструкції з попередньо напруженими канатами // Будівельні конструкції. Теорія і практика. КНУБА.- вип.10,2022р. С. 136-142.

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-12](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-12)

УДК 532.5:631.62

**РОЗРАХУНОК ГОРИЗОНТАЛЬНИХ РОЗПОДІЛЬЧИХ
ДРЕНАЖНИХ ТРУБОПРОВОДІВ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ ЗА
НАЯВНОСТІ ПОХИЛУ РІВНЯ ҐРУНТОВИХ ВОД**

**CALCULATION OF HORIZONTAL DISTRIBUTION DRAINAGE
PIPELINES OPERATING IN THE PRESENCE OF GROUNDWATER
LEVEL SLOPE**

**Кравчук А.М., д.т.н., проф., Кочетов Г.М., д.т.н., проф.,
Кравчук О.А., к.т.н., доц., Самченко Д.М., к.т.н., ст. досл. (Київський
національний університет будівництва і архітектури)**

**Kravchuk A.M., Doctor of Engineering, Professor, Kochetov G.M.,
Doctor of Engineering, Professor, Kravchuk O.A., Ph.D. in Engineering,
Associate Professor, Samchenko D.M., Ph.D. in Engineering, Senior
Researcher (Kyiv National University of Construction and Architecture)**

На основі аналізу системи диференційних рівнянь, які описують рух рідини в горизонтальних розподільчих дренажних трубопроводах, що працюють при наявності похилу рівня ґрунтових вод, запропоновані досить прості та зручні для застосування аналітичні залежності для розрахунку основних гідравлічних і конструктивних характеристик таких труб. Досліджено, як похил рівня ґрунтових вод впливає на розрахункові характеристики розподільчих дренажних трубопроводів меліоративних систем.

The development of a reliable methodology for calculating drainage pipelines in reclamation systems is crucial for enhancing agricultural production efficiency and optimizing the use of water and land resources. The presented materials are based on the results of personal analytical studies of the fundamental mathematical dependencies describing the flow of pressurized fluid in horizontal distribution drainage pipelines operating in the presence of a slope in the groundwater level.

A system of two differential equations is considered, describing the fluid motion in a drainage pipeline with variable flow rate and the conditions of liquid entry from the surrounding soil through the walls of the pipe in filtration mode. The studied pipeline is laid in the presence of a slope in the groundwater level. By introducing new variables, the original system and its solution are presented in a dimensionless form. In this context, the solution of the system depends on three main factors: the resistance factor of the distribution drainage pipeline (ζ_1); the generalized parameter (A), which comprehensively incorporates the structural and filtering characteristics of the flow; and the slope of the

groundwater level (I). The analysis utilizes the concept of an infinitely long drainage pipeline operating in the presence of a slope in the groundwater level, or equivalently, an inclined pipeline with an infinitely permeable side surface. Relatively simple and user-friendly analytical dependencies were derived based on the conducted analysis, enabling the calculation of flow rate variations and pressure drop along the length.

Corresponding graphical dependencies were constructed to simplify the calculations, demonstrating that the geometric slope of the groundwater level, along with the resistance factor and the generalized parameter, significantly influence the calculated parameters of such pipelines.

Ключові слова: розподільчий дренажний трубопровід, гідравлічний коефіцієнт тертя, коефіцієнт фільтрації, фільтраційний опір, змінна витрата рідини.

Keywords: distribution perforated pipeline, hydraulic friction factor, hydraulic conductivity, filtration resistance, variable fluid flow.

Вступ. У сучасних умовах раціональне використання природних ресурсів та збереження екологічної рівноваги вимагає особливої уваги. Зокрема, для підвищення врожайності сільськогосподарських культур та підтримання стійкого вологісного режиму ґрунтів ключову роль відіграють меліоративні системи, головним елементом яких є дренажні трубопроводи [1-3]. При проектуванні даних трубопроводів постає проблема їх надійного розрахунку з урахуванням різноманітних факторів. Зокрема, при розрахунках слід враховувати похил рівня ґрунтових вод (РГВ), що часто має місце на практиці.

Аналіз останніх досліджень. Розробкою надійної методики інженерного розрахунку напірних розподільчих дренажних трубопроводів при різних умовах експлуатації займались досить багато вітчизняних та іноземних дослідників [4-8]. При аналізі роботи таких трубопроводів зазвичай використовувались рівняння руху рідини зі змінною витратою [9]. Отримані на їх основі розрахункові залежності з тим чи іншим ступенем точності описують розглядуваний процес. Однак більшість авторів розглядали варіант горизонтальної прокладки дренажних труб, а також нехтували впливом похилу рівня РГВ на параметри потоку в трубі, що не завжди відповідає реальним умовам.

Метою роботи є розробка методики інженерного розрахунку горизонтальних розподільчих напірних дренажних трубопроводів, які працюють за наявності похилу РГВ. Для досягнення поставленої мети застосовувались методи математичного аналізу приведених до безрозмірного вигляду вихідних диференціальних рівнянь, які описують рух рідини зі змінною витратою в даному випадку.

Результати досліджень. Особливістю потоку рідини в напірних розподільчих дренажних трубопроводах є те, що на параметри витікання впливає як конструкція самих дренажних труб, так і фільтраційні характеристики навколишнього ґрунту, рівень ґрунтових вод, відстань між дренами. Виділити окремо вплив кожного з названих параметрів на інтенсивність розподілу рідини за довжиною дрени складно. Тому, зазвичай, їх враховують комплексно введенням спеціального фільтраційного опору системи «дрена–ґрунт» $\overline{\Phi}$. В інженерних розрахунках цей опір приймається постійним і рівним його осередненому для даних умов значенню. Гідравлічний коефіцієнт тертя розподільчого дренажного трубопроводу λ_p також вважається постійним вздовж шляху, але не рівним його значенню для даного трубопроводу при рівномірному русі рідини λ_0 .

Залежно від рельєфу місцевості горизонтальні розподільчі дренажні трубопроводи можуть працювати як з прямим, так і зі зворотним похилом РГВ. Під прямим похилом РГВ ($I > 0$) будемо розуміти випадок, коли його рівень знижується за довжиною від початкового до кінцевого перерізу труби. Зворотним похилом ($I < 0$) вважається варіант, коли рівень РГВ підвищується уздовж труби.

У представленій статті розглядається варіант роботи горизонтального напірного розподільчого трубопроводу, який працює за наявності прямого похилу поверхні РГВ (рис. 1).

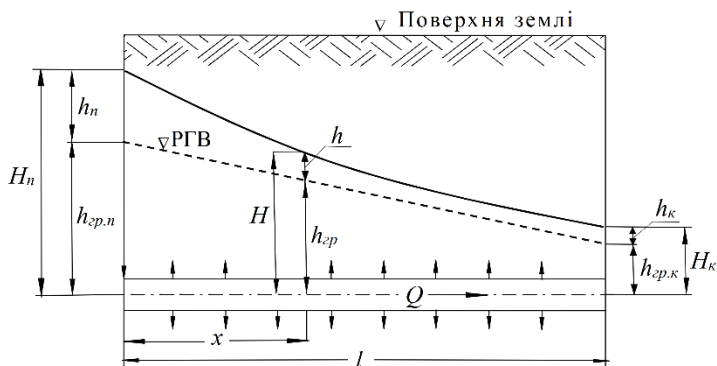


Рисунок 1 – Схема роботи горизонтального розподільчого дренажного трубопроводу за наявності прямого похилу поверхні РГВ

Як відомо, рух рідини в даному випадку описується системою диференціальних рівнянь, яка складається з рівняння гідравліки змінної маси (1) і модифікованого рівняння фільтрації (2) [10]:

$$\frac{dH}{dx} + \frac{2}{g} V \frac{dV}{dx} + \frac{\lambda_p}{2gD} V^2 - I = 0 \quad (1)$$

$$\frac{d(V\Omega)}{dx} = -k_\phi \frac{h}{\Phi}, \quad (2)$$

де $H = h + h_{zp}$ – змінний за довжиною повний напір в дрени; h_{zp} – відстань від осі перерізу труби до поверхні рівня ґрунтових вод; $h = H - h_{zp}$ – змінний за довжиною напір, під дією якого відбувається витікання рідини з труби в навколишнє середовище; $\frac{h_{zp.n} - h_{zp.k}}{l} = I$ – геометричний похил рівня

поверхні ґрунтових вод (РГВ); $H = h + h_{zp.n} - \frac{h_{zp.n} - h_{zp.k}}{l} x = h + h_{zp.n} - Ix$;

$dH = dh - I dx$; $h_{zp} = h_{zp.n} - Ix$; Q , V , D , Ω – відповідно, витрата, середня швидкість, діаметр і площа живого перерізу потоку на відстані x від початку трубопроводу; Φ – фільтраційний опір дрени (його визначення представляє окрему фільтраційну задачу); k_ϕ – коефіцієнт фільтрації ґрунту навколо труби; λ_p – гідравлічний коефіцієнт тертя розподільчого дренажного трубопроводу [11]; g – прискорення вільного падіння.

Використавши наведені вище співвідношення, а також ввівши нові змінні

$$\bar{V} = \frac{V}{\sqrt{gh_n}}, \quad \bar{x} = \frac{k_\phi x}{\Omega \Phi} \sqrt{\frac{h_n}{g}}, \quad \bar{h} = \frac{h}{h_n}, \quad (3)$$

вихідна система рівнянь зводиться до безрозмірного вигляду:

$$\frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} + 2\bar{V} \frac{d\bar{V}}{d\bar{x}} + \zeta_{lp} A \bar{V}^2 - B = 0 \quad (4)$$

$$\frac{d\bar{V}}{d\bar{x}} = -\bar{h}, \quad (5)$$

де $\zeta_{lp} = \lambda_p \frac{l}{D}$ – коефіцієнт опору розподільчого дренажного трубопроводу

[12]; $A = \frac{1}{2\bar{x}_k} = \frac{\Omega \Phi}{2k_\phi l} \sqrt{\frac{g}{h_n}}$ – узагальнений параметр розподільчої дрени,

який враховує її конструктивні і фільтраційні характеристики; $B = \frac{2\pi A}{h_n}$ –

параметр, який враховує вплив похилу поверхні ґрунтових вод на характеристики потоку в дрени.

Другий член рівняння (4) описує втрати напору, які пов'язані з ефектом від'єднання рідини, третій – втрати на гідравлічне тертя за довжиною, четвертий – вплив похилу РГВ.

У дренажних зволожуючих системах трубопроводу, як правило, мають відносно велику довжину. Тому впливом другого члена в рівнянні (4) зазвичай нехтують без суттєвої похибки [9], після цього отримуємо:

$$\frac{dh}{dx} = \zeta_{lp} A \bar{V}^2 - B. \quad (6)$$

Детальний розв'язок рівняння (6) наведено в роботі [13].

У результаті здійсненого аналізу та введення поняття умовного розподільчого дренажного трубопроводу нескінченної довжини ($l \rightarrow \infty$, $\zeta_{lp} \rightarrow \infty$), відносна швидкість у його початковому перерізі $\bar{V}_{n,\infty,l}$ рекомендується визначати з кубічного рівняння виду:

$$\frac{2\zeta_{lp} A}{3} \bar{V}_{n,\infty,l}^3 - 2B \bar{V}_{n,\infty,l} = 1. \quad (7)$$

При $B = 0$ дане рівняння переходить у залежність, що описує роботу горизонтального нескінченно довгого розподільчого трубопроводу, який працює при горизонтальному РГВ і буде мати відносну витрату в початковому перерізі $\bar{V}_{n,\infty} = \sqrt[3]{2\zeta_{lp} A/3}$.

Для подальшого аналізу введемо до розгляду поняття фіктивного горизонтального розподільчого дренажного трубопроводу нескінченної довжини, який працює при горизонтальному рівні ґрунтових вод ($I = 0$, $B = 0$), з характеристиками, що забезпечують в його початковому перерізі таку ж відносну швидкість (витрату), як і у розглядуваному трубопроводі, який працює за наявності похилу РГВ. Тобто, для них справедливе співвідношення:

$$\bar{V}_{n,\infty,l} = \bar{V}_{\phi,n,\infty} = \sqrt[3]{\frac{2\zeta_{lp} A \phi}{3}}. \quad (8)$$

Із залежності (8) можна знайти значення фіктивного узагальненого параметра:

$$A_{\phi} = \frac{3}{2\zeta_{I_p} \bar{V}_{\phi.n.\infty}^3}. \quad (9)$$

Залежність (9) характеризує співвідношення між основними конструктивними характеристиками фіктивного нескінченно довгого горизонтального трубопроводу.

Як показано в роботі [13], для фіктивного розподільчого горизонтального дренажного трубопроводу нескінченної довжини залежність між діючим напором і відносною довжиною має вигляд:

$$\bar{h}_{\phi} = \frac{1}{\left(1 - \frac{\bar{x}_{\phi}}{2\bar{V}_{\phi.n.\infty}}\right)^3}. \quad (10)$$

Для визначення співвідношень між \bar{x}_I і \bar{x}_{ϕ} , при яких відносні швидкості і напори в перерізах реального і фіктивного трубопроводів будуть рівні, тобто буде виконуватись умова:

$$\bar{V}_I = \bar{V}_{\phi}; \bar{h}_I = \bar{h}_{\phi}, \quad (11)$$

використаємо залежність (10), з якої після нескладних перетворень, отримаємо:

$$\bar{x}_{\phi} = 2\bar{V}_{\phi.n.\infty} \left(\frac{1}{\sqrt[3]{\bar{h}_I}} - 1 \right). \quad (12)$$

Вираз (12) дозволяє визначити значення відносної координати фіктивного і реального трубопроводів залежно від величин відповідних відносних напорів або швидкостей.

Висновки. У роботі на основі аналізу диференційних рівнянь, які описують рух рідини в розподільчих напірних горизонтальних дренажних трубопроводах, які працюють за наявності похилу рівня ґрунтових вод (I), запропоновано відносно прості аналітичні залежності для їх розрахунку. При проведенні аналізу введено поняття нескінченно довгого горизонтального дренажного трубопроводу або трубопроводу з нескінченною величиною просякнення бічної поверхні стінок труби. Приведені формули рекомендуються для застосування у широкому діапазоні зміни параметрів дренажних труб. Для подальшого розвитку даного напрямку досліджень вважаємо за необхідне більш детальне вивчення внутрішньої гідродинаміки потоку рідин у розподільчих дренажних трубопроводах.

References

1. Karadavut S., Erdogan S., Dayan V. (2023). Investigation of agricultural sustainability with irrigation and economic factors. *Black Sea Journal of Agriculture*. 2023. Vol. 6, No 4. P. 394–401. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1300422>
2. Cvejić R., Pintar M., Zupanc V. Advancing irrigation development in the European Union. *Irrigation and Drainage*. 2021. Vol. 70, No 4. P. 887–899. <https://doi.org/10.1002/ird.2585>
3. Rosa L. Adapting agriculture to climate change via sustainable irrigation: biophysical potentials and feedbacks. *Environmental Research Letters*. 2022. Vol. 17, No 6, 063008. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ac7408>
4. Oyarce P., Gurovich L., Duarte V. Experimental evaluation of agricultural drains. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2017. Vol. 143 No 4. 04016082. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.000113](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.000113)
5. Singh A. Irrigation planning and management through optimization modelling. *Water Resources Management*. 2014. Vol. 28. P. 1–14 <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0469-y>
6. Łabędzki L., Kaca E., Brandyk A. Irrigation and drainage in Polish agriculture: state, problems and needs. *Quality of Water Resources in Poland*. 2021. P. 91–118. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64892-3_5
7. Cherniuk V., Hnativ R., Kravchuk O., Orel V., Bihun I., Cherniuk M. The problem of hydraulic calculation of pressure distribution pipelines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 6, No 7 (114). P. 93–103. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246852>
8. Kozishkurt S. M., Turcheniuk V. O. Metodolohichni ta ekolohichni aspekty udoskonalennia rozrakhunku vodnykh rezhymiv silskohospodarskykh kultur Visnyk NUVHP. Seria «Tekhnichni nauky». 2018. T. 3, № 87. S. 19–27. <https://doi.org/10.31713/vt420181>
9. Kravchuk O. A. Do hidravlichnoho rozrakhunku napirnykh drenaznykh truboprovodiv, yaki pratsiuut v rezhymi rozdachi. *Komunalne gospodarstvo mist*. 2021. T. 3, № 163. C. 68–74. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-3-163-68-74>
10. Kravchuk A.M., Kravchuk O.A. Vyznachennia kharakterystyk rozpodilchykh drenaznykh truboprovodiv pry propusku tranzytnoi vytraty. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. 2021. T. 105, № 3. S. 123–129. <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/488>
11. Kravchuk A., Cherniuk V., Kravchuk O., Airapetian, T. Assessing the value of the hydraulic friction factor in pipelines working with a flow connection along the path. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 5, No 7 (119). P. 61–67. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265670>
12. Kravchuk A., Cherniuk V., Kochetov G., Kravchuk O., Airapetian, T. Determination of the particularities of the hydraulic friction factor variation of collecting drainage pipelines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 6, No 7 (126). P. 33–38. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2023.292258>
13. Kravchuk A., Kravchuk O. Rozrakhunok rozpodilchykh drenaznykh truboprovodiv, prokladenykh z pokhyлом. *Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliky*. 2023. № 42. S. 35–41. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.42.35-41>

Література

1. Karadavut S., Erdogan S., Dayan V. (2023). Investigation of agricultural sustainability with irrigation and economic factors. *Black Sea Journal of Agriculture*. 2023. Vol. 6, No 4. P. 394–401. <https://doi.org/10.47115/bsagriculture.1300422>
2. Cvejić R., Pintar M., Zupanc V. Advancing irrigation development in the European Union. *Irrigation and Drainage*. 2021. Vol. 70, No 4. P. 887–899. <https://doi.org/10.1002/ird.2585>
3. Rosa L. Adapting agriculture to climate change via sustainable irrigation: biophysical potentials and feedbacks. *Environmental Research Letters*. 2022. Vol. 17, No 6, 063008. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ac7408>
4. Oyarce P., Gurovich L., Duarte V. Experimental evaluation of agricultural drains. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2017. Vol. 143 No 4. 04016082. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.000113](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.000113)
5. Singh A. Irrigation planning and management through optimization modelling. *Water Resources Management*. 2014. Vol. 28. P. 1–14 <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0469-y>
6. Łabędzki L., Kaca E., Brandyk A. Irrigation and drainage in Polish agriculture: state, problems and needs. *Quality of Water Resources in Poland*. 2021. P. 91–118. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64892-3_5
7. Cherniuk V., Hnativ R., Kravchuk O., Orel V., Bihun I., Cherniuk M. The problem of hydraulic calculation of pressure distribution pipelines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 6, No 7 (114). P. 93–103. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246852>
8. Козішкурт С. М., Турченко В. О. Методологічні та екологічні аспекти удосконалення розрахунку водних режимів сільськогосподарських культур *Вісник НУВГП. Серія «Технічні науки»*. 2018. Т. 3, № 87. С. 19–27. <https://doi.org/10.31713/vt420181>
9. Кравчук О. А. До гідралічного розрахунку напірних дренажних трубопроводів, які працюють в режимі роздачі. *Комунальне господарство міст*. 2021. Т. 3, № 163. С. 68–74. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-3-163-68-74>
10. Кравчук А.М., Кравчук О.А. Визначення характеристик розподільчих дренажних трубопроводів при пропуску транзитної витрати. *Науковий вісник будівництва*. 2021. Т. 105, № 3. С. 123–129. <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/view/488>
11. Kravchuk A., Cherniuk V., Kravchuk O., Airapetian, T. Assessing the value of the hydraulic friction factor in pipelines working with a flow connection along the path. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 5, No 7 (119). P. 61–67. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265670>
12. Kravchuk A., Cherniuk V., Kochetov G., Kravchuk O., Airapetian, T. Determination of the particularities of the hydraulic friction factor variation of collecting drainage pipelines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 6, No 7 (126). P. 33–38. <http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2023.292258>
13. Кравчук А., Кравчук О. Розрахунок розподільчих дренажних трубопроводів, прокладених з похилом. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*. 2023. № 42. С. 35–41. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.42.35-41>

POROUS MATERIAL SOFTWARE ANALYSIS

ПРОГРАМНИЙ АНАЛІЗ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Mikulich O.A., Doctor of Engineering, Professor (Lutsk National Technical University), Zaiakin D.K., Ph.D. student (Lutsk National Technical University)

Мікуліч О.А., д.т.н., проф. (Луцький національний технічний університет), Заякін Д.К., аспірант (Луцький національний технічний університет)

У роботі описані ключові моменти розробки та впровадження програмного забезпечення для аналізу пористості матеріалів. Перевагою використання розробленого продукту є можливість проведення експериментів на основі звичайних фотографій, які тепер можна отримати за допомогою звичайного телефону з достатньою точністю. Таке застосування значно розширює можливості проведення досліджень у виробництві без додаткових лабораторних експериментів.

Програма, що базується на мові програмування Swift та архітектурному шаблоні MVVM, є потужним інструментом для аналізу архітектурних об'єктів та матеріалів. Шаблон MVVM сприяє підтримуваності, знижуючи складність коду та покращуючи його читабельність, що дозволяє розробникам зосередитися на своїх конкретних областях експертизи. Використовуючи можливості продуктивності та оптимізації Swift, програмне забезпечення забезпечує плавний та зручний користувацький досвід, що особливо важливо для завдань обробки зображень. Розробка програмного забезпечення полегшується використанням IDE Xcode та емуляторів, які надають комплексні інструменти для створення, тестування та налагодження iOS-додатків. Крім того, програмне забезпечення використовує модульні тести для перевірки функціональності, підвищуючи якість та надійність коду.

Програма має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє користувачам легко вибирати та аналізувати зони зображень, надаючи детальну інформацію про площу та пористість. Майбутні вдосконалення включатимуть розширені алгоритми для визначення щільності пор, безпечне зберігання, обмін та експорт результатів аналізу, що задовольняє різноманітні потреби досліджень. Цей додаток буде особливо корисним для архітекторів, інженерів та будівельників, спрощуючи процес проектування та забезпечуючи ефективне використання ресурсів. У цілому програмне забезпечення є універсальним та потужним інструментом для аналізу пористих матеріалів, а постійна розробка спрямована на подальшу оптимізацію та розширення можливостей.

The paper describes key moments in the development and implementation of software for analyzing the porosity of materials. The advantage of using the developed product is the ability to conduct experiments based on regular photographs, which can now be obtained with a regular phone with sufficient accuracy. Such an application significantly expands the possibilities of conducting research in production without additional laboratory experiments.

The program, based on the Swift programming language and the MVVM architectural pattern, is a powerful tool for analyzing architectural objects and materials. The MVVM pattern promotes maintainability by reducing code complexity and improving code readability, allowing developers to focus on their specific areas of expertise. By leveraging Swift's performance and optimization capabilities, the software ensures smooth and responsive user experiences, crucial for image processing tasks. The development of the software is facilitated by the use of Xcode IDE and simulators, which provide comprehensive tools for building, testing, and debugging iOS applications. Additionally, the software employs unit tests to verify functionality, enhancing code quality and reliability.

The program features an intuitive interface that allows users to easily select and analyze image zones, providing detailed information about the area and porosity. Future enhancements will include advanced algorithms for determining pore density, secure storage, sharing, and exporting of analysis results, catering to diverse research needs. This application will be particularly useful for architects, engineers, and builders, simplifying the design process and ensuring efficient use of resources. Overall, the software represents a versatile and powerful tool for analyzing porous materials, with ongoing development aimed at further optimization and expansion.

Ключові слова: пористі матеріали, програмне забезпечення, площа, аналіз, архітектура.

Keywords: porous materials, software, area, analysis, architecture.

Introduction. Porous materials have found significant application in modern industry due to their specific properties, allowing them to solve various important tasks in different fields, from construction to medicine. Experimental studies show [1] that one of the key aspects of this class of materials is determining their mechanical, physical, and other characteristics, such as porosity, and structural heterogeneity, which significantly affect the behavior of these materials during operation. It is not always possible to conduct experimental studies in laboratory conditions using special equipment, so this work is dedicated to the development of software that would allow determining the porosity of a material based on photographs of its structure.

Statement of Research Objectives and Tasks. The paper presents research on the capabilities of an early version of software aimed at solving the tasks described above. This software product has the potential for further development and expansion of its functions, which will improve the process of analyzing porous materials.

Main Part. The utilization of the MVVM (Model-View-ViewModel) architectural pattern (fig. 1) in the development of this software offers several advantages. In MVVM, the Model represents the data and business logic of the application, the View encompasses the user interface elements, and the ViewModel acts as an intermediary between the Model and the View, handling the presentation logic and exposing data to the View.

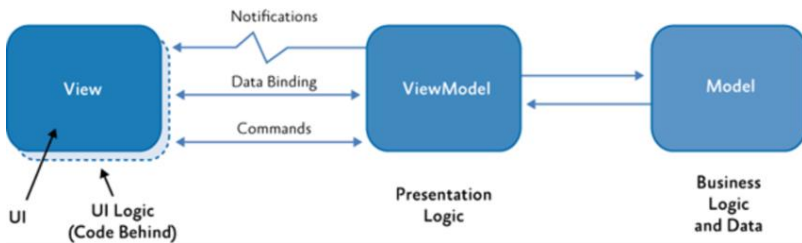


Figure 1 – MVVM pattern

By adhering to MVVM, the software achieves a high degree of separation of concerns, which facilitates modularization and promotes code reusability. This separation also simplifies testing, as each component can be tested independently, leading to more robust and reliable software.

Furthermore, the clear separation of responsibilities between the Model, View, and ViewModel enhances collaboration among developers working on different parts of the application. Developers can focus on their specific areas of expertise without interfering with the codebase of other components, leading to increased productivity and streamlined development processes.

The MVVM pattern promotes maintainability by reducing code complexity and improving code readability. With well-defined roles for each component, developers can easily understand the purpose and functionality of different parts of the software, making it easier to maintain and update the codebase over time.

By leveraging the MVVM architectural pattern, the software benefits from improved modularity, testability, collaboration, and maintainability, ultimately resulting in a more robust and efficient application development process.

The choice of Swift as the programming language for development brings additional benefits to the project. Swift's concise syntax and powerful features streamline development, allowing for faster implementation of complex functionalities. Its robust performance and optimization capabilities ensure smooth and responsive user experiences, particularly crucial for image processing tasks like those in this software. Moreover, Swift's active development community and extensive documentation provide ample resources and support for developers, facilitating rapid prototyping and iteration. In essence, Swift

empowers developers to create innovative and reliable software solutions efficiently and effectively.

In the development process, certain program elements, such as text fields and buttons, were built upon existing components to leverage their functionality and ensure consistency across the application. These components were carefully separated into reusable modules, allowing them to be easily integrated and utilized throughout the entire software. This modular approach not only promotes code reusability but also simplifies maintenance and updates by isolating changes to individual components without impacting the overall application structure.

Furthermore, the software uses unit tests to verify the functionality of its various components and ensure they perform as expected. Unit tests are small, focused tests that validate individual units of code, such as functions or methods, in isolation. Their primary purpose is to detect and prevent regressions and bugs by automatically validating code behavior against expected outcomes. By implementing unit tests, developers can identify and address issues early in the development process, leading to higher code quality, improved reliability, and faster debugging. Additionally, unit tests serve as living documentation, providing insights into the intended behavior of code units and facilitating collaboration among development teams. Overall, the integration of unit tests enhances the robustness and maintainability of the software, ultimately contributing to its success in meeting user requirements and expectations.

The development of the software is facilitated by the use of Xcode IDE (Integrated Development Environment) and simulators, which play a crucial role in testing the application during its development lifecycle. Xcode, Apple's official IDE, provides a comprehensive suite of tools for building, testing, and debugging iOS applications. Its intuitive interface and powerful features streamline the development process, allowing developers to efficiently write, edit, and manage code.

One of the key features of Xcode is its built-in simulators, which enable developers to test their applications on virtual iOS devices without the need for physical hardware. These simulators accurately emulate the behavior and characteristics of various iOS devices, including different screen sizes and hardware configurations. This allows developers to verify the functionality and user experience of their applications across a wide range of devices, ensuring compatibility and consistency.

Additionally, Xcode provides robust debugging tools that help developers identify and resolve issues in their code quickly. Features such as breakpoints,

variable inspection, and real-time code execution make it easier to diagnose and fix bugs, improving the overall quality of the software.

Overall, Xcode IDE and simulators are indispensable tools in the development of iOS applications, offering developers the resources and capabilities they need to create high-quality, reliable software efficiently.

The program has an intuitive interface that allows the user to easily select a zone on the image and change its size. The availability of such features allows for accurately determining the area of the selected zone and provides ease of use of the program. Let's consider the existing capabilities of the program. Selecting a zone on the image of porous aerated concrete (fig. 2) will allow determining its porosity and material properties.

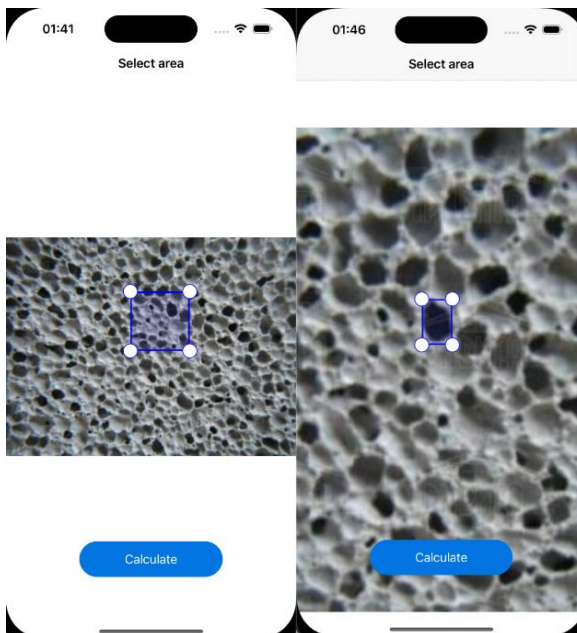


Figure 2 – Zone selection

The ability to change the size of the selected zone will allow the user to more accurately determine the area under investigation. The screen with the calculation of the size of the entire image will provide the user with a general overview and control over data processing. Using the screen with the calculation of the selected

zone (fig. 3), the user can obtain detailed information about the area of the selected zone, which allows for a more accurate analysis of image areas.

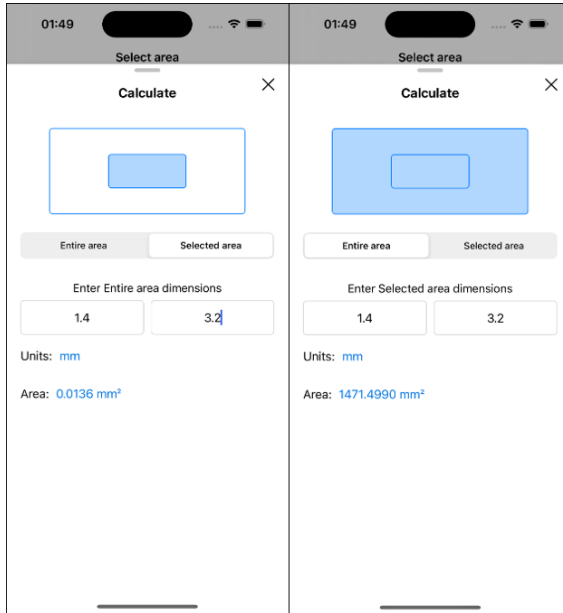


Figure 3 – Area calculation

Several approaches are known in the literature for determining the porosity of materials in laboratory conditions. One of them requires knowing the true density of the sample material and the density of the porous material itself [2]:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_v}{\rho_t}\right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

where ρ_t — is the density of the solid material of the sample, $\rho_v = \frac{m}{V}$ — is the density of the porous material, m and V are the mass and volume of the sample with pores.

In addition, when determining porosity, the value of the relative volume fraction V_V [2]:

$$\Pi = (1 - V_V) \cdot 100\%, \quad (2)$$

where the relative volume fraction is defined as the ratio of the matrix volume to the total sample volume.

Both approaches allow determining the porosity of the material with sufficient accuracy in laboratory conditions using special equipment. To calculate the porosity of materials without using laboratory conditions, software has been

developed that allows analysis based on photographs of the material structure. In the analysis of the structure of this software product, a combination of geometric and statistical approaches is applied in the calculation. The application considers several methods that allow for determining the size of pores in images.

In the current iteration, the application has begun implementing several techniques for analyzing the structure of materials. However, there are plans underway to optimize and expand these functionalities extensively. One such enhancement includes the integration of additional forms for selecting zones within the images, providing users with more flexibility and precision in their analyses.

Moreover, the software aims to incorporate advanced algorithms for determining pore density within the material structure. This enhancement will enable users to gain deeper insights into the distribution and characteristics of pores, further enriching the analytical capabilities of the application.

The development roadmap includes features for securely storing, sharing, and exporting analysis results, enhancing collaboration among researchers and professionals. Additionally, the application will offer capabilities for converting analysis results into various formats, catering to diverse research needs and preferences, thus ensuring flexibility and seamless integration with existing workflows and tools.

Overall, these planned optimizations and expansions signify the software's commitment to continuous improvement and innovation, aiming to provide users with a comprehensive and versatile tool for analyzing porous materials efficiently and effectively.

Conclusions. This application will be extremely useful for architects, engineers, and builders who regularly work with architectural objects and materials. Performing quick and accurate area calculations for the selected zone will simplify the design process and work with materials, ensuring efficient use of resources and high-quality results.

The developed program based on the Swift programming language and the MVVM architectural pattern is a powerful tool for analyzing architectural objects and materials. Its capabilities for determining the area within the selected zone along with porosity calculation methodologies make it an indispensable assistant for professionals in the field of architecture and construction. Further development and improvement of the application will take into account the needs of users and ensure its greater efficiency and usefulness.

References

1. Wypych, G.: Handbook of Foaming and Blowing Agents; ChemTec Publishing: Toronto, ON, Canada, 2007.
2. Carolis, S., Putignano, C., Soria L., Carbonen G.: Effect of porosity and pore size distribution on the elastic modulus of foams. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2024. 261: 108661.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ РОЗМІЩЕННІ КРАНІВ НА БУДІВЕЛЬНОМУ МАЙДАНЧИКУ

PROSPECTS OF THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE PLACEMENT OF CRANES ON THE CONSTRUCTION SITE

Мудрий І.Б. к.т.н., доцент (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів)

Mudryj I.B., Ph.D., Senior Lecturer (National University of Lviv Polytechnic, Lviv)

Виконано аналіз основних світових інформаційних технологій, які використовуються у практиці оптимального планування будівельного майданчика. Визначено основні групи методологій, які використовуються для визначення ефективного розташування баштових кранів на будівельному майданчику з аналізом їх недоліків на основі алгоритмів, які використовуються для їх оптимізації. Запропоновано шляхи підвищення ефективності інформаційного моделювання з розміщення баштових кранів на будівельному майданчику з урахуванням практичного досвіду.

The main focus of this paper is to synthesize the scientific experience regarding the optimization of tower crane placement on a construction site. The research presented in the article revolves around the theme of the effectiveness of information planning for construction sites, particularly in the optimal positioning of tower cranes to enhance work efficiency. The study aims to identify parameters that are often overlooked in modeling based on practical experience.

Improper spatial placement of tower cranes can lead to additional costs and project delays. To enable optimization of the spatial positioning of tower cranes, an analysis of leading-edge information technologies utilized in the practice of optimal construction site planning has been conducted. The use of modern information modeling technologies in conjunction with optimization methods makes the process of tower crane spatial placement more efficient and accurate. These technologies will help determine the spatial placement of all construction resources on the site, ensuring better outcomes for both physical space utilization and machine technical characteristics. The reliance solely on the experience of construction or project organization personnel for decision-making in construction site planning precludes the application of an information-based approach. Through analysis, the main groups of methodologies used to determine the effective placement of tower cranes on construction sites have been identified, along with an examination of their drawbacks based on the algorithms applied for optimization. Ways to enhance the efficiency of information modeling for tower crane placement on construction sites have been proposed to enable the adoption of more precise and effective decisions.

Ключові слова: будівельний майданчик, схеми розташування кранів, оптимізація розташування, алгоритм оптимізації, баштові крани, планування будівельного майданчика, інформаційні технології.

Keywords: construction site, crane location schemes, location optimization, optimization algorithm, tower cranes, construction site planning, information technology

Вступ. Правильна організація будівельного майданчика, зокрема, раціональне розташування кранового обладнання визначить ефективність реалізації проекту в цілому. Планування послідовності використання кранів починається на ранніх етапах будівельних проектів і служить основою для прийняття подальших рішень, як для динамічних, так і для статичних моделей будівельних майданчиків. Однак через структуру факторів, що визначають параметри ділянки, таке планування часто є складним і неефективним. Неоптимальний вибір просторового розміщення баштового крана може призвести до додаткових витрат і затримок реалізації проекту. Тому ефективне планування має вирішальне значення для оптимізації використання простору майданчика та впливає на безпеку та продуктивність будівельних процесів [1, 2].

Ефективне планування будівельного майданчика може бути досягнуто за рахунок зменшення площі, яку займають ресурси на будівництві, та мінімізації їх непродуктивних переміщень [3]. Аналіз наукових досліджень [4, 5, 6], спрямованих на зменшення витрат, через оптимізацію прийнятих рішень під час проектування будівельних генеральних планів, показує існування двох основних напрямків:

1) мінімізація площ об'єктів будівельного майданчика за рахунок ефективного використання ресурсів:

- зменшення максимальної кількості робітників, і, відповідно, зниження необхідних площ адміністративних та побутових приміщень;
- зменшення необхідної площі складських майданчиків через зміну періоду використання матеріалів;

2) раціональне планування будівельного майданчика для забезпечення операційної ефективності, що передбачає мінімізацію відстаней переміщення ресурсів. Це може бути досягнуто шляхом ефективного розміщення вантажопідйомного обладнання, зокрема, баштових кранів, з урахуванням доступних під'їзних шляхів та місць для їх монтажу і демонтажу.

Таким чином, оптимізація будівельного майданчика є багатоваріантною та трудомісткою задачею, що збільшує затрати на проектування. Зменшити кількість варіантів дозволяє використання інтелектуальних систем проектування. На вітчизняному ринку більшість будівельних компаній не займаються оцінкою ефективності планування будівельного майданчика, а рішення приймаються на основі досвіду чи

застарілих методів. Такий стан суттєво впливає на економічність та ефективність реалізації проекту в цілому.

Мета. Провести аналіз основних моделей, що застосовуються для оптимізації будівельних майданчиків, з визначенням параметрів, які не враховуються при математичному моделюванні, зокрема, при виборі місць розташування баштових кранів, на основі практичного досвіду.

Аналіз досліджень. Існують різні моделі [7-19], що спрямовані на пошук оптимальних рішень щодо вибору та розташування кранів на будівельному майданчику. Зазвичай ці моделі можна розділити на три основні групи, які відрізняються у методології вирішення:

1) інформаційне моделювання – використовується при просторовому плануванні ділянки і включає симуляцію поведінки всіх технологічних елементів будівельного майданчика. Ці моделі дозволяють здійснювати візуальний моніторинг управління, але не враховують тип та характеристики використовуваних машин і не проводять пошук оптимального варіанту просторового розміщення кранів;

2) математичне моделювання – ґрунтується на пошуку необхідних значень цільової функції з урахуванням заданих обмежень. Більшість таких моделей використовують алгоритми, що імітують природні процеси, розглядаючи процеси попиту та пропозиції матеріалів, які переміщуються баштовим краном;

3) моделі, що використовують генетичні алгоритми, досліджують оптимальне розташування баштових кранів з метою збалансування робочих операцій між різними механізмами для мінімізації можливих конфліктів та досягнення максимальної ефективності роботи. Початково модель формує групи завдань та вибирає розташування машин з урахуванням геометричних показників.

У практиці здійснення оптимального планування будівельного майданчика з урахуванням комплексного керування питаннями охорони здоров'я, безпеки та екології, зокрема, застосуванням інтелектуальних технологій, часто отримує обмежену увагу. Зазвичай таке планування покладається на інженера-проектувальника, який враховує чинні нормативи та власний професійний досвід.

Варіантне проектування будівельного майданчика вимагає створення різних планувальних моделей, що збільшує витрати на проектування. Будівельні майданчики мають різну форму, і елементи, які розташовуються на вільних площах, можуть мати різні параметри, що не завжди дозволяє їх оптимально розмістити, особливо в умовах обмеженого простору.

Вибір місця розташування баштового крана повинен базуватися на мінімізації загальної вартості його експлуатації та максимізації його використання, як в часі, так і за вантажними параметрами. Такий вибір має задовольнити як експлуатаційні обмеження, так і обмеження умов майданчика.

Виклад основного матеріалу. Задачі планування будівельного майданчика зазвичай включають в себе розміщення тимчасових об'єктів та баштових кранів на ділянці будівництва таким чином, щоб оптимізувати цілі планування та враховувати обмеження з охорони праці та безпеки навколишнього середовища. Планування будівельного майданчика є складною комбінаторною задачею оптимізації, що включає кілька цілей та ускладнюється зі зростанням кількості об'єктів і обмежень на умови виконання робіт.

Питанню проектування майданчиків будівництва (construction site layout planning - CSLP) з використанням інформаційних технологій моделювання приділяється увага у практиці [5, 6], оскільки це сприяє підвищенню ефективності та якості управління проектом на місці у режимі реального часу. Процес інформаційного планування будівельного майданчика є складним практично і його моделювання за допомогою методів оптимізації не завжди гарантує створення ефективного варіанту. На рис. 1 показаний порядок оптимізації будівельних майданчиків з чотирьох кроків, починаючи від вхідних даних, визначення цілей, процесу (алгоритму) оптимізації та вихідного етапу (прийняття рішень). У практиці використовують різні алгоритми для технології оптимізації CSLP, які можна узагальнити наступним чином:

1) штучний інтелект (AI) [12]. AI застосовується для аналізу різних варіантів розміщення об'єктів на будівельному майданчику та вибору оптимального варіанту;

2) еволюційний алгоритм (EA) [6, 13]. Застосовується для пошуку найкращих варіантів розміщення об'єктів на будівельному майданчику шляхом ітеративного покращення;

3) алгоритм світлячків (FA) [10, 19]. Використовується для оптимізації розташування об'єктів на будівельному майданчику;

4) методи ройового інтелекту (SI). Застосовуються для оптимізації розташування об'єктів на будівельному майданчику, враховуючи різноманітні фактори, такі як загальні витрати на зведення, безпека та ефективність виробництва.

Аналіз даних методів оптимізації показує, що вони не враховують низки поточних факторів, таких як: розподіл ресурсів, взаємозв'язки між певними елементами будівельного майданчика, швидкість виробництва, простої будівельної техніки та ін.

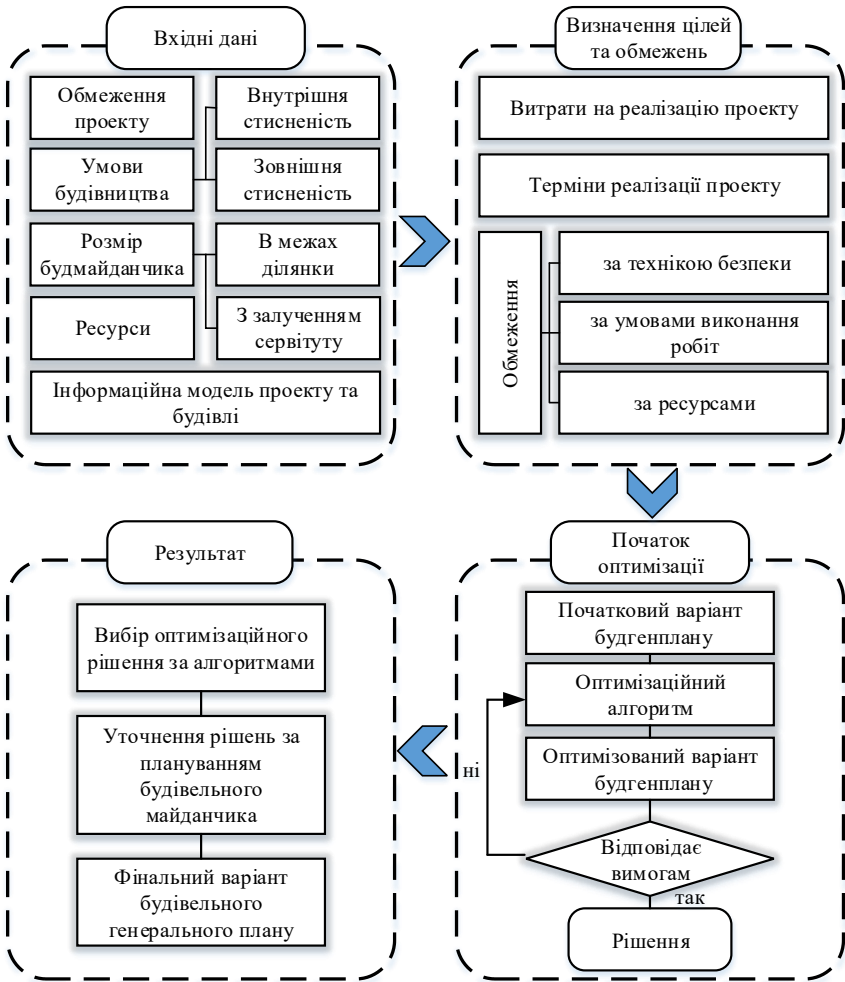


Рисунок 1 – Порядок покрокового пошуку оптимального рішення з планування будівельного майданчика.

Усі вищезазначені алгоритми спрямовані на пошук вирішення поставленої задачі, проте не на створення реальних даних для практичного використання, оскільки часто не ураховують усі умови фактичного виробництва, частково їх спрощуючи. Вони фокусуються на пошуку компромісних рішень між витратами на організацію майданчика чи виконання робіт та вимогами до безпеки робіт. Загалом, моделі CSLP

передбачають зони розміщення елементів будівельного господарства на майданчику з метою мінімізації загальних витрат на будівництво, проте на практиці розташування цих елементів може залежати від різних чинників. Також не враховують часові параметри та чинники, пов'язані з організаційно-технологічними схемами та умовами виконання робіт.

Вибір схеми розташування баштового крана на будівельному майданчику часто ґрунтується на досвіді фахівців будівельної та проектної організації. Хоча існують розрахункові методи для знаходження оптимального їх розташування, але вони можуть бути складними та трудомісткими, зокрема, у вітчизняній практиці використовують методик:

- за ступенем використання порівнюваних кранів за вантажною площею;
- за позиціонуванням всіх монтажних елементів відносно баштового крана, вибором параметрів крана на основі максимальної маси монтажних елементів та вибором самого крана відповідно до вантажного моменту;
- за визначенням «критичних» елементів, які враховують монтажну вагу з урахуванням відстані до подачі елемента;
- за аналізом монтажних характеристик об'єкта з використанням графо-аналітичного методу залежно від вантажопідйомності, радіусу дії і висоти підйому гака крана;
- за показником різномоментності конструктивного рішення.

У більшості випадків пошук оптимального розташування крана є типовою технічною задачею, проте для кожного конкретного будівельного майданчика вона може вимагати індивідуального підходу та розрахунків. Способи початкового розміщення баштового крана на будівельному майданчику з використанням інформаційних технологій переважно використовують два підходи:

1. мінімізація площі спільної роботи баштових кранів [15]. Цей підхід спрямований на мінімізацію конфліктів між робочими зонами кранів. Шляхом інтеграції геоінформаційних систем і технологій моделювання будівель (BIM - Building Information Modeling), можна визначити оптимальне розташування кранів, що дозволяє мінімізувати взаємний вплив їхніх робочих зон. Це дозволяє підвищити продуктивність будівельного процесу та зменшити час на виробництво;

2. мінімізація часу на роботу баштового крана [13]. Оптимізуються робочі рухи крана з метою мінімізації часу переміщення конструкцій та матеріалів. Використання алгоритмів оптимізації, на основі збалансування пропозиції та попиту на матеріали в межах будівництва, що дозволяє ефективніше розподіляти завдання та зменшувати час на перевезення матеріалів. Ці два підходи використовуються окремо або комбіновано для визначення оптимального розташування баштового крана та підвищення продуктивності будівельного процесу.

Окремі наукові дослідження пропонують інші підходи для вибору оптимального розташування баштових кранів на будівельному майданчику:

1) сукупне використання генетичних алгоритмів та інформаційного моделювання будівель [18]. Цей підхід передбачає використання генетичних алгоритмів для пошуку оптимальних рішень щодо типу та розташування баштових кранів на основі інформаційного моделювання будівель. Він дозволяє автоматично створювати планувальні рішення, що враховують особливості конкретного будівельного проекту та мінімізують витрати та час виконання робіт;

2) використання інтегрованих методів BIM та програмних комплексів CAD [20]. Ці підходи використовують інтегровані методи BIM для аналізу та оптимізації будівельного процесу. Вони базуються на імпорті IFC (Industry Foundation Classes) моделей та використовують обчислювальні алгоритми для автоматичного створення оптимальних планів розташування баштових кранів;

3) використання систем автоматизованого проектування (САПР) та геоінформаційних систем (GIS) [21]. Ці комплекси поєднують у собі системи автоматизованого проектування та геоінформаційні системи для визначення оптимального розташування кранів та точок зберігання матеріалів на будівельному майданчику.

Проведений аналіз показує, що більшість оптимізаційних моделей недостатньо враховують реалістичні умови будівництва, особливо це стосується правильності вибору точок постачання та подачі (позиціонування) матеріалів і спрямовані на мінімізацію вартості переміщення ресурсів баштовими кранами. Поглиблення подальших досліджень у сфері оптимального планування будівельних майданчиків з використання методів інтелектуальної оптимізації дозволить приймати точніші та ефективніші рішення. Однак створення оптимальної моделі буде вимагати врахування всіх чинників, які можуть впливати на просторове розміщення баштових кранів та і їх взаємодію з навколишніми умовами.

Висновки. Використання сучасних технологій інформаційного моделювання у поєднанні з методами оптимізації може зробити процес просторового розміщення баштових кранів більш ефективним і точним, однак для ефективної реалізації такої методики додатково будуть потрібні:

1) розробка розширених моделей з урахуванням реалістичних умов. Необхідно створювати моделі, які враховують додаткові умови, такі як можливість коригування довжини стріл баштових кранів, паралельне зведення груп будинків за різною висотою, тощо. Ці моделі можуть бути побудовані на основі реальних (динамічних) обмежень та вимог проекту;

2) адаптація оптимізаційних моделей. Необхідно адаптувати існуючі оптимізаційні моделі для врахування оперативних змін у процесі будівництва, візуалізації в режимі реального часу за допомогою BIM та

розширених функцій просторового запиту. Це дозволить удосконалити моделі та зробити їх більш реалістичними та ефективними;

3) врахування додаткових технологічних машин та обладнання. Необхідно врахувати можливість використання додаткових машин, таких як самохідні крани, для оперативних потреб будівництва. Це може забезпечити гнучкіше та ефективніше управління ресурсами на будівельному майданчику;

4) інтеграція додаткових функцій та аналіз впливу. Розробка систем, які надають розширену функціональність, таку як аналіз впливу додаткових машин на ефективність використання основних баштових кранів, може допомогти врахувати інші фактори та оптимізувати роботу будівельного майданчика.

References

1. Mudryi I. B. Znyzhennia vytrat pry planuvanni budivelnykh maidanchykv // *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi* : zbirnyk naukovykh prats. – 2023. – Vyp. 19.– Pp. 117–123.
2. Mudryi I. B. Perspektyvy vykorystannia tekhnolohii informatsiinoho modeliuvannia pry rozrobtsi proektiv orhanizatsii budivnytstva // *Naukovyi visnyk budivnytstva*. – 2020. – Vol. 100, № 2. – Pp. 132–137.
3. Shawki K. A Dynamic automated system for site layout planning in Egypt. // *International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, University of Sharjah, 2014, p. 61.
4. Muralidhar P. Analysis on improving operational efficiency of construction project site. 2018. Vol. 9 No. 3: *Independent Journal of Management & Production*.
5. Xu M., Nie X., Li H., Cheng J., Mei Z. Smart construction sites: A promising approach to improving on-site HSE management performance. *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 49.
6. Ioanna N. Papadaki, Athanasios P. Chassiakos. Multi-objective construction site layout planning using genetic algorithms. *Procedia Engineering*. 2016. 164. Pp/ 20 – 27.
7. C. Huang, C. Wong, C. Tam. Optimization of tower crane and material supply locations in a high-rise building site by mixed-integer linear programming. 2011.
8. Roya Amiri, Javad Majrouhi Sardroud, Vahid Momenaei Kermani. Decision support system for tower crane location and material supply point in construction sites using an integer linear programming model. 2022.
9. A. Kaveh, Y. Vazirinia. Optimization of Tower Crane Location and Material Quantity Between Supply and Demand Points: A Comparative Study. 2018.
10. Cong Liu, Fangqing Zhang, Xiaojian Han, Hongyu Ye, Zanxi Shi, Jie Zhang, Tiankuo Wang, Jianjun She, Tianyue Zhang. Intelligent Optimization of Tower Crane Location and Layout Based on Firefly Algorithm. 2022
11. Mona Salah, R. Khallaf. Construction Site Layout Planning: A Social Network Analysis. 2023.
12. Dung Bui, N. D. Bui. Optimize location tower crane and supply facilities on construction site by discrete PSO algorithm. 2023.

13. C. Tam, T. K. Tong, and W. K. Chan. Genetic algorithm for optimizing supply locations around tower crane. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2001. vol. 127, no. 4, pp. 315–321.
14. J. Wang, X. Zhang, W. Shou et al. A BIM-based approach for automated tower crane layout planning. *Automation in Construction*, vol. 59, pp. 168–178, 2015.
15. P. Zhang, F. C. Harris, P. Olomolaiye, and G. D. Holt. Location optimization for a group of tower cranes. *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 125, no. 2, pp. 115–122. 1999.
16. A. Younes and M. Marzouk. Tower cranes layout planning using agent-based simulation considering activity conflicts. *Automation in Construction*, vol. 93, pp. 348–360. 2018.
17. H M. Alabool, D. Alarabiat, L. Abualigah, and A A. Heidari. Harris hawks optimization: a comprehensive review of recent variants and applications,” *Neural Computing & Applications*, vol. 33, no. 15, pp. 8939–8980. 2021.
18. Z. S. Moussavi Nadoushani, A. W. Hammad, and A. Akbarnezhad. Location optimization of tower crane and allocation of material supply points in a construction site considering operating and rental costs. [J] *Journal of Construction Engineering Management*, vol. 143, no. 1. 2017.
19. C. Liu, F. Zhang, X. Han, H. Ye, Z. Shi, . Zhang, T. Wang, J. She, T. Zhang. Intelligent optimization of tower crane location and layout based on firefly algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022.
20. S. Curry, Autodesk infrastructure solutions, CAD GIS Critical tools, Critical Links, white paper, vol. 1. 2003.
21. Van Oosterom, P. J. M., Stoter, J. E., & Jansen, E. Bridging the worlds of CAD and GIS. In S. Zlatanova, & D. Proserpi (Eds.), *Large-scale 3D data integration: challenges and opportunities* (pp. 9-36). CRC Press (Taylor & Francis). 2006.

Література

1. Мудрий І.Б. Зниження витрат при плануванні будівельних майданчиків // *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: збірник наукових праць. Луцьк – 2023. – Вип. 19. – С. 117–123.*
2. Мудрий І.Б. Перспективи використання технологій інформаційного моделювання при розробці проектів організації будівництва // *Науковий вісник будівництва. Львів – 2020. – Вип. 100, № 2. – С. 132–137.*
3. Shawki K. A Dynamic automated system for site layout planning in Egypt. // *International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, University of Sharjah, 2014, p. 61.
4. Muralidhar P. Analysis on improving operational efficiency of construction project site. 2018. Vol. 9 No. 3: *Independent Journal of Management & Production*.
5. Xu M., Nie X., Li H., Cheng J., Mei Z. Smart construction sites: A promising approach to improving on-site HSE management performance. *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 49.
6. Ioanna N. Papadaki, Athanasios P. Chassiakos. Multi-objective construction site layout planning using genetic algorithms. *Procedia Engineering*. 2016. 164. Pp/ 20 – 27.
7. C. Huang, C. Wong, C. Tam. Optimization of tower crane and material supply locations in a high-rise building site by mixed-integer linear programming. 2011.

8. Roya Amiri, Javad Majrouhi Sardroud, Vahid Momenaei Kermani. Decision support system for tower crane location and material supply point in construction sites using an integer linear programming model. 2022.
9. A. Kaveh, Y. Vazirinia. Optimization of Tower Crane Location and Material Quantity Between Supply and Demand Points: A Comparative Study. 2018.
10. Cong Liu, Fangqing Zhang, Xiaojian Han, Hongyu Ye, Zanxi Shi, Jie Zhang, Tiankuo Wang, Jianjun She, Tianyue Zhang. Intelligent Optimization of Tower Crane Location and Layout Based on Firefly Algorithm. 2022
11. Mona Salah, R. Khallaf. Construction Site Layout Planning: A Social Network Analysis. 2023.
12. Dung Bui, N. D. Bui. Optimize location tower crane and supply facilities on construction site by discrete PSO algorithm. 2023.
13. C. Tam, T. K. Tong, and W. K. Chan. Genetic algorithm for optimizing supply locations around tower crane. Journal of Construction Engineering and Management, 2001. vol. 127, no. 4, pp. 315–321.
14. J. Wang, X. Zhang, W. Shou et al. A BIM-based approach for automated tower crane layout planning,” Automation in Construction, vol. 59, pp. 168–178, 2015.
15. P. Zhang, F. C. Harris, P. Olomolaiye, and G. D. Holt. Location optimization for a group of tower cranes. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 125, no. 2, pp. 115–122. 1999.
16. A. Younes and M. Marzouk. Tower cranes layout planning using agent-based simulation considering activity conflicts. Automation in Construction, vol. 93, pp. 348–360. 2018
17. H M. Alabool, D. Alarabiat, L. Abualigah, and A A. Heidari. Harris hawks optimization: a comprehensive review of recent variants and applications,” Neural Computing & Applications, vol. 33, no. 15, pp. 8939–8980. 2021.
18. Z. S. Moussavi Nadoushani, A. W. Hammad, and A. Akbarnezhad. Location optimization of tower crane and allocation of material supply points in a construction site considering operating and rental costs,” [J] Journal of Construction Engineering Management, vol. 143, no. 1. 2017.
19. C. Liu, F. Zhang, X. Han, H. Ye, Z. Shi, . Zhang, T. Wang, J. She, T. Zhang. Intelligent optimization of tower crane location and layout based on firefly algorithm. Computational Intelligence and Neuroscience. 2022.
20. S. Curry, Autodesk infrastructure solutions, CAD GIS Critical tools, Critical Links, white paper, vol. 1. 2003.
21. Van Oosterom, P. J. M., Stoter, J. E., & Jansen, E. Bridging the worlds of CAD and GIS. In S. Zlatanova, & D. Prospero (Eds.), Large-scale 3D data integration: challenges and opportunities (pp. 9-36). CRC Press (Taylor & Francis). 2006.

ВИХРОВЕ ВІТРОВЕ ЗБУДЖЕННЯ У БАШТОВИХ СПОРУДАХ СУЦІЛЬНОГО ПЕРЕРІЗУ

WIND VORTEX SHEDDING IN TOWER BUILDINGS WITH SOLID- WEB CROSS-SECTION

**Нужний В.В., ст. викладач (Київський національний університет
будівництва і архітектури)**

**Nuzhnyj V.V., Senior Lecturer (Kyiv National University of
Construction and Architecture)**

Явище вихрового вітрового збудження є неодмінним проявом дії вітру для баштових споруд. Воно проявляється у вигляді коливань споруди у напрямку, перпендикулярному до дії вітру. В даній статті наведена коротка історія вивчення питання, які розрахункові положення і моделі використовуються на практиці. Наведені результати розрахунку чотирьох реальних конструкцій на вихрове збудження. Означені додаткові питання, які з'являються при розрахунку і проектуванні баштових конструкцій із врахуванням вихрового збудження, які потребують подальших досліджень, зокрема, для визначення параметрів розрахунку споруд на витривалість.

Manifestation of wind action for tower structures that have close cross-section width and depth dimensions in plan. It manifests itself in the form of oscillations of the building in the direction perpendicular to the wind. Vortex shedding occurs under the action of successive disruption of vortices from the edges of the structure, which causes damping oscillations under the action of inertial masses with the natural frequency of oscillations of the structure in one of three forms of natural oscillations, depending on the frequency and critical speed. The paradox is that engineering practice in Ukraine was first required to perform calculations on vortex excitation with the introduction of change 2 to DBN B.1.2-2:2006 in 2020, and the phenomenon itself remains little known to the general public of design engineers. This article provides a brief history of the study of the issue of which calculation provisions and models are used in practice. The theory of the process and the method of calculation of structures for vortex shedding are represented, as well as the results of the calculation of four real structures. For these structures, the level of forces is determined and the regularities of the simultaneous consideration of forces from the action of frontal wind and vortex excitation are indicated. Additional questions that arise in the calculation and design of tower structures taking into account vortex shedding are identified, which require further research, in particular, to determine the parameters of the calculation of structures for endurance. It was found that the influence of vortex shedding increases with the height and mass of buildings. For tower structures with a height of up to 15 m, the vortex excitation gives insignificant forces, only up to 3..5% of the forces of the frontal wind, with an increase in height up to 50 m, the forces increase to 40..50%. When several factors coincide, the manifestation of vortex excitation in the second and third forms of natural frequencies is possible, which can cause resonant forces.

Ключові слова: баштові споруди, квазистатична дія, вітрові пульсації, вихрове збудження, власна частота коливань

Keywords: tower buildings quasi-static action, wind pulsations, vortex shedding, natural oscillation frequency

Вступ

Явище вихрового збудження виникає у баштових спорудах при дії вітру і внаслідок послідовного зриву вихорів з кромek споруди спричиняє коливання споруди в напрямку, перпендикулярному до дії вітру. Коливання споруд відбувається за власними формами коливань, виникають при дії вітрів, швидкість яких перевищує певну критичну швидкість, характерну для кожної власної частоти і форми коливань. Коливання за першою власною частотою можуть відбуватися при дії вже помірних вітрів і є такими, що найбільш часто проявляються і можуть призводити до накопичення втоми в конструкціях. Коливання за другою і третьою власними частотами можуть призводити до появи резонансних зусиль. Саме вихрове збудження не є самостійним явищем і проявляється одночасно з дією фронтального вітру. Вперше в нормативних документах України пряме посилання на розрахунок конструкцій на вихрове збудження з'явився у зміні 2 до ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування» у 2020 р, де вказано що це явище є достатньо часто повторюваним, вимагає оцінки впливу на стійкість конструкцій проти втоми. Загалом явище вихрового збудження, його вплив на споруди є недостатньо висвітленим в Україні і залишається невідомим в інженерній практиці та потребує досліджень і систематизації. Також періодично трапляються аварії димових труб, зведених у 1960-х роках на теренах колишнього СРСР внаслідок проявів вихрового збудження. Тому дана тема є актуальною.

Аналіз останніх досліджень

Сучасні теорії визначення вітрового навантаження, аеродинаміки споруд базуються на дослідженнях, що проводилися з 1950-1960-х років [1,2,3,4] На рівні різних національних норм були розроблені розрахункові моделі, які полягають у квазистатичній дії вітру на споруду та динамічній реакції, коли випадкова частота пульсаційного пориву співпадає з власною частотою споруди і викликає резонансну динамічну реакцію.

Однак окрім динамічної реакції при дії фронтального вітру спостерігаються інші явища, які можуть носити небезпечний характер і їх аналіз впливів із розрахунковими схемами і методиками розрахунку додався пізніше. До таких явищ відносять вихрове збудження, флатер, галопування залежно від видів конструкцій, в яких це проявляється.

Темою даної статі є явище вихрового збудження у баштових спорудах, яке пов'язане нерозривно з явищем, відкритим Теодором фон Карманом у 1911 р., яке отримало визначення, як вихрова доріжка Кармана.

При дії вітру відбувається зрив вихорів то зліва то справа, який спричиняє коливання конструкції з частотою, близькою до власної (див. рис.1) у напрямку, перпендикулярному до дії вітру. Це відбувається із швидкістю, вищою за критичну для певної форми власних коливань.

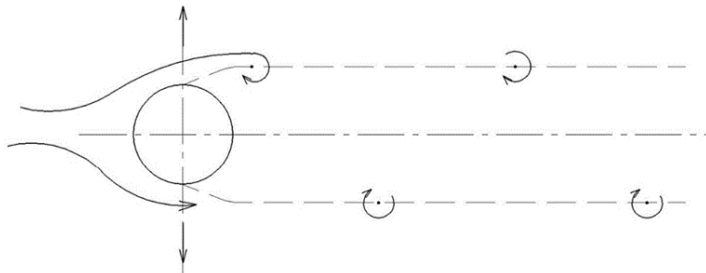


Рисунок 1 – Зрив вихорів з конструкції

Фактично для будь-якої баштової конструкції при дії вітру відбуваються коливання по одній із трьох форм власних частот у напрямку, перпендикулярному до дії вітру (див. рис. 2 і 3).

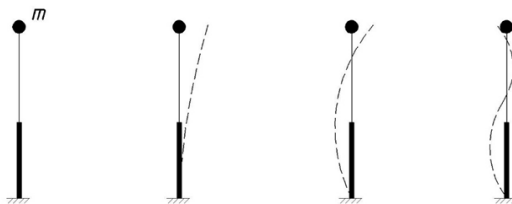


Рисунок 2 – Розрахункова схема і перші три власні форми коливань для баштових споруд



Рисунок 3 – Характер коливань споруди із проявом вихрового збудження за першою формою власних коливань

При вивченні вихрового збудження зазвичай модель споруди обдували в аеродинамічній трубці, визначали відхилення верхньої точки споруди у напрямку, перпендикулярному до дії вітру, і складали диференціальне рівняння автоколивань стержня. Таке рівняння має достатньо громіздкий розв'язок.

На теренах колишнього СРСР питанням вивчення ефекту вихрового збудження займалися з 1950-х рр. і у 1978 р. був виданий посібник «Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра», в якому міститься інформація про аеродинамічні дослідження в ЦНИИСК та ЦАГИ щодо вихрового збудження в циліндричних стрижнях при числі Рейнольдса $Re > 50$. В тому ж посібнику наведений аналіз, в яких випадках буде визначальною для розрахунку конструкцій дія фронтального вітру, а в яких – резонансного вихрового збудження і, зокрема, наведений розв'язок диференціального рівняння для другої форми власних коливань конічної залізобетонної димової труби. Було показано, що при прояві вихрового збудження за другою формою власних коливань зусилля в системі перевищують зусилля від дії фронтального вітру і є визначальними в системі. Але найбільш часті і найбільш чисельні за кількістю циклів виникають коливання за першою власною частотою, які в посібнику не розглядалися і було вказано лиш, що зусилля від даного прояву є незначними. При цьому питання циклічності, втомі конструкцій від вихрових збуджень вирішено не було. В СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» в п. 6.8 містилася вказівка розраховувати циліндричні у плані сталеві споруди за умови, що їх власна частота коливань не перевищує вказану граничну в таблиці 8 з прив'язкою до вітрових районів, однак без посилання на методики. При цьому вказівок щодо розрахунку конструкцій,

з перерізом, відмінним від круглого, не містилося. З відміною дії даного СНиП на території України питання розрахунку на вихрове збудження не було жодним чином внормоване тривалий час.

Дослідження вихрового збудження проводилися за кордоном і згідно огляду в праці [5] свій вклад внесли науковці університетів Генуї та Аахена. Зокрема, були розроблені спрощені інженерні методика обчислення вихрового збудження, які реалізовані в Єврокод EN 1991-1-4:2005 «Загальні дії. Вітрові навантаження», де запропоновано виконувати розрахунок за двома наближеними методиками. Одна методика застосовується для суцільностінчастих перерізів, а друга – для решітчастих систем, що продуваються вітром.

Постійно публікуються праці прикладного характеру, де вивчається вплив вихрового збудження на конкретні конструкції та удосконалюються методика розрахунку. Зокрема, в [6] досліджується прояв вихрового збудження на 88-ми метрову залізобетонну вежу «Лотос» в столиці Шрі-Ланки, досліджується її модель в аеродинамічній трубі, виконується аналіз її витривалості з врахуванням розкриття тріщин. У праці [7] досліджується вплив вихрового збудження на освітлювальну опору з врахуванням втрати. В праці [8] виконується аналіз 37.9 метрової вежі освітлення, збудованої в Німеччині, в якій можуть відбуватися вихрові збудження по всіх трьох формах власних коливань. при достатньо реалістичних усереднених швидкостях вітру 11,47 м/с та 19,03 м/с відповідно. Причому, зусилля від вихрового збудження за другою і третьою власними формами коливань є дуже значними і вказано на складнощі і недосконалість розрахунку подібних споруд на витривалість внаслідок важкості визначення кількості циклів подібних проявів. Особливо актуальною проблемою є вплив вихрового збудження на вітроенергетичні установки, в тому числі – з урахуванням турбулентних вітрових потоків, спричинених обертанням лопатей турбін [9, 10].

Мета і задачі дослідження

Баштові споруди широко застосовуються у сучасній інфраструктурі у вигляді опор освітлення, рекламних стел, телекомунікаційних веж, флагштоків, димових труб тощо і в силу регіонального аспекту в Україні вони не розраховувалися на вихрове збудження. Мета дослідження полягає у виявленні закономірностей впливу вихрового збудження на низку реалізованих баштових конструкцій. Конструкції мають різну висоту і

жорсткість, а також відповідають всім вимогам міцності, стійкості і жорсткості на фронтальний вітер згідно чинних норм. Задачами є виявлення власних частот коливань досліджуваних споруд, оцінка критичних швидкостей та потенційних форм власних коливань, розрахунок на вихрове збудження споруд і порівняння визначених зусиль із зусиллями від фронтального вітру, узагальнення і напрацювання рекомендацій щодо врахування одночасної дії фронтального вітру і вихрового збудження.

Методика досліджень

Дослідження споруд виконуються за методикою для розрахунку споруд на вихрове збудження за EN 1991-1-4:2005. Розрахунок на вихрове збудження ґрунтується на закономірностях амплітудного відхилення верху довгого елемента в турбулентному потоці повітря або рідини. Тому першим визначальним етапом є визначення амплітудного значення переміщень верхньої точки споруди з рівняння:

$$\frac{y_{F,max}}{b} = \frac{1}{St^2} \cdot \frac{1}{S_c} \cdot K \cdot K_w \cdot C_{lat},$$

де $y_{F,max}$ - амплітуда коливань;

S_t - число Струхалія;

S_c - число Скруттона, що визначає схильність конструкції до коливань в аеродинамічному середовищі і визначається за формулою:

$S_c = \frac{2 \cdot \delta_s \cdot m_{i,e}}{\rho \cdot b^2}$ де δ_s - логарифмічний декремент затухань, ρ - густина повітря, $m_{i,e}$ - приведена еквівалентна маса на одиницю довжини споруди.

b - ширина споруди у площині, перпендикулярній дії вітру;

K - коефіцієнт форми коливань;

K_w - коефіцієнт кореляції;

C_{lat} - коефіцієнт дії поперечної сили.

Після визначення амплітуди рекомендується визначати зусилля за формулою:

$$F_w(s) = m(s) \cdot (2 \cdot \pi \cdot n_{i,y})^2 \cdot \Phi_{i,y}(s) \cdot y_{F,max}$$

де: $m(s)$ - розподілена маса конструкції;

$n_{i,y}$ - власна частота коливань;

$\Phi_{i,y}(S)$ - функція форми коливань;

$Y_{F,max}$ - амплітуда коливань.

Навантаження при цьому необхідно прикладати за спрощеними еквівалентними схемами (див. рис 4).

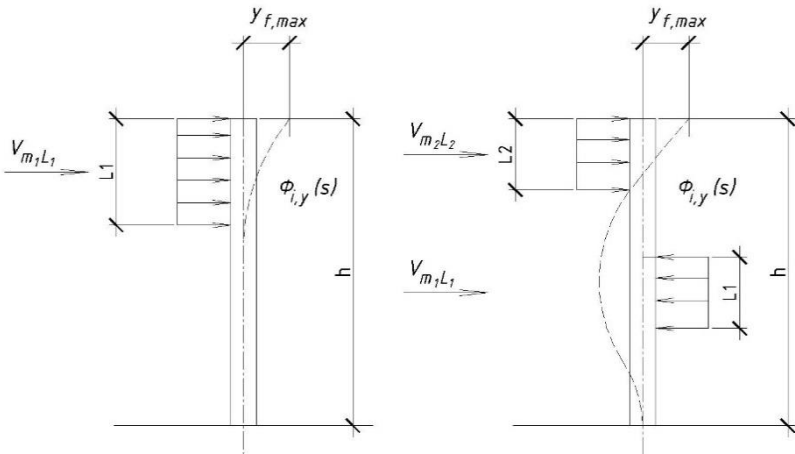


Рисунок 4 – Еквівалентні схеми прикладання інерційних мас для розрахунку баштових споруд на вихрове збудження за 1-ою і 2-ою формами власних коливань

Критична швидкість вітру, при якій відбувається вихрове збудження за і-формою власних коливань, визначається за формулою:

$$V_{cr,i} = \frac{n_i d}{S_t},$$

де n_i – і-та частота власних коливань, d – середній діаметр споруди, S_t – число Струхала, яке для перерізів з гострими кромками приймається 0,11. Навіть при наявності в системі ступінчастих конструкцій секцій круглих перерізів приймаємо число Струхала як для прямокутних перерізів.

У рамках дослідження проведений аналіз чотирьох реально реалізованих споруд – рекламних пілонів «Макдональдз» висотою 12,355

22, 25,575 м та флагштоку висотою 48 м. Креслення і геометрія споруд наведена на рис 5, 6, 7, 8.

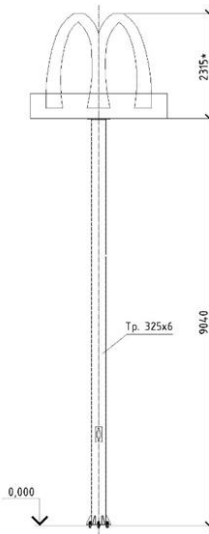


Рисунок 5 – Пілон «Макдональдз» висотою 12.355 м

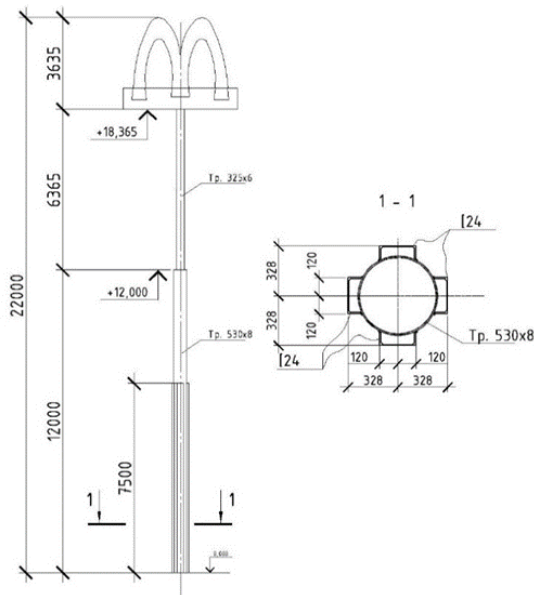


Рисунок 6 – Пілон «Макдональдз» висотою 22 м

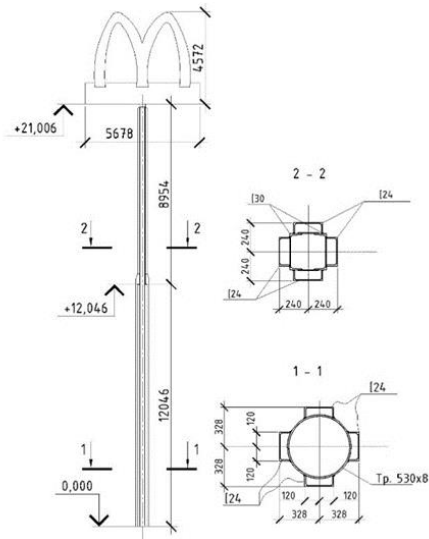


Рисунок 7 – Пілон «Макдональдз» висотою 25,575 м

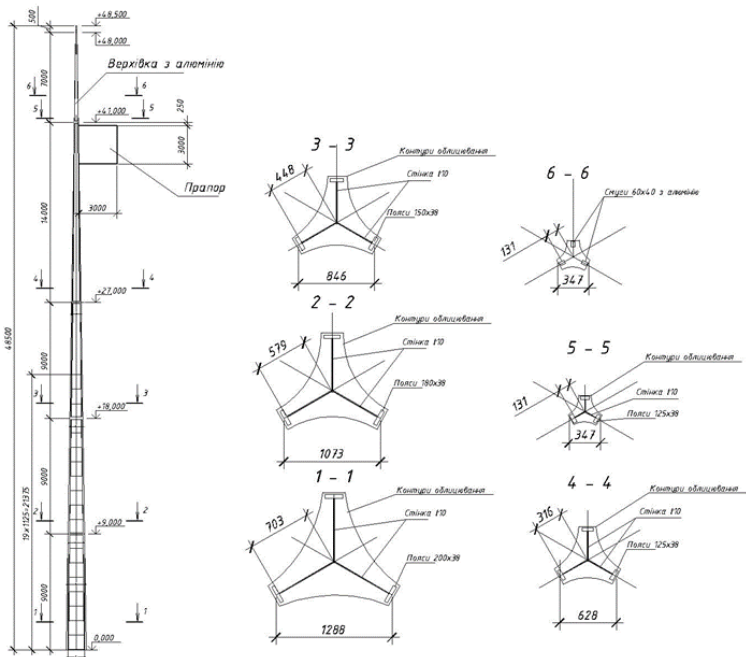


Рисунок 8 – Флагшток висотою 48 м

Результати досліджень баштових споруд на вихрове збудження

Власні періоди коливань по формах 1, 2, 3 розраховані модальним аналізом у програмному комплексі SCAD. Був проведений розрахунок критичної швидкості вихрового збудження, дані якого внесені до таблиць 1, 2, 3, 4. Цей розрахунок показав, що вихрове збудження найбільш ймовірно може відбуватися за першою власною формою коливань. Друга частота може виникати у флагштоці висотою 48 м при усередненій швидкості вітру 17,1 м/с. Третя форма коливань для даних споруд нереалістична в умовах вітру Київщини, де швидкість вітру не перевищує 25 м/с.

Таблиця 1 – Результати розрахунку на власні частоти коливань і критичні швидкості вихрового збудження для пілону 11,355 м

Частота коливань*, Гц	Критична швидкість м/с	Форма власних коливань
1,2	3,54	1 форма

*друга і третя частота виходять за межі резонансних і не враховуються при аналізі в SCAD.

Таблиця 2 – Результати розрахунку на власні частоти коливань і критичні швидкості вихрового збудження для пілону 22 м

Частота коливань, Гц	Критична швидкість м/с	Форма власних коливань
1,13	5,44	1 форма
6,4	30,8	Не відбувається
20,449	98.5	Не відбувається

Таблиця 3 – Результати розрахунку на власні частоти коливань і критичні швидкості вихрового збудження для пілону 25,575 м

Частота коливань, Гц	Критична швидкість м/с	Форма власних коливань
0,9751	5,82	1 форма
5,39	32	Не відбувається
16,61	99.2	Не відбувається

Таблиця 4– Результати розрахунку на власні частоти коливань і критичні швидкості вихрового збудження для флагштоку 48 м

Частота коливань, Гц	Критична швидкість м/с	Форма власних коливань
0,679	5,54	1 форма
2,09	17,1	2 форма
3,71	30,5	Не відбувається

Таким чином, автоколивання від вихрового збудження можуть відбуватися вже при дії слабкого та помірного вітру із швидкостями від 3,54 до 5,82 м/с і саме ці коливання можна визначити на практиці, спостерігаючи за спорудами пілонів і флагштоків. При чому вони обов'язково з'являються за будь-якої швидкості вітру, що вища за критичну, у тому числі при дії максимального за швидкістю вітру, характерного для даної місцевості. Тому вихрове збудження не слід враховувати як окреме явище. Зусилля і напруження від нього в площині, перпендикулярній до напрямку дії вітру, слід враховувати в сумі з зусиллями від фронтального вітру, у тому числі і максимального розрахункового, оскільки при дії пориву будь-якої сили одразу відбувається явище зриву вихорів з доріжкою Кармана і споруда входить в затухаючі коливання під впливом інерційних мас.

Розрахунок споруд на фронтальний вітер та вихрове збудження за першою власною формою за EN 1991-1-4:2005 внесений до таблиці 5. У порівнянні з дією фронтального вітру, зусилля від вихрового збудження складають для досліджуваних конструкцій від 2,9 до 43,5%

Таблиця 5 – Результати розрахунку конструкцій на вихрове збудження

Параметр	Розрахована конструкція			
	Пілон 11,355 м	Пілон 22 м	Пілон 25,572м	Флагшток 48 м
Момент в опорі від фронтального вітру M , кНм	47,4	323,9	483,0	857,7
Момент в опорі від вихрового збудження, M_w , кНм	1,404	43,6	75,4	373,25
$\frac{M_w}{M} \cdot 100\%$	2,9	13,5	15,6	43,5

Висновки

1. Вихрове збудження для баштових конструкцій є доволі серйозним фактором, який виникає незалежно від інтенсивності дії фронтального вітру на споруду за умови, що швидкість цього вітру перевищує критичну для

даної споруди. Рівень додаткових зусиль від вихрового збудження для досліджуваних конструкцій складає від 2,9 до 43,5% від зусиль при розрахунку на фронтальний вітер, однак згинальні моменти з'являються у площині, перпендикулярній до дії вітру. Вплив вихрового збудження збільшується нелінійно з висотою споруди і пояснюється збільшенням маси внаслідок збільшення жорсткості відповідно до зусиль при збільшенні висоти. Для споруд висотою до 15 м він незначний. Результати розрахунку на вихрове збудження слід додавати у вигляді векторної суми до розрахунків на фронтальний вітер, оскільки під час гіпотетичної дії максимального розрахункового пориву відбуваються вихрові зриви та проявляються коливання від вихрового збудження.

2. Інтенсивність коливань від вихрового збудження залежить від аеропружних характеристик системи, що виражені через число Скрутона, її власної частоти коливань, розподілу мас, загальної конфігурації, матеріалу та не залежить від швидкості фронтального вітру. Швидкість вітрового напору при цьому повинна перевищувати критичну.

3. Розраховані критичні швидкості вітрів вказують на те, що вихрові збудження у спорудах за першою формою власних коливань відбуваються вже при незначних вітрах – для досліджуваних споруд від 3,54 до 5,82 м/с, що свідчить про велику кількість коливальних циклів. Це питання потребує подальшого дослідження з точки зору встановлення обмеження напружень за межею витривалості.

4. Прояв вихрового збудження за другою і третьою формами власних частот також можливий при великих швидкостях вітрів і залежить індивідуально від параметрів конструкцій. Так, виявилось, що для досліджуваного флагштоку висотою 48 м можливий прояв вихрового збудження за другою формою власних коливань при рідко повторюваній швидкості вітру для м. Київ 17.1 м/с. Аналогічно в праці наведено, що в спорудах можуть виникати коливання за другою і третьою власними формами і при цьому зусилля перевищують зусилля від фронтального вітру. Оцінка періодичності проявлення таких коливань я з точки зору розрахунків на витривалість на багатоциклову втому ускладнюється тим, що необхідно проводити метеоспостереження для індивідуальних умов майданчика протягом досить тривалого часу, до 50 років. Тому, якщо споруди виключно мають функціональне призначення і їм властивий прояв вихрового збудження за другою і третьою власними формами коливань при реальному діапазоні вітрів для даної місцевості, то доцільно обмежувати прояв

вихрового збудження конструктивними заходами. До таких заходів відносяться маятники, наварювання лопатей і спіралеподібних загашувачів тощо.

References

1. . Davenport, A. G. The Application of Statistical Concepts to the Wind Loading of Structures. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 1961. –Vol.19 – p.449-47222.
2. Simiu E., Scanlan R.H. Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design. New York: John Wiley, 1996, 704 p.;
3. Pichugin S.F., Makhin'ko A.V. Vetrovaya nagruzka na stroitel'nyye konstruksii. Poltava: Izd-vo «ASMI», 2005, 342 s.;
4. Pichuhin S.F. Tendentsii rozvytku norm vitrovoho navantazhennia na budivelni konstruksii / S.F. Pichuhin // Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi: Zb. nauk. prats. Vyp. 18. – Lutsk: Luts. NTU, 2022. – S. 98 – 116. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-12](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-12)
5. Giosan, I. and Eng, P. (2007) Vortex Shedding Induced Loads on Free Standing Structures, Structural Vortex Shedding Response Estimation Methodology and Finite Element Estimation. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.582.3179>
6. Priyan Mendis, Shiromal Fernando, John Holmes, Tharaka Gunawardena, Yousef Abu-Zidan, Priyan Dias. Wind-induced fatigue analysis of Lotus Tower Mast. Nineteenth Australasian Wind Engineering Society Workshop, April 4-6, 2018, Torquay, Victoria
7. Vieira, D., Barros, R.C. Tubular steel lattice telecommunication towers, subjected to wind loading and vortex shedding (2017) COMPDYN 2017 - Proceedings of the 6th International Conference on Computational. Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, 2, pp. 3154-3162 https://doi.org/10.1007/978-981-19-2886-4_6
8. Rakočević, M., Popović, S.: Calculation procedure for determining wind action from vortex-induced vibration with verification of fatigue strength of steel structures, GRAĐEVINAR, 70 (2018) 9, pp. 793-809, <https://doi.org/10.14256/JCE.2125.2017>
9. Krishnappa, L., Sander, A., Thoben, K.-D. Aerodynamic Devices to Reduce/Suppress Vortex Induced Vibrations on a Wind Turbine Tower: A Review. (2022) Journal of Physics: Conference Series, 2265 (3), art. No. 032053 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2265/3/032053>
10. Wang, D., Zhao, Z., Liu, Y., Ma, Y., Liu, H., Chen, M. Study on vortex induced resonance mechanism between tower and blade of large wind turbine [Article@大型风力机塔筒与叶片涡激共振机理研究] (2023) Taiyangneng Xuebao/Acta Energiae Solaris Sinica, 44 (10), pp. 306-312. <http://doi.org/10.19912/j.0254-0096.tynxb.2022-084>

Література

1. Davenport, A. G. The Application of Statistical Concepts to the Wind Loading of Structures. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 1961. –Vol.19 – p.449-4722.
2. Simiu E., Scanlan R.H. Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design. New York: John Wiley, 1996, 704 p.;
3. Пичугін С. Ф., Махинько А. В. Ветровая нагрузка на строительные конструкции. – Полтава: Изд. АСМІ, 2005. 342 с.;
4. Пичугін С.Ф. Тенденції розвитку норм вітрового навантаження на будівельні конструкції / С.Ф. Пичугін // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: Зб. наук. праць. Вип. 18. – Луцьк: Луц. НТУ, 2022. – С. 98 – 116. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-12](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-12)
5. Giosan, I. and Eng, P. (2007) Vortex Shedding Induced Loads on Free Standing Structures, Structural Vortex Shedding Response Estimation Methodology and Finite Element Estimation. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.582.3179>
6. Priyan Mendis, Shiromal Fernando, John Holmes, Tharaka Gunawardena, Yousef Abu-Zidan, Priyan Dias. Wind induced fatigue analysis of Lotus Tower Mast. Nineteenth Australasian Wind Engineering Society Workshop, April 4-6, 2018, Torquay, Victoria
7. Vieira, D., Barros, R.C. Tubular steel lattice telecommunication towers, subjected to wind loading and vortex shedding (2017) COMPDYN 2017 - Proceedings of the 6th International Conference on Computational. Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, 2, pp. 3154-3162 https://doi.org/10.1007/978-981-19-2886-4_6
8. Rakočević, M., Popović, S.: Calculation procedure for determining wind action from vortex-induced vibration with verification of fatigue strength of steel structures, GRAĐEVINAR, 70 (2018) 9, pp. 793-809, <https://doi.org/10.14256/JCE.2125.2017>
9. Krishnappa, L., Sander, A., Thoben, K.-D. Aerodynamic Devices to Reduce/Suppress Vortex Induced Vibrations on a Wind Turbine Tower: A Review. (2022) Journal of Physics: Conference Series, 2265 (3), art. No. 032053 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2265/3/032053>
10. Wang, D., Zhao, Z., Liu, Y., Ma, Y., Liu, H., Chen, M. Study on vortex induced resonance mechanism between tower and blade of large wind turbine [Article@大型风力机塔筒与叶片涡激共振机理研究] (2023) Taiyangneng Xuebao/Acta Energiae Solaris Sinica, 44 (10), pp. 306-312. <http://doi.org/10.19912/j.0254-0096.tynxb.2022-084>

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНКЛЮЗИВНОСТІ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ ЛУЦЬКА

RESEARCH OF INCLUSIVENESS OF PUBLIC BUILDINGS IN LUTSK

**Парфентьєва І.О., к.т.н., доцент, Мельник Ю.А., к.т.н., доцент
Задорожнікова І.В., к.т.н., доцент, Степанюк В.О., студентка (Луцький
національний технічний університет)**

**Parfentieva I. O., Ph.D., Associate Professor, Menyk Yu. A., Ph.D.,
Associate Professor, Zadorozhnikova I.V., Ph.D., Associate Professor
Stepaniuk V. O., student (Lutsk National Technical University)**

Сучасне суспільство рухається у напрямку створення безбар'єрного середовища. Місто Луцьк як обласний центр повинно забезпечувати усім своїм жителям доступність до місць надання всіх видів послуг. Для забезпечення комфортного пересування містом необхідно передбачити облаштування будівель, пішоходних зон та вулиць спеціальними засобами і конструкціями. Дана стаття містить в собі обстеження вхідних груп громадських будівель на предмет інклюзивності та перевірку їх облаштування на відповідність діючим нормативним документам.

Modern society is moving in the direction of creating a barrier-free environment. Accessibility is the design of products, devices, services, vehicles, or environments to be usable by people with disabilities. The concept of accessible design and practice of accessible development ensures both "direct access" and "indirect access" meaning compatibility with a person's assistive technology. Social exclusion is the process in which individuals are blocked from (or denied full access to) various rights, opportunities, and resources normally available to members of a different group. These are fundamental to social integration and observance of human rights within that particular group. Accessibility modifications may be required to enable persons with disabilities to gain access to education, employment, transportation, housing, recreation, or even to exercise their right to vote.

In construction, accessibility involves the installation of such structural elements as ramps, doors with a width of more than 0,9 m, steps of the appropriate height and width, the installation of handrails on stairwells, information plates in Braille, tactile strips, etc. Several regulatory documents were developed to regulate accessibility in Ukraine.

The city of Lutsk, as a regional center, must provide all its residents with access to all types of services. During the war, the need to provide an accessible environment is very urgent. To ensure comfortable movement in the city, it is necessary to prepare the arrangement of buildings, pedestrian zones, and streets with special means and structures.

This article includes an inspection of the entrances of public buildings for accessibility and a check of their cladding for compliance with current regulatory documents. During the execution of the works, we measured the building structures and

made drawings using the received data. Then we analyzed the results of the inspection and compared them with the requirements of the current norms. As a result, recommendations were made for the reconstruction of the structures, which were erected with a violation.

Ключові слова: громадські будівлі, інклюзивність, доступність, МГН.

Keywords: public buildings, accessibility, people with disabilities.

Аналіз останніх досліджень. Згідно розділу 13 ДБН В.2.2-9:2018 Громадські будинки та споруди [1], у громадських будинках повинно бути передбачене безперешкодне і зручне переміщення осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення по ділянці установи, закладу чи підприємства.

Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 30.11.2018 № 327 затверджено нові ДБН В.2.2-40:2018 «Будинки і споруди. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення» [2]. Даний документ поширюється на проектування, будівництво нових та реконструкцію, реставрацію, капітальний ремонт та технічне переоснащення існуючих житлових будинків та громадських будівель та споруд, а також розумне їх пристосування з урахуванням потреб маломобільних груп населення (МГН).

Згідно діючих нормативних документів [3], доступність для МГН повинна забезпечуватися:

- фізичною можливістю і зручністю потрапляння та пересування об'єктом, прилеглою територією, отриманням послуг;
- наявність визначених місць для паркування автомобілів осіб з інвалідністю найближче до входу в будинок;
- фізичною безпекою при потраплянні на об'єкт та пересування в ньому, прилеглою територією, отриманням послуг;
- можливість вільного отримання інформації про об'єкт та послуги, що надаються;
- вільної навігації (орієнтування) по об'єкту та прилеглою територією;
- наявність доступного і пристосованого для МГН туалету;
- означення місцезнаходження (піктограми, інформаційні таблички, інформатори та покажчики).

В медіа неодноразово піднімалося питання недоступності будівель, призначених для загального користування, особам з інвалідністю та іншим МГН [4, 5]. Також в засобах масової інформації з'являлась інформація про високу оцінку вже оновлених і покращених конструкцій, що забезпечують інклюзивність [6, 7, 8].

Постановка задачі. Оскільки виконання вимог щодо інклюзивності поширюється на всі громадські будівлі, то було прийнято рішення про необхідність проведення обстеження окремих будівель Луцька для перевірки відповідності існуючого стану конструкцій діючим нормам. В рамках даного дослідження було проведено ряд візуально-інструментальних обстежень, метою яких стало визначення фактичного технічного стану та параметрів конструкцій і елементів вхідної групи приміщень окремих закладів. За результатами даних обстежень було складено технічний звіт та надано рекомендації щодо подальшої експлуатації приміщень.

Виклад основного матеріалу. Для проведення дослідження було обрано три заклади надання медичних послуг, що знаходяться в м. Луцьк.

Об'єкт №1. КП «Луцька міська клінічна стоматологічна поліклініка» є окремою двоповерховою будівлею, що розташована на вул. Степана Бандери, буд. 6 в м. Луцьку Волинської області.

Вхід до приміщень будівлі здійснюється через прибудовані до площадки ганку зовнішні сходи, далі через вхідні двері до основного приміщення. Площадка ганку відносно вулиці Степана Бандери розташована на висоті 0.6 м. Глибина сходинок становить 290 мм, висота – 145 мм та 160 мм. Ширина маршів сходів 1,4 м. Існуюче огородження сходів одноступеневе, поручні біля стіни будівлі відсутні.

Зовнішній пандус влаштований вздовж центрального фасаду будівлі. Пандус виконаний з бетону з покриттям поверхні керамічною плиткою. Зовнішнє огородження пандусу має два поручні на висоті 0,7 м та 0,9 м, а вздовж стіни один поручень на висоті 0,7 м. Поручні закінчуються на рівні довжини пандуса. Ширина пандусу в просвіті становить 1,2 м. Ухил пандусу складає 9,5%.

Підходи до сходів та пандусу з вулиці Степана Бандери викладені бруківкою. Тактильні смуги перед сходами та пандусом відсутні.

Пандус має один підйом довжиною 6.3 м. Вихід з пандуса влаштований на площадку ганку входу на відм. 0.000. Площадка ганку входу вздовж головного фасаду багатокутної форми глибиною 2,82 м виконана з монолітного бетону, облицьована керамічною плиткою. Накриттям ганку слугує перекриття другого поверху будівлі. Зовнішні двері входу у приміщення дерев'яні двостулкові, з шириною прорізу 1.4 м і шириною робочого полотна 0,8 м. Через двері ми потрапляємо до коридору стоматологічної поліклініки, який має ширину 2,3 м. Схема вхідної групи об'єкта №1 наведені на рис.1.

При обстеженні вхідної групи виявлені наступні конструктивні недоліки:

- ухил пандусу становить 9,5%;
- поручні огородження пандусу не відповідають вимогам;
- висота сходинок ганку становить 145 мм та 160 мм;

- ширина сходинок ганку становить 290 мм;
- одностороннє огороження сходів;
- тактильні смуги відсутні;
- вхідні двері зношені та потребують заміни;
- контрастне маркування прозорих дверей відсутнє;
- повноцінна і якісна інформація, яка дозволяє орієнтуватися в просторі відсутня.

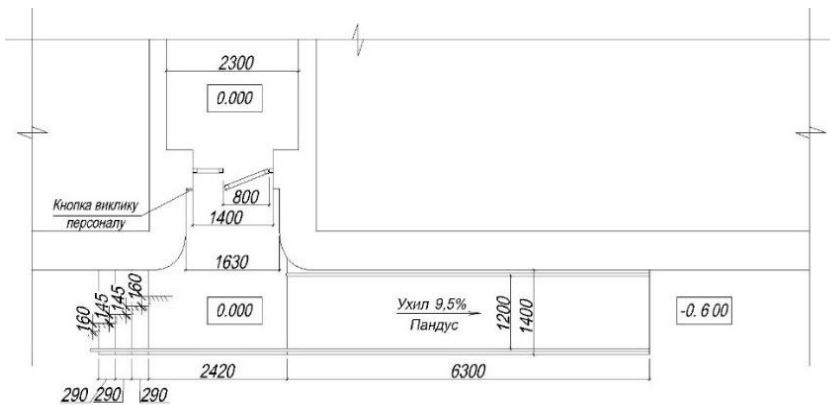


Рисунок 1 – Схема вхідної групи об'єкта №1

За результатами обстеження об'єкта №1 було встановлено обмежену можливість доступу для осіб з інвалідністю та інших МГН в приміщення КП «Луцька міська клінічна стоматологічна поліклініка». Ухил пандусу, огороження пандусу та сходів, відсутність тактильних смуг перед входом не відповідають вимогам нормативних документів. Відсутня повноцінна і якісна інформація, яка дозволяє орієнтуватися в просторі.

Для подальшої нормальної експлуатації КП «Луцької міської клінічної стоматологічної поліклініки» необхідно провести реконструкцію вхідної групи з урахуванням вимог:

- замінити пандус на новий, оскільки ширина існуючого не дозволяє влаштування двобічного огороження пандусу згідно норм. Змінити ухил пандуса за рахунок збільшення його довжини, його значення не повинно перевищувати 8%;
- влаштувати двобічне огороження пандуса з просвітом 1,2 м. Поручні від стіни будівлі встановити на відстані 0,04 м. В нижній частині стійок огороження пандусу встановити бортик висотою 0,05 м. Верхній і нижній поручні закріпити згідно норм. Завершальні частини верхнього і

нижнього поручнів повинні мати заокруглення та бути довші маршу пандуса на 0,3м;

- ширина сходинок ганку повинна бути не менше 0,4 м, а висота підйому сходинок повинна бути не більше 0,12 м, а також край сходинок не повинен виступати за рівень підсходинок;
- влаштувати систему брудозахисту на ганку розміром 1200 × 400 мм на віддаленні 400 мм від вхідних дверей;
- ганок, сходи та пандус обладнати протиковзаючими накладками;
- виконати контрастне маркування сходинок ганку, дверей, пандусу і огороження;
- влаштувати бетонну попереджувальну тактильну плитку розміром 400×400 мм перед сходами і пандусом;
- існуючі дерев'яні двері замінити на нові металопластикові з шириною робочого полотна 900 мм;
- склопакети робочих дверних полотен бронювати захисною протиударною плівкою;
- нанесення інформації на двері за допомогою кольорових наліпок.

Об'єкт №2. Стоматологічний кабінет знаходиться в частині приміщень першого поверху багатоповерхового житлового будинку на вул. Набережна, буд. 10, приміщення 160, в м. Луцьку Волинської області.

Зовнішній пандус влаштований паралельно до центрального фасаду будинку, з лівої сторони від ганку входу у приміщення. Пандус бетонний з покриттям поверхні бруківкою з шорсткою поверхнею. Ширина пандусу становить 1.6 м, в просвіті між поручнями - 1.2 м, пандус прилягає до прямокутника. Ухил пандусу складає 6%. Пандус та сходи мають двобічне огороження поручнями.

Підходи до входу у приміщення і на пандус викладені бруківкою. Перед сходами та перед пандусом наявні тактильні та маркувальні смуги.

Пандус має один підйом довжиною 4.0 м. Вихід з пандусу влаштований на площадку ганку входу на відм.0.000. Площадка ганку входу шириною 1.9 м і глибиною 2.95 м виконана з монолітного бетону і покрита бруківкою. Над площадкою влаштоване перекриття. Глибина сходинок становить 400 мм, висота – 120 мм. Зовнішні двері входу у стоматологічний кабінет двостулкові, з шириною прорізу 1.25 м і шириною робочого полотна 760 мм. Зліва від вхідних дверей наявна кнопка виклику персоналу.

В приміщенні стоматологічного кабінету на першому поверсі розташована універсальна кабіна туалету загального користування розмірами: ширина - 1,65 м, глибина – 1,77 м; двері завширшки 900 мм відчиняються назовні; кабіна туалету облаштована згідно норм.

Ширина коридору становить 1,56 м, двері до стоматологічних кабінетів завширшки 900 мм.

Схема вхідної групи об'єкта №2 з елементами та конструкціями, що забезпечують інклюзивність наведені на рис.2.

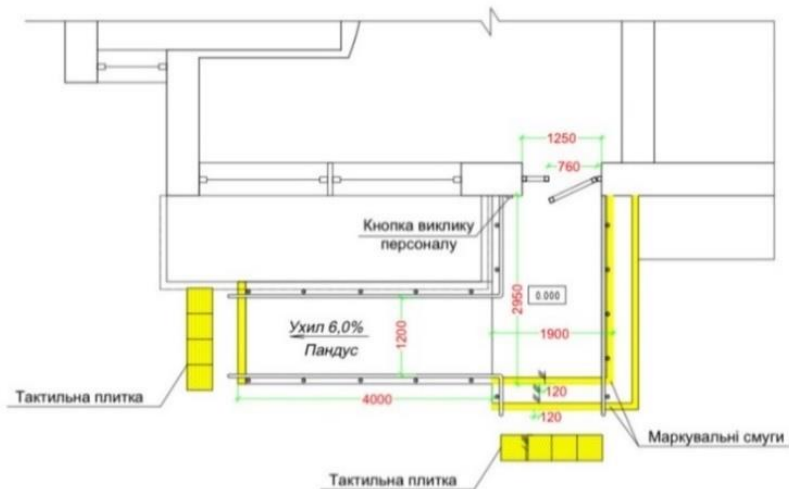


Рисунок 2 – Схема вхідної групи об'єкта №2

При візуальному обстеженні вхідної групи та приміщень стоматологічного кабінету конструктивних недоліків не виявлено.

Приміщення стоматологічного кабінету відповідає вимогам діючим нормам.

Об'єкт №3. Вхідна група, що обстежується, примикає до частини приміщень підвального поверху дев'ятиповерхового житлового будинку на вул. Відродження, 506 в м. Луцьк Волинської області.

Вхід до приміщення здійснюється через прибудоване до будинку приміщення, в якому влаштовані сходи і тамбур входу до робочих приміщень, розташованих в підвалі будинку. Розміри сходинок становлять 320×145(h) мм. Ширина сходової клітки в проєкті 1320 мм. Сходи мають поручні з обох боків.

Пандус входу до приміщення відсутній. Перед зовнішніми вхідними дверима влаштована сходинка шириною 320 мм та висотою 150 мм. Зовнішні вхідні двері двостулкові, з шириною прорізу 1050 мм і шириною робочого полотна 690 мм.

Вхід зі сходів до тамбуру здійснюється через одностулкові двері з шириною робочого полотна 780 мм. Тамбур розмірами в плані 3170 × 1180 мм. З тамбуру до основного приміщення вхід здійснюється через незаповнений проріз у зовнішній стіні будівлі розміром 1380 × 2500(h) мм. Підходи до входу у приміщення викладені бруківкою.

При обстеженні вхідної групи виявлені наступні конструктивні недоліки:

- пандус входу відсутній;
- висота сходинок становить 145 мм, ширина – 320 мм;
- вхідні двері мають сходинку висотою 0.15 м;
- робоче полотно дверей тамбуру шириною 780 мм;
- тамбур входу до приміщення глибиною 1.18 м;
- площадка сходів перед тамбуром входу з розмірами 1.32 × 2.17 м;
- тактильні смуги відсутні;
- кнопка виклику персоналу відсутня;
- контрастне маркування дверей відсутнє;
- повноцінна і якісна інформація, яка дозволяє орієнтуватися в просторі відсутня.

Конфігурація та розміри конструкцій існуючої вхідної групи об'єкта №3 показано на рис.3.

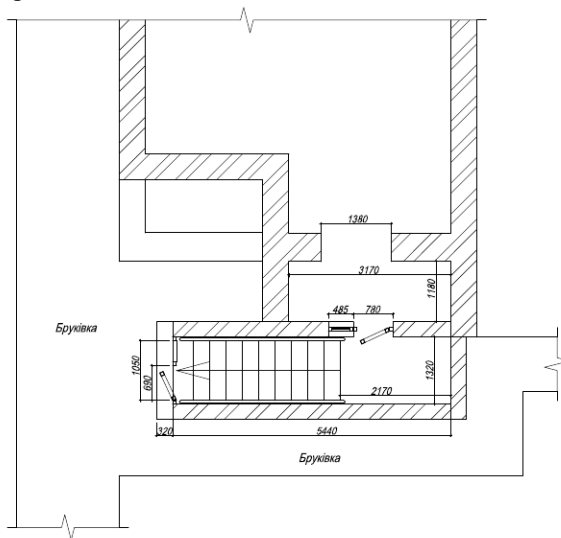


Рисунок 3 – Схема вхідної групи об'єкта №3

За результатами технічного обстеження об'єкта №3 було встановлено обмежену можливість доступу для осіб з інвалідністю та інших МГН в приміщення. Відсутність пандусу і тактильних смуг перед входом, ширина робочих полотен дверей, розміри тамбуру не відповідають вимогам норм. Відсутня повноцінна і якісна інформація, яка дозволяє орієнтуватися в просторі.

Для подальшої нормальної експлуатації приміщення необхідно провести реконструкцію вхідної групи з урахуванням вимог діючих будівельних норм (влаштувати пандус входу або підйомник та

реконструювати ганок входу з влаштуванням вхідного тамбуру згідно норм), що дозволить зробити приміщення доступним для маломобільних груп населення.

Висновок. Результати проведених обстежень трьох закладів у місті Луцьк показали, що дві із трьох громадських будівель є недоступними або незручними в користуванні для людей з інвалідністю або інших МГН. Лише стоматологічний кабінет по вул. Набережна, 10 отримав позитивний висновок про інклюзивність і відповідає вимогам діючих нормативних документів. Вхідні групи об'єктів Луцька міська клінічна стоматологічна поліклініка та вхідна група по вул. Відродження, 50б потребують реконструкції.

Для об'єктів з негативним висновком було розроблено список рекомендацій, виконання яких забезпечить відповідність вимогам і доступність для МГН.

References

1.SBR V.2.2-9:2018 Building and strukches. Public buildings and facilities. Basic provisions: Kyiv: the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2019.

2.Order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine No. 237 of 30.11.2018

3.SBR V.2.2-40:2018 Includziya of buildings and strukches. Substantive provisions: Kyiv: Order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2018.

4.About accessibility of public buildings and support for children with disabilities [Digital source] .– Access: <https://new.volynrada.gov.ua/2023/pro-inklyuzyvnyist-publichnyh-budivel-ta-pidtrymku-ditej-z-invalidnistyu/>

5.Available Lutsk. About accessibility of the regional center of Volyn [Digital source] .– Access: <https://12kanal.com/dostupnyj-lutsk-pro-inklyuzyvnyist-oblasnogo-tsentru-volyni/>

6.The Lutsk District Police Department was checked for accessibility [Digital source]. – Access: <https://lutsk.rayon.in.ua/news/635035-lutske-rayonne-upravlinnya-politsii-perevirili-na-inklyuzivnist>

7.How to make residential buildings accessible to people with disabilities in Lutsk [Digital source] .– Access: <https://volynonline.com/yak-u-luczku-roblyat-dostupnymy-dlya-lyudej-z-invalidnistyu-zhytlovi-budynky/>

8.Representatives of international charitable organizations highly appreciated the accessibility of communal facilities in the Lutsk district [Digital source] .– Access: <https://www.volyn.com.ua/news/267249-u-lutskomu-raioni-predstavnyky-mizhnarodnykh-blahodiinykh-orhanizatsii-vysoko-otsinyly-inklyuzyvnyist-komunalnykh-zakladiv>

Література

1. ДБН В.2.2-9:2018 Громадські будинки та споруди. Основні положення Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. 49с.

2. Наказ від 30.11.2018 № 327 «Про затвердження ДБН В.2.2-40:2018 Будинки і споруди. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення»: Київ: міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України

3. ДБН В.2.2-40:2018 Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. Із Зміною № 1: Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. 64с.

4. Про інклюзивність публічних будівель та підтримку дітей з інвалідністю [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://new.volynrada.gov.ua/2023/pro-inklyuzyvnist-publichnyh-budivel-ta-pidtrymku-ditej-z-invalidnistyu/>

5. Доступний Луцьк. Про інклюзивність обласного центру Волині [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://12kanal.com/dostupnyj-lutsk-pro-inklyuzyvnist-oblasnogo-tsentru-volyni/>

6. Луцьке районне управління поліції перевірили на інклюзивність [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lutsk.rayon.in.ua/news/635035-lutske-rayonne-upravlinnya-politsii-perevirili-na-inklyuzivnist>

7. Як у Луцьку роблять доступними для людей з інвалідністю житлові будинки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://volynonline.com/yak-u-luczku-roblyat-dostupnymy-dlya-lyudej-z-invalidnistyu-zhytlovi-budynky/>

У Луцькому районі представники міжнародних благодійних організацій високо оцінили інклюзивність комунальних закладів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.volyn.com.ua/news/267249-u-lutskomu-raioni-predstavnyky-mizhnarodnykh-blahodiinykh-orhanizatsii-vysoko-otsinyly-inklyuzyvnist-komunalnykh-zakladiv>

РОЗВИТОК ЄВРОПЕЙСЬКИХ НОРМ NZEB ТА ЇХ ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ В БУДІВЕЛЬНІ НОРМИ УКРАЇНИ

DEVELOPMENT OF EUROPEAN NZEB STANDARDS AND THEIR IMPLEMENTATION IN UKRAINIAN BUILDING CODES

**Пахолук О.А., к.т.н., доц., Задорожнікова І.В., к.т.н., доц.,
Чапюк О.С., к.т.н., доц., Хомик С.М., магістр (Луцький національний
технічний університет)**

**Pakholiuk O.A., Ph.D., Associate Professor, Zadorozhnikova I.V.,
Ph.D., Associate Professor, Chapiuk O.S., Ph.D., Associate Professor,
Khomyk S.M., master (Lutsk National Technical University)**

Питання енергетичної безпеки в світі актуальні протягом багатьох десятиліть. Для регулювання цієї сфери у будівництві видано значну кількість нормативних та законодавчих документів. Європейський Союз вирішує такі питання шляхом ухвалення та реалізації відповідних директив.

Наразі документ "Імплементация EPBD в Україні" знаходиться на етапі розробки. Однак проведені дослідження спрямовані на порівняння положень цього документу за прикладом Польщі за 2016 та 2020 роки з нашим майбутнім документом, а також діючими нормами в сфері енергоефективності.

In order to fulfill the requirements of the Kyoto Protocol to reduce CO2 emissions by 8% by 2012 compared to 1990, including through improving energy efficiency and using renewable energy sources in buildings, the European Union developed Directive 2002/91/EC. It was adopted by the European Parliament and the Council of the European Union on December 16, 2002. Implementation by EU countries was to take place by January 4, 2006. The name of the document is the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD).

Directive 2002/91/EC was replaced by the so-called "recast EPBD Directive" approved on 19.05.2010 and entered into force on 18.06.2010. It changed its name to "Directive 2010/31/EU" and focused on near-zero energy buildings, cost-effective minimum energy performance requirements, and improved policies. The original Energy Performance of Buildings Directive (EU/2010/31) was amended in 2018 as part of the Clean Energy for All Europeans package.

To implement the provisions of the Energy Performance of Buildings Directive No. 2010/31/EU in 2017, the Law on Energy Efficiency of Buildings was adopted, which introduced certification of buildings.

The link between the ideology of the Law "On Energy Efficiency of Buildings" and European Directive 2010/30/EU is to encourage systematic analysis of building certification and to identify specific recommendations for reducing energy consumption. According to this law, newly constructed and existing buildings must undergo energy efficiency certification to determine their actual energy efficiency performance. This

includes assessing the compliance of these indicators with the established minimum energy efficiency requirements, as well as developing recommendations for improving the level of energy efficiency.

Ключові слова: EPBD, REPowerEU, NZEB, енергоефективність.

Keywords: EPBD, REPowerEU, NZEB, energy efficiency.

Відповідно до вимог Кіотського протоколу щодо зменшення викидів CO₂ до 2012 року на 8% порівняно з 1990 роком, Європейський Союз прийняв Директиву 2002/91/ЕС, спрямовану на поліпшення енергоефективності та використання відновлюваних джерел енергії в будівництві. Ця директива була ухвалена Європарламентом та Радою Євросоюзу 16 грудня 2002 року з метою впровадження до 4 січня 2006 року. Вона стала відома як «Директива про енергетичне функціонування будівель» (EPBD).

У 2002 році понад 40% використаної енергії у Євросоюзі припадало на існуючі будівлі, аналогічно до України, де цей сектор також зростає, що призводить до збільшення споживання енергії та викидів CO₂.

Офіційний переклад назви директиви на українську мову («Директива Європейського Парламенту та Ради від 16 грудня 2002 року щодо енергетичних характеристик будівель») не відображає повністю зміст оригінальної назви [1]. Це призвело до втрати можливості введення нового поняття «енергетичне функціонування будівель» українським законодавством, яке було запропоноване директивою та дозволяло оцінювати ефективність використання енергії протягом усього періоду експлуатації будівлі.

Директива 2002/91/ЕС замінена «новою редакцією Директиви EPBD», прийнятою 19 травня 2010 року та набула чинності 18 червня 2010 року. Нова директива, відома як «Директива 2010/31/ЕС», сконцентрувалась на будівлях майже з нульовим споживанням енергії, оптимальних за вартістю рівня мінімальних вимог до енергоефективності та політиці стосовно них [2].

Стартова Директива про енергетичну ефективність будівель (EU/2010/31) була переглянута в рамках пакету «Чиста енергія для всіх європейців» у 2018 році. Згідно з цим пакетом, з 2021 року всі нові будівлі повинні бути будівлями майже з нульовим споживанням енергії (NZEB).

У жовтні 2020 року Європейська Комісія представила стратегію «Хвиля реновації» в рамках Європейського зеленого курсу, яка включає план дій з фінансовими, регуляторними та стимулюючими заходами для прискорення термореновації будівель.

У грудні 2021 року Комісією запропоновано переглянути Директиву про енергетичну ефективність будівель (COM/2021/802), щоб врахувати

вищі амбіції та нагальні потреби в кліматичних та соціальних діях, а також надати країнам ЄС гнучкість для подолання різниць у будівельних фондах Європи.

REPowerEU - це план Європейської Комісії щодо відмови від споживання російського викопного палива до 2030 року у зв'язку з російським вторгненням в Україну у 2022 році. У рамках цього плану передбачено повне припинення імпорту вугілля з Росії до ЄС з 10 серпня 2022 року, нафти - до кінця 2022 року, а обсяги імпорту газу зменшити втричі до кінця 2022 року [3].

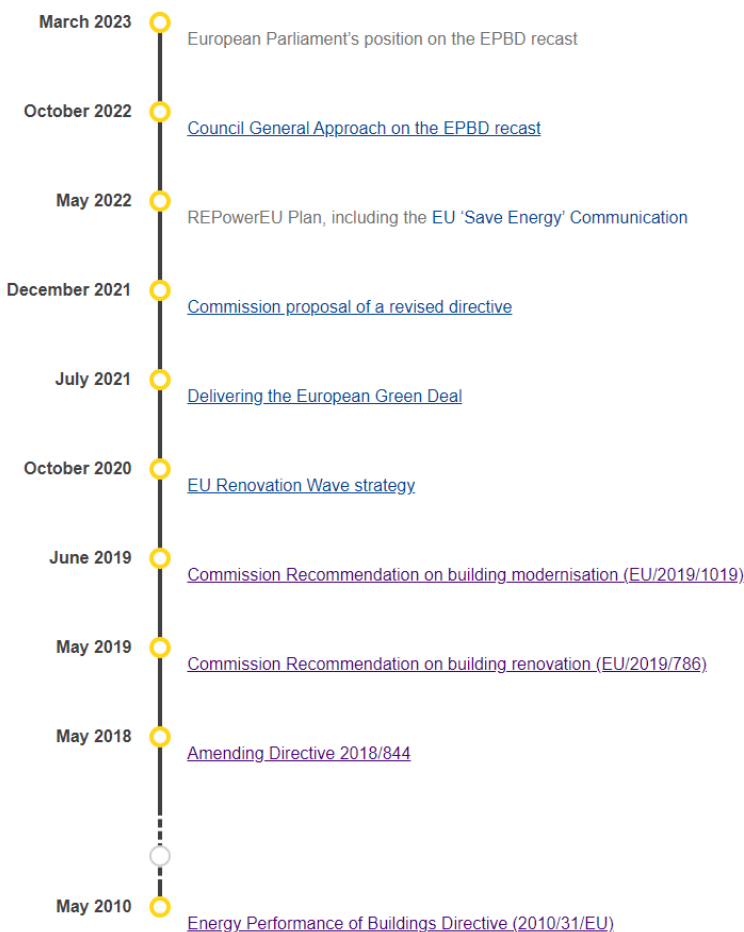


Рисунок 1 - Хронологія змін Директиви

Правові засади для імплементації директив ЄС щодо енергетичної ефективності в законодавство України визначені у ряді документів [4 - 8]. Для трансформації положень Директиви про енергетичну ефективність будівель № 2010/31/ЄС у 2017 році був ухвалений закон «Про енергетичну ефективність будівель», що передбачав впровадження сертифікації будівель.

Останні зміни до цього закону ввели поняття «Будівля з близьким до нульового рівня споживання енергії» [9] (NZEB) та визначено передумови для розробки, а також реалізації національного плану щодо збільшення кількості таких будівель і стратегії термомодернізації.

1 грудня 2022 року було представлено фінальний звіт проекту «Технічні рекомендації для проектів нового будівництва будівель з близьким до нульового рівня споживання енергії в Україні» і проведено його обговорення. Захід провели іС Consulentes Україна спільно з Міністерством розвитку громад та територій України [10].

Документ «Імплементація EPBD в Україні» наразі перебуває на стадії розробки. Проте ми намагатимемося порівняти засади такого документу за прикладом Польщі (2016 та 2020 роки) із нашим перспективним документом, а також з чинними нормами в сфері енергоефективності.

Індекс енергоефективності визначає річну потребу у невідновлюваній енергії на опалення, вентиляцію, охолодження та ГВП. Для колективних, промислових, складських і тваринницьких будівель додатково враховують потребу на вбудоване освітлення.

Максимальне значення індексу енергоефективності визначають за методикою розрахунку енергетичних характеристик будівель і вимірюють у [кВт-год/(м²-рік)]. Він повинен бути нижчим за значення, розраховане для будівлі за формулою із §329, пункт 1 або 3. Максимальні значення для частин індексу енергоефективності зазначені у пункті 2 цього ж параграфу.

Аналіз документів показав, що максимальні значення для частин індексу енергоефективності застосовуються у тих самих категоріях споживання енергії.

Порівнюючи гранично допустимі значення первинної енергії на опалення, вентиляцію та ГВП за нормами Польщі, бачимо значне підвищення вимог до енергоефективності.

Динаміка змін гранично допустимого значення первинної енергії для частин індексу енергоефективності із 2021 р. у порівнянні з 2017 р. відображена на рисунку 2.

Відсоток зменшення гранично допустимого значення цього показника із 2021 р. у порівнянні з 2017 р. поданий на рисунку 3. Таким чином, середнє зростання вимог до споживання за первинною енергією склало близько 24 %.



Рисунок 2 - Зменшення гранично допустимого значення первинної енергії для частин індексу енергоефективності, кВт-год/(м²-рік) у Польщі



Рисунок 3 - Відсоток зменшення гранично допустимого значення первинної енергії для частин індексу енергоефективності, кВт-год/(м²-рік) у Польщі при переході до стандарту NZEB

Аналіз даних по **максимально допустимих значеннях первинної енергії** для частин індексу енергоефективності за польськими нормативними документами та проектом українських відповідників показав, що між класифікацією типів будівель є певні відмінності. Також **значення цього показника** частково мають різне наповнення.

До того ж, в українських нормах відсутні допустимі значення енергоспоживання у розрізі промислових та сільськогосподарських будівель.

Порівняння існуючих норм енергоефективності в Україні з проектними для будівель NZEB допомагає нам отримати уявлення про те, наскільки великі різниці в цих показниках існують і як вони можуть впливати на практичне впровадження енергоефективних рішень. Хоча самі показники можуть відрізнятись, збіг типології будівель дає можливість принаймні орієнтовно порівняти їх енергоефективність.

Аналіз норм будемо виконувати з опиранням на польські дані по 2021 р. оскільки вони є актуальними і значно жорсткішими від попередніх. Дані українських проектних норм беремо за значеннями для 1-ї температурної зони.



Рисунок 4 - Гранично допустимі значення первинної енергії, кВт·год/(м²·рік) у Польщі та Україні (проект норм)

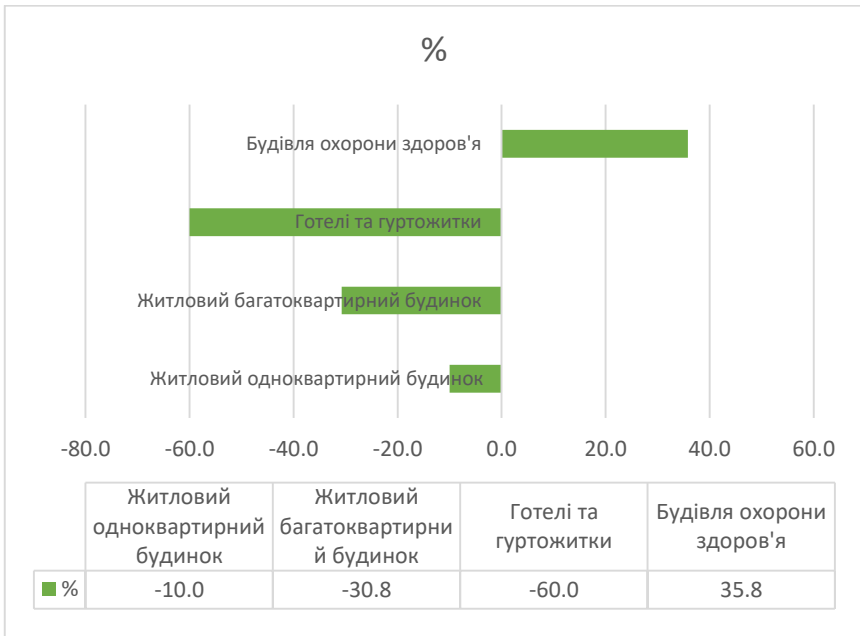


Рисунок 5 - Відсоток зміни максимального значення первинної енергії у Польщі та Україні (проект) при впровадженні стандарту NZEB

При порівнянні польських та українських норм стосовно первинної енергії на охолодження, а також освітлення, можемо спостерігати таку картину. В українських нормах окремі значення стосовно первинної енергії ні на охолодження, ні на освітлення не передбачені. Порівняно з 2016 роком польські норми зменшились вдвоє.

Таким чином, обладнання, що забезпечує відповідну послугу, повинно бути вдвоє енергоефективнішим.

Значення коефіцієнта теплопередачі для прозорих і непрозорих будівельних конструкцій у польських та українських нормативних документах збігаються.

Висновки

1. Усі розвинені нації світу старанно працюють над забезпеченням енергетичної незалежності своїх країн.
2. Країни-члени Європейського союзу постійно актуалізують та дотримуються загальної стратегії у сфері енергетики, враховуючи національні особливості та геополітичні умови.

3. Країни ЄС переглядають норми енергоефективності через декілька років, щоразу змінюючи їх відповідно до найсуворіших стандартів.
4. Україна впроваджує європейські стандарти та політики у своє законодавство.
5. Вимоги до споживання за первинною енергією NZEB будівель зросли на 24% порівняно з 2016 роком.
6. Український проект вимог до NZEB за показниками енергоефективності не збігається на 100% з аналогічними в Польщі. В середньому вони на 16% гірші відпольських.
7. Вимоги до коефіцієнта теплопередачі як прозорих, так і непрозорих огорожувальних конструкцій NZEB будівель зросли на 15% з 2016 року. Норми, закладені в українському проекті NZEB є на 22% вищими від польських.

References

1. European Union legislation translated into Ukrainian. URL: <https://web.archive.org/web/20090725223004/http://eurodocs.sdla.gov.ua/DocumentView/tabid/28/ctl/Edit/mid/27/ID/10005058/Lang/Default.aspx> (call date: 01.11.2023).
2. Energy. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en (дата звернення: 01.11.2023).
3. Climate change: EU unveils plan to end reliance on Russian gas. URL: <https://www.bbc.com/news/science-environment-60664799> (call date: 01.11.2023).
4. Law of Ukraine No. 2787-VI of December 15, 2010 “On Ratification of the Protocol on Ukraine's Accession to the Treaty Establishing the Energy Community”.
5. Law of Ukraine of March 18, 2004, No. 1629-IV “On the National Program of Adaptation of Ukrainian Legislation to the Legislation of the European Union”.
6. Decision of the Council of Ministers of the Energy Community of December 18, 2009 D/2009/04/MC-EnC “On the Accession of Ukraine to the Energy Community Treaty”.
7. Decision 2009/05/MC-EnC of the Ministerial Council of the Energy Community of December 18, 2009 (as amended by Decision 2010/02/MC-EnC of September 24, 2010).
8. Recommendation of the Council of Ministers of the Energy Community of October 24, 2013 on Energy Efficiency No. 2013/XX/MS-EnC.
9. LAW OF UKRAINE ON ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text> (call date: 01.11.2023).
10. Presentation of technical recommendations for new buildings with close to zero energy consumption in Ukraine. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/vidbulas-prezentatsiia-tekhnichnykh-rekomendatsii-dlia-novykh-budivel-z-blyzkym-do-nulovoho-rivnem-spozhyvannia-enerhii-v-ukraini> (call date: 01.11.2023).

Література

1. Законодавство Європейського Союзу, перекладене на українську мову. URL: <https://web.archive.org/web/20090725223004/http://eurodocs.sdla.gov.ua/DocumentView/tabid/28/ctl/Edit/mid/27/ID/10005058/Lang/Default.aspx> (дата звернення: 01.11.2023).
2. Energy. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en (дата звернення: 01.11.2023).
3. Climate change: EU unveils plan to end reliance on Russian gas. URL: <https://www.bbc.com/news/science-environment-60664799> (дата звернення: 01.11.2023).
4. Закон України № 2787-VI від 15 грудня 2010 р. “Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного співтовариства”.
5. Закон України від 18 березня 2004 року № 1629-IV “Про Загальнодержавну програму адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу”.
6. Рішення Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства від 18 грудня 2009 р. D/2009/04/MC-EnC “Про приєднання України до Договору Енергетичного Співтовариства”.
7. Рішення Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства 2009/05/MC-EnC від 18 грудня 2009 р. (із змінами, внесеними Рішенням 2010/02/MC-EnC від 24 вересня 2010р.)
8. Рекомендація Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства від 24 жовтня 2013 року “Про енергетичну ефективність” № 2013/XX/MC-EnC.
9. ЗАКОН УКРАЇНИ Про енергетичну ефективність будівель. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text> (дата звернення: 01.11.2023).
10. Відбулася презентація технічних рекомендацій для нових будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії в Україні. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/vidbulas-prezentatsiia-tekhnichnykh-rekomendatsii-dlia-novykh-budivel-z-blyzkym-do-nulovoho-rivnem-spozhyvannia-enerhii-v-ukraini> (дата звернення: 01.11.2023).

ОЦІНЮВАННЯ ТЕРМОСТАБІЛЬНОСТІ АДГЕЗІЙНИХ ДОБАВОК

EVALUATION OF THERMAL STABILITY OF ADHESION ADDITIVES

Пиріг Я.І., к.т.н., с.н.с. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків)

Pyrig Y.I., Ph.D. in Engineering, S. Researcher (Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv)

В статті розглянуто методи оцінювання термостабільності адгезійних добавок, які застосовуються для підвищення адгезійних властивостей бітумних в'язучих. На основі експериментальних даних встановлена різниця між значеннями зчеплюваності бітумних в'язучих, модифікованих адгезійними добавками, зістареними різними стандартним методами короткострокового старіння. Запропоновано використовувати для зістарювання бітумів, модифікованих адгезійними добавками, метод RTFOT.

High adhesive properties of bituminous road binders are the key to satisfactory water resistance of asphalt pavements and their durability. Petroleum bitumen, which is currently used in the road industry in Ukraine, is usually characterized by low adhesion to the surface of stone materials. The most common method to improve the adhesive properties of road bitumen is to modify them with adhesive additives. One of the main requirements for additives is their thermal stability, which is determined by the change in the adhesive properties of the modified bitumen after its aging by the method of short-term aging. The study aims to evaluate the effect of the short-term aging method on the thermal stability of bitumen binders modified with adhesive additives. To achieve this goal, we compared the adhesion values of bitumen modified with various adhesive additives aged by the RTFOT method and the domestic method, which is analogous to the TFOT method. For the study, road bitumen modified with adhesive additives used in the road industry of Ukraine was used. Based on the experimental data, it was found that the aging method has almost no effect on the adhesion of the original bitumen used for modification with adhesive additives - the difference in adhesion to the glass surface of bitumen prepared by the RTFOT method and the TFOT method is on average 6.8 %. At the same time, the adhesion of binders modified with adhesive additives, after curing by the RTFOT method, is on average 1.2 times higher than the adhesion of binders cured by the TFOT analog method, and the maximum difference in adhesion values reaches 2.5 times. Based on this, it was found that one of the main factors in reducing the thermal stability of adhesive additives used to modify road bitumen is the duration of the binder's exposure to high process temperatures. Given this, it is advisable to introduce a requirement to determine the adhesion of bitumen modified with adhesive additives after curing by the TFOT method in SOU 45.2-00018112-067 and DSTU 9187. In addition, it is desirable to amend the requirements that establish the minimum permissible adhesion values of bitumen modified with adhesive additives, which are given in SOU 45.2-00018112-067.

Ключові слова: в'язкий бітум, адгезійна добавка, зчеплюваність, старіння, термостабільність.

Keywords: viscous bitumen, adhesive additive, adhesion, aging, thermal stability.

Вступ. Зчеплюваність бітумних в'язучих з поверхнею кам'яних матеріалів є одним з найважливіших показників, що дозволяє оцінювати водостійкість асфальтобетонних покриттів та певною мірою прогнозувати їх довговічність.

На даний час практично всі в'язкі дорожні бітуми, що використовуються у вітчизняній дорожній галузі для приготування бітумних в'язучих та виготовлення асфальтобетонних сумішей, характеризуються низькими адгезійними властивостями. Найбільш поширеним засобом підвищення адгезійних характеристик бітумних в'язучих є модифікація їх адгезійними добавками.

Номенклатура адгезійних добавок, що застосовуються у вітчизняній дорожній галузі, представлена переважно катіоноактивними добавками на основі амінів як імпортного, так і вітчизняного виробництва, хоча останнім часом певного поширення набувають добавки на основі органосиланів та поліфосфорної кислоти.

До основних вимог, що висуваються до добавок, належить здатність підвищувати зчеплюваність бітумних в'язучих з поверхнею кам'яних матеріалів різної мінералогії та термостабільність добавок під час витримування в'язучих за високих технологічних температур [1, 2]. Остання вимога є особлива важливою, оскільки тривалий вплив високих температур (140 – 160 °С), наприклад, під час витримування в'язучого в робочому котлі при приготуванні асфальтобетонних сумішей, зазвичай призводить до руйнування адгезійних добавок, внаслідок чого адгезійні властивості в'язучих можуть знижуватися до рівня немодифікованого бітуму.

Аналіз публікацій. Термостабільність адгезійної добавки може бути оцінена за зміною адгезійних властивостей модифікованого бітуму, після зістарювання його методом короткострокового старіння.

Згідно вимог, наведених в ДСТУ 9187 [3], показник термостабільності кількісно може бути визначено за формулою (1):

$$T = Z_1 - Z_2, \quad (1)$$

де Z_1 – зчеплюваність, визначена методом наведеним в ДСТУ 9187, бітуму, модифікованого адгезійною добавкою, зі щебнем, в балах, до зістарювання методом RTFOT,

Z_2 – зчеплюваність, визначена методом наведеним в ДСТУ 9187, бітуму, модифікованого адгезійною добавкою, зі щебнем, в балах, після зістарювання методом RTFOT.

Система оцінювання термостабільності, запропонована в ДСТУ 9187, має недоліки, а саме:

- двоетапне оцінювання зчеплюваності – на першому етапі візуально визначається ступень збереженості півки бітумного в'язучого на поверхні щебеню у відсотках (від 0 % до 100 %), а на другому етапі отримана оцінка у відсотках переводиться в бали (від 2 до 5 балів з кроком в 0,5 балів). Ця суб'єктивна система оцінювання характеризується значними похибками, які можуть виникати як на етапі безпосереднього оцінювання зчеплюваності, так і під час округлення отриманих даних;

- відносність показника термостабільності, який не дає уявлення про кінцевий рівень зчеплюваності, оскільки значення термостабільності в 0,5 балів відповідає як зниженню зчеплюваності з 5 до 4,5 балів, так і з 4 до 3,5 балів;

- зістарювання модифікованого в'язучого здійснюється лише методом RTFOT.

Враховуючи вищенаведені недоліки, є більш доцільним за кільцевий результат зчеплюваності приймати не бали, а відсоток збереженості півки в'язучого на поверхні мінерального зразка, що використовується у випробуванні, та застосовувати для оцінювання термостабільності показник, запропонований у [4]:

$$P_T = \frac{C_{до} - C_{після}}{C_{до}} \cdot 100, \quad (2)$$

де $C_{до}$ – значення зчеплюваності в'язучого до старіння, %;

$C_{після}$ – значення зчеплюваності в'язучого після старіння, %.

Щодо методу зістарювання, то на даний час у вітчизняній дорожній галузі є стандартизованими два методи короткострокового старіння – TFOT, що нормується згідно положень ДСТУ EN 12607-2 [5] та RTFOT, що нормується згідно ДСТУ EN 12607-1 [6]. Тривалий час в Україні діяв метод старіння згідно з ГОСТ 18180 «Бітуми нафтові. Метод визначення зміни маси після прогріття», який було скасовано в січні 2020 р. За основними умовами проведення випробування (температура, час витримання зразків, товщина шару бітуму та інше) даний метод є практично ідентичним до методу старіння TFOT.

Згідно сфери застосування методів короткострокового старіння: метод, що нормувався стандартом ГОСТ 18180, моделює старіння в'язучих за рахунок їх тривалого зберігання за високих технологічних температур, в той час як метод RTFOT моделює зміну властивостей в'язучих у процесі змішування їх з кам'яними матеріалами в асфальтозмішувачах під час приготування асфальтобетонних сумішей.

Зістарювання за методами RTFOT та TFOT а також вітчизняним

методом-аналогом TFOT здійснюється шляхом витримування бітумних в'язучих за однаковою температурою в 163°C. Різниця в методах полягає у товщині плівки в'язучого (1,25 мм в методі RTFOT, 3,2 мм в методі TFOT та 3,56 мм в методі, що нормується ГОСТ 18180), часі витримування (75 хв в методі RTFOT, 5 год в методі TFOT та у вітчизняному методі-аналогоу TFOT) та наявності чи відсутності примусової подачі повітря (наявність подачі повітря в методі RTFOT та відсутність такої подачі в методі TFOT). В світі, зокрема в США та країнах Європейського Союзу, більш поширеним є метод RTFOT, який в свою чергу був розроблений на заміну методу TFOT, як більш швидкий та вдосконалений його варіант [7]. Виходячи з того, що метод RTFOT розроблювався як аналог методу TFOT, результати зміни властивостей бітумів після зістарювання за цими методами повинні бути близькими. Однак і досі, незважаючи на чисельні експериментальні дані [8-10], питання взаємозамінності результатів зміни властивостей в'язучих після старіння цими двома методами, є невирішеним. При цьому, згідно літературних даних, у той час як для немодифікованих дорожніх бітумів метод зістарювання (RTFOT чи TFOT) незначно впливає на зміну низки властивостей, під час зістарювання бітумних в'язучих, модифікованих різноманітними добавками, в тому числі й адгезійними, часто спостерігається суттєва різниця між показниками якості в'язучих після старіння методами RTFOT та TFOT. Виходячи з цього, питання визначення впливу методу зістарювання на термостабільність адгезійних добавок, що використовуються у вітчизняній дорожній галузі, є актуальним.

Мета і задача дослідження. Метою роботи є оцінювання впливу методу короткострокового старіння бітумних в'язучих, модифікованих адгезійними добавками, на термостабільність добавок. Для досягнення поставленої мети були співставленні значення зчеплюваності бітумів, модифікованих різними адгезійними добавками, зістарених методом RTFOT та вітчизняним методом-аналогом методу TFOT.

Методи та об'єкти дослідження. Для проведення дослідження були прийняті дорожні бітуми, модифіковані адгезійними добавками, що використовуються у дорожній галузі України [11-14].

Для всіх об'єктів була визначена зчеплюваність із поверхнею скла згідно вимог ДСТУ 9169 [15] до та після зістарювання методом RTFOT та методом-аналогом методу TFOT.

Результати дослідження. Показники якості бітумів, модифікованих адгезійними добавками, у вітчизняній дорожній галузі оцінюються згідно вимог СОУ 45.2-00018112-067 [16]. У відповідності з положеннями цього нормативного документу зчеплюваність в'язучого з поверхнею скла повинна бути:

- більшою ніж 75 % для вихідного в'язучого;
- більшою ніж 65 % для в'язучого, зістареного методом ГОСТ 18180;
- більшою ніж 60 % для в'язучого, зістареного методом RTFOT.

Виходячи з вищенаведених норм, значення коефіцієнта термостабільності адгезійних добавок, що розраховані за форм. 2, повинні бути не більше ніж 35 % та 40% (відповідно після старіння методом ГОСТ 18180 та RTFOT). Перевищення цих меж свідчить про значне зниження адгезійних властивостей бітумних в'язучих після старіння та відповідно про низьку термостабільність адгезійних добавок.

Виходячи з норм, наведених в СОУ 45.2-00018112-067 [15], метод зістарювання RTFOT призводить до більш інтенсивної зміни властивостей бітумів, модифікованих адгезійними добавками, зокрема, зчеплюваності в'язучих з поверхнею скла. Ймовірно, виходячи з цього, розробники національного стандарту ДСТУ 9187 [3], запропонували визначати термостабільність адгезійних добавок лише за зміною зчеплюваності бітумів зі щебнем після прогріття методом RTFOT. Однак, як показують експериментально отримані дані, наведені на рис. 1, тривале витримування бітумних в'язучих, модифікованих адгезійними добавками, за високих технологічних температур (є характерним для методу старіння, наведеному у вітчизняному методі, що є аналогом методу TFOT) в значно більшій мірі призводить до зниження зчеплюваності в'язучих, ніж відносно короткострокове витримування під час зістарювання методом RTFOT.

Дані, представлені на рис. 1, свідчать про те, що на значення зчеплюваності вихідних бітумів, які були прийняті для модифікації адгезійними добавками, майже не впливає метод зістарювання – різниця в зчеплюваності з поверхнею скла бітумів зістарених методом RTFOT та вітчизняним методом - аналогом в середньому складає 6,8 %. В той же час зчеплюваність модифікованих адгезійними добавками в'язучих після старіння за методом RTFOT в середньому в 1,2 рази перевищує значення зчеплюваності в'язучих, зістарених за методом, наведеним у вітчизняному методі, а максимальна різниця в значеннях зчеплюваності сягає 2,5 разів.

Таким чином, можна стверджувати, що на термостабільність адгезійних добавок в більшій мірі впливає час витримування модифікованого бітуму за технологічної температури, що якраз і моделюється в методі старіння, наведеному у вітчизняному методі або в методі TFOT, ніж інтенсивна взаємодія з повітрям, що є характерним для методу RTFOT.

Виходячи з цього, є доцільним під час перевірки ефективності адгезійної добавки визначати її термостабільність після зістарювання як методом RTFOT, так і методом TFOT або його вітчизняним аналогом.

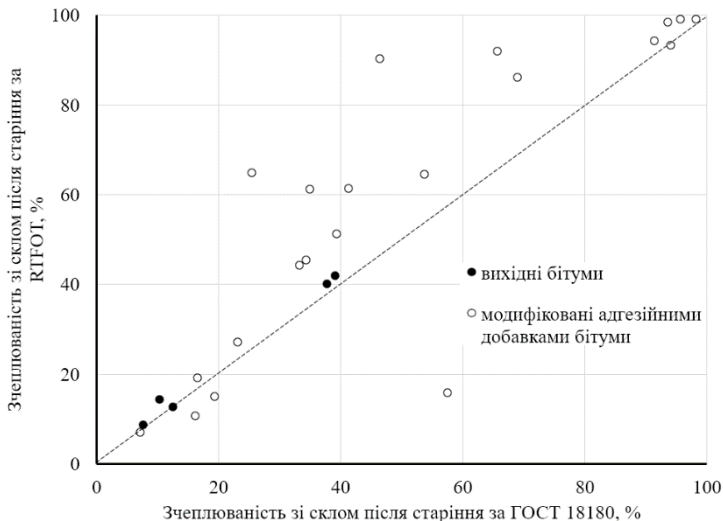


Рис. 1. Співвідношення значень зчеплюваності бітумів, модифікованих адгезійними добавками, після старіння методом, наведеним в ГОСТ 18180 та методом RTFOT

Зістарювання методом RTFOT буде моделювати термостабільність адгезійної добавки у випадку введення її в бітум за допомогою дозатора для введення добавки (в цьому випадку адгезійна добавка вводиться в нагрітий до технологічної температури бітум безпосередньо під час подачі в'язучого в асфальтозмішувач при приготуванні асфальтобетонної суміші). Зістарювання методом, що наведено TFOT або його вітчизняним аналогом, моделює термостабільність адгезійної добавки у випадку модифікації дорожнього бітуму шляхом його перемішування з адгезивом у витратній ємності з подальшим тривалим витриманням (від декількох годин до 2 – 3 діб) за технологічної температури в 140 – 160 °С.

Висновки. На основі експериментальних даних встановлено, що одним із основних факторів зниження термостабільності адгезійних добавок, які використовуються для модифікації дорожніх бітумів, є тривалість витримання в'язучого за високої технологічної температури. Враховуючи, що в Україні скасовано ГОСТ 18180, є доцільним введення в СОУ 45.2-00018112-067 [15] та ДСТУ 9187 [3] вимог до визначення зчеплюваності бітумів, модифікованих адгезійними добавками, після зістарювання методом TFOT. Крім того, бажано внести зміни до вимог, які встановлюють мінімально допустимі значення зчеплюваності бітумів, модифікованих адгезійними добавками, які представлені в СОУ 45.2-

00018112-067.

References

1. State of the art: Effect of water on bitumen - aggregate mixtures. Special Report 98. Highway Research Board, 1968. 88 p.
2. Pyrih Ya. I., Halkin A.V. Metody otsinky adhezii ta kohezii bitumnykh viazhuchykh. Kharkiv: KhNADU, 2019. 224 s.
3. DSTU 9187:2022. Dobavky na osnovi poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn dlia dorozhnykh bitumiv. Tekhnichni umovy. [Chynnyi vid 2023-01-02]. Vyd. ofits. Kyiv: UkrNDNTs, 2022. 14 s.
4. Zolotarov V.O., Pysanko A.O. Pokaznyky otsinky adheziinoi efektyvnosti poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn v dorozhnykh bitumakh. Avtoshliakhovyk Ukrainy. 2001. № 4. S. 33-36.
5. DSTU EN 12607-2:2019 (EN 12607-2:2014, IDT). Bitum ta bitumni viazhuchi. Vyznachennia oporu do tverdinnia pid vplyvom tepla ta povitria. Chastyna 2. Metod TFOT. [Chynnyi vid 2020-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv: UkrNDNTs, 2019. 12 s.
6. DSTU B EN 12607-1:2015 (EN 12607-1:2014, IDT). Bitum ta bitumni viazhuchi. Vyznachennia oporu do tverdinnia pid vplyvom teploty ta povitria. Chastyna 1. Metod RTFOT. [Chynnyi z 2016-07-01]. Vyd. ofits. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 2016. 23 s.
7. Davison R.R. et al. Development of Gel Permeation Chromatography, Infrared, and Other Tests to Characterize Asphalt Cements and Correlate with Field Performance. Volume I. Austin, Texas. 1989. 274 p.
8. Finn F.N., Yapp M.T., Coplantz J.S., Durrani A.Z. Asphalt properties and relationship to pavement performance. Literature Review. Scotts Valley, California. 1990. 404 p.
9. Słowik M., Adamczak P. Evaluation of short-term aging influence on the properties of SBS elastomer modified road bitumens. Roads and Bridges. Drogi i Mosty. 2007. T. 6. №.1. P. 41-58.
10. Shiau J.M., Tia M., Ruth B.E., Page C.G. Evaluation of aging characteristics of asphalts by using TFOT and RTFOT at different temperature levels. Transportation Research Record. 1992. №. 1342. P. 58-66.
11. Pyrih Ya.I., Halkin A.V. Vykorystannia adheziinykh domishok DAD dlia pidvyshchennia zchepliuvanosti dorozhnykh viazkykh bitumiv. Visnyk KhNADU. 2021. Vyp. 93. S. 83-92.
12. Pyrih Ya.I., Halkin A.V., Novakovska V.Ia., Roman P.S. Vplyv dobavok ITERLENE na vlastyvoli viazkykh bitumiv. Visnyk KhNADU. 2022. Vyp. 96. S. 131-140.
13. Pyrih Ya.I., Halkin A.V., Roman P.S. Vplyv adheziinoi dobavky iDOP-PH na pidvyshchennia zchepliuvanosti dorozhnykh viazkykh bitumiv. Visnyk KhNADU. 2021. Vyp. 93. S. 201-208.
14. Pyrih Ya.I., Halkin A.V. Analiz adheziinykh dobavok Karbozalin. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. 2021. № 15. S. 71-78.
15. DSTU 9169:2021. Bitum ta bitumni viazhuchi. Vyznachennia zchepliuvanosti z mineralnym materialom. [Chynnyi vid 2022-01-08]. Vyd. ofits. Kyiv: UkrNDNTs, 2021. 12 s.
16. SOU 45.2-00018112-067:2011 Bitumy dorozhni viazki, modyfikovani dobavkami adheziinymi. Tekhnichni umovy. [Chynnyi vid 2011-01-09]. Vyd. ofits. Kyiv: Ukravtodor. 2017. 17 s.

Література

1. State of the art: Effect of water on bitumen - aggregate mixtures. Special Report 98. Highway Research Board, 1968. 88 p.
2. Пиріг Я. І., Галкін А.В. Методи оцінки адгезії та когезії бітумних в'язучих. Харків: ХНАДУ, 2019. 224 с.
3. ДСТУ 9187:2022. Добавки на основі поверхнево-активних речовин для дорожніх бітумів. Технічні умови. [Чинний від 2023-01-02]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2022. 14 с.
4. Золотарьов В.О., Писанко А.О. Показники оцінки адгезійної ефективності поверхнево-активних речовин в дорожніх бітумах. *Автошляховик України*. 2001. № 4. С. 33-36.
5. ДСТУ EN 12607-2:2019 (EN 12607-2:2014, IDT). Бітум та бітумні в'язучі. Визначення опору до твердіння під впливом тепла та повітря. Частина 2. Метод TFOT. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2019. 12 с.
6. ДСТУ Б EN 12607-1:2015 (EN 12607-1:2014, IDT). Бітум та бітумні в'язучі. Визначення опору до твердіння під впливом теплоти та повітря. Частина 1. Метод RTFOT. [Чинний з 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України. 2016. 23 с.
7. Davison R.R. et al. Development of Gel Permeation Chromatography, Infrared, and Other Tests to Characterize Asphalt Cements and Correlate with Field Performance. Volume I. Austin, Texas. 1989. 274 p.
8. Finn F.N., Yapp M.T., Coplantz J.S., Durrani A.Z. Asphalt properties and relationship to pavement performance. Literature Review. Scotts Valley, California. 1990. 404 p.
9. Słowik M., Adamczak P. Evaluation of short-term aging influence on the properties of SBS elastomer modified road bitumens. *Roads and Bridges. Drogi i Mosty*. 2007. Т. 6. №.1. Р. 41-58.
10. Shiau J.M., Tia M., Ruth B.E., Page C.G. Evaluation of aging characteristics of asphalts by using TFOT and RTFOT at different temperature levels. *Transportation Research Record*. 1992. №. 1342. Р. 58-66.
11. Пиріг Я.І., Галкін А.В. Використання адгезійних домішок ДАД для підвищення зчеплюваності дорожніх в'язких бітумів. *Вісник ХНАДУ*. 2021. Вип. 93. С. 83-92.
12. Пиріг Я.І., Галкін А.В., Новаковська В.Я., Роман П.С. Вплив добавок ПЕРЛЕНЕ на властивості в'язких бітумів. *Вісник ХНАДУ*. 2022. Вип. 96. С. 131-140.
13. Пиріг Я.І., Галкін А.В., Роман П.С. Вплив адгезійної добавки іDOP-PH на підвищення зчеплюваності дорожніх в'язких бітумів. *Вісник ХНАДУ*. 2021. Вип. 93. С. 201-208.
14. Пиріг Я.І., Галкін А.В. Аналіз адгезійних добавок Карбозалін. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2021. № 15. С. 71-78.
15. ДСТУ 9169:2021. Бітум та бітумні в'язучі. Визначення зчеплюваності з мінеральним матеріалом. [Чинний від 2022-01-08]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2021. 12 с.
16. СОУ 45.2-00018112-067:2011 Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками адгезійними. Технічні умови. [Чинний від 2011-01-09]. Вид. офіц. Київ: Укрвавтодор. 2017. 17 с.

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЗАДАЧАХ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

USE OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE TASKS OF TRAFFIC ORGANIZATION

**Самчук В.П., к.т.н., доц., Пустюльга С.І., д.т.н., проф.,
Кислюк Д.Я., к.т.н., доц., Пахوليук О.А., к.т.н., доц. (Луцький
національний технічний університет), Савенко В.І., к.т.н., проф.
(Київський національний університет будівництва та архітектури)**

**Samchuk V., Ph.D., Ass. Prof., Pustiulha S., D.Sc., prof., Kysliuk D.,
Ph.D., Ass. Prof., Pakholiuk O., Ass. Prof. (Lutsk National Technical
University), Savenko V., Ph.D., prof. (Kyiv National University of
Construction and Architecture)**

У роботі проведено аналіз найбільш популярних програмних комплексів, призначених для вирішення задач проектування дорожнього руху та транспортного моделювання. Визначено коло завдань, для яких найкраще підходить використання тих чи інших програм. Використання сучасних інформаційних технологій дозволяє не лише оптимізувати методи проектування та управління дорожнім рухом, але й забезпечує точну інформацію щодо прогнозування транспортних потоків, враховуючи різноманітні фактори, такі як кількість транспорту, погодні умови, розташування перехресть та вузлів інфраструктури. Результати аналізу надають можливість визначити найбільш підходящі програмні засоби для конкретних завдань, що сприяє покращенню якості проектування та ефективності управління дорожнім рухом у сучасному міському середовищі.

Traffic management is a challenging task, especially in the face of growing traffic, urban development, and urban agglomerations. Road congestion, suboptimal intersection operations, insufficient safety for road users, and low traffic speeds are becoming urgent problems of modern urban infrastructures.

The analysis of literature sources shows that publications devoted to solving problems related to traffic management do not contain works where these software tools would be considered in a complex, taking into account the possibilities of their integration to solve priority tasks in this area.

The purpose of this paper is to review and analyze software tools used to solve traffic management issues. The main task is to determine the functionality and areas of effective use of such programs, compare their capabilities for optimizing various aspects of traffic, and formulate recommendations for their use in practical scenarios of transport infrastructure management.

There are a large number of software packages available to solve tasks related to traffic management. The publication covers the most popular ones, according to the

authors, namely: PTV Group, Akcelik SIDRA Intersection, TRL Junctions, Roadmetry VTC, JCT Consultancy quickGreen and MathWorks RoadRunner.

The paper analyzes the most popular software packages designed to solve traffic design and transportation modeling problems. The range of tasks for which certain programs are best suited is determined.

The use of modern information technologies not only optimizes traffic design and management methods, but also provides accurate information on traffic flow forecasting, taking into account various factors such as the number of vehicles, weather conditions, location of intersections and infrastructure nodes. The results of the analysis make it possible to determine the most appropriate software tools for specific tasks, which helps to improve the quality of design and efficiency of traffic management in the modern urban environment.

Ключові слова: інформаційне моделювання міського середовища, управління дорожнім рухом, моделювання дорожнього руху, міська логістика, комп'ютерне проектування, екологічна стійкість.

Keywords: information modeling of the urban environment, traffic management, traffic modelling, city logistics, computer-aided design, environmental sustainability.

Постановка проблеми. Організація дорожнього руху є складним завданням, особливо в умовах зростаючого автотранспортного потоку, розвитку міст та міських агломерацій. Перевантаженість доріг, неоптимальні режими роботи перехресть, недостатня безпека для учасників руху, а також низька швидкість руху стають актуальними проблемами сучасних міських інфраструктур [1].

Зростаюча кількість автотранспорту призводить до появи транспортних заторів, що не лише ускладнює переміщення містян, але й негативно впливає на економіку та екологію. Більшість міст відчувають недоліки в системі організації дорожнього руху, включаючи нестачу або неефективне використання світлофорів, неправильне розташування зупинкових пунктів громадського транспорту та переходів для пішоходів, а також низьку ефективність дорожньої безпеки.

Такі проблеми потребують системного підходу до їх вирішення, включаючи використання сучасних інформаційних технологій та програмних засобів для транспортного моделювання. Використання та розвиток програмного забезпечення, спрямованого на оптимізацію дорожнього руху, може допомогти знизити транспортні затори, підвищити безпеку та покращити загальний рівень комфорту у міському середовищі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню різних аспектів організації дорожнього руху та транспортного моделювання присвячено чимало робіт науковців. У своїх працях вони аналізують не лише технічні аспекти проектування та управління дорожнім рухом, але й враховують соціально-економічні та екологічні впливи, що дозволяє створювати більш комплексні та ефективні стратегії для вирішення

актуальних проблем у сфері транспортної інфраструктури.

Слід відмітити роботу [2], присвячену моделюванню сценаріїв динаміки мережевого трафіку. У ній наводяться результати оцінки отриманої моделі дорожньої інфраструктури як на рівні транспортного засобу, так і на рівні пасажиропотоку.

У роботі [3] виконано порівняння моделей транспортних вузлів із регульованими перехрестями на основі множин динамічних параметрів. Порівнюються два аналітичні підходи до моделювання регульованих мереж перехресть стосовно оцінки якості їх координації та аналізу пропускної здатності.

У роботі [4] дослідники вирішували завдання покращення продуктивності сучасних систем управління дорожнім рухом у світлі проблем, з якими зіткнуться «розумні міста» майбутнього. У ній досліджується управління трафіком на основі використання динамічних адаптивних технологій.

Питанням автоматизації дорожнього руху та керування трафіком присвячена публікація [5]. У ній автори розробили оптимальну стратегію керування рухом для коридорів із транспортних засобів різного типу та призначення.

Проектуванню імітаційних моделей логістики міста з використанням програмного забезпечення присвячена публікація [6]. У ній за допомогою програмного забезпечення PTV розроблено імітаційну модель інфраструктури дорожнього руху в окремій зоні важливого перехрестя. Досліджено та проаналізовано можливі наслідки реконструкції перехрестя, а також вплив цих заходів на потік дорожнього руху в логістиці міста.

Аналіз літературних джерел свідчить, що у публікаціях, присвячених організації дорожнього руху, зокрема, у роботах, які аналізують застосування програмних засобів, зустрічається розгляд окремих аспектів, таких як моделювання дорожнього руху, оптимізація роботи світлофорних систем, влаштування велосипедних доріжок, пішохідних переходів та інших складових частин інфраструктури дорожнього руху. Проте відсутні роботи, де ці програмні засоби розглядалися б в комплексі, з урахуванням можливостей їх інтеграції для вирішення низки пріоритетних завдань з організації дорожнього руху. Такий підхід дозволив би отримати більш повний та об'єктивний образ впливу програмних засобів на організацію дорожнього руху і сприяв би розробці більш ефективних стратегій управління дорожнім рухом.

Крім того, у проаналізованих роботах не були розглянуті такі важливі питання, як класифікація та рекомендації з вибору саме такого програмного забезпечення, яке б вимагало мінімальних витрат на придбання, супровід та інтеграцію в технологічний процес проектування і забезпечувало вирішення необхідних задач організації дорожнього руху та транспортного моделювання.

Формулювання цілей статті. Відтак, актуальним завданням є аналіз та дослідження найбільш популярного програмного забезпечення, яке використовується для проектування дорожнього руху з позицій його можливостей, наявних переваг і недоліків.

Метою даної роботи є огляд та аналіз програмних засобів, що застосовуються для вирішення питань організації дорожнього руху. Основним завданням є визначення функціоналу та сфер ефективного використання таких програм, порівняння їх можливостей для оптимізації різних аспектів дорожнього руху, а також формулювання рекомендацій щодо їх використання у практичних сценаріях управління транспортною інфраструктурою.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення задач, пов'язаних з організацією дорожнього руху, існує велика кількість програмних засобів. Найбільш популярними серед них, на нашу думку, є: PTV Group, Akcelik SIDRA Intersection, TRL Junctions, Roadmetry VTC, JCT Consultancy quickGreen та MathWorks RoadRunner.

PTV Group – це відома компанія, яка спеціалізується на розробці програмного забезпечення для транспортної та логістичної індустрії. Їх програмні продукти використовуються для оптимізації транспортних процесів, планування маршрутів, аналізу трафіку та інших пов'язаних завдань (рис. 1). Основні програмні засоби, які випускає PTV Group, включають: PTV Vision Traffic Suite, PTV Visum, PTV Vissim.



Рисунок 1 – Транспортне моделювання в PTV Vissim

Основні завдання, для вирішення яких застосування програм PTV Group буде найбільш ефективним:

- оптимізація транспортних мереж для забезпечення їх ефективності та оптимальної пропускної здатності;

- планування транспортних рейсів і доставок, розрахунок часу доставки та витрати палива;
- аналіз трафіку та безпеки на дорогах з врахуванням різних факторів, зокрема об'єму та швидкості руху;
- прогнозування обсягів транспортних потоків та попиту на транспортні послуги.

Слід звернути увагу і на те, що програми PTV Group потребують значних обчислювальних ресурсів для складних моделей, додаткових модулів або плагінів для комплексного аналізу безпеки, а також мають високу вартість ліцензії, що може бути перешкодою для використання у невеликих організаціях.

Akcelik SIDRA Intersection – потужний програмний засіб, розроблений для моделювання, аналізу та оптимізації роботи перехресть (рис. 2). Цей інструмент дозволяє інженерам, планувальникам та урядовим установам вирішувати різноманітні завдання, пов'язані з покращенням дорожнього руху та безпеки на дорогах.

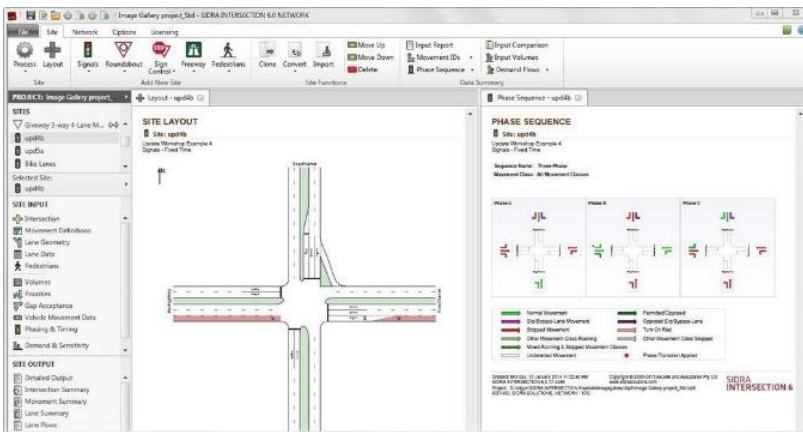


Рисунок 2 – Моделювання перехрестя в Akcelik SIDRA Intersection

Основні задачі, для вирішення яких застосування Akcelik SIDRA Intersection є найбільш ефективним:

- оптимізація роботи перехресть, включаючи розташування та параметри світлофорів, а також розташування та визначення розмірів зупинкових пунктів;
- моделювання впливу нових проєктів реконструкції або розширення існуючих дорожніх мереж на роботу перехрестя;
- покращення безпеки дорожнього руху завдяки аналізу різних аспектів безпеки на перехрестях: точок конфлікту, швидкості руху та видимості;

– аналіз руху пішоходів та взаємодії їх з транспортом.

До слабких сторін програми Akcelik SIDRA Intersection слід віднести її орієнтованість на окремі перехрестя, а не на великі мережі доріг, врахування обмеженої кількості факторів при аналізі трафіку в міських умовах та відсутність можливості багатofакторного аналізу при розробці нових транспортних проєктів.

TRL Junctions – програмний засіб, розроблений Лабораторією транспортних досліджень (TRL), що спеціалізується на аналізі та плануванні транспортної інфраструктури (рис. 3). Цей інструмент призначений для моделювання та оптимізації роботи перехресть та вузлів дорожньої мережі з метою поліпшення руху транспорту та зменшення транспортних заторів.



Рисунок 3 – Моделювання транспортної інфраструктури в TRL Junctions

Основні задачі, для вирішення яких застосування TRL Junctions є найбільш ефективним:

- оптимізація роботи перехресть, включаючи різні варіанти регулювання руху, розташування та параметрів світлофорів;
- моделювання впливу нових проєктів, реконструкції або розширення існуючих дорожніх мереж на роботу перехресть;
- покращення безпеки дорожнього руху на основі аналізу точок конфлікту, швидкості руху та видимості;
- оцінка роботи вузлів дорожньої мережі, включаючи взаємодію між різними перехрестями та транспортними вузлами.

До слабких сторін TRL Junctions слід віднести обмежені можливості для аналізу безпеки, а також її орієнтованість на моделювання перехресть, у зв'язку з чим мало уваги приділяється іншим аспектам дорожнього руху.

Roadmetry VTC – програмне забезпечення, спрямоване на вирішення різних завдань в області дорожнього руху та транспортної інфраструктури. Воно розроблене для моделювання, аналізу та оптимізації руху транспорту на вулицях та дорогах (рис. 4).

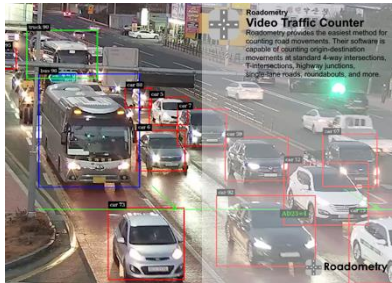


Рисунок 4 – Аналіз руху транспорту на дорогах в Roadmetry VTC

Основні задачі, для вирішення яких застосування Roadmetry VTC є найбільш ефективним:

- оцінка потоків транспорту на різних вулицях та дорогах;
- моделювання роботи світлофорних регулювань;
- аналіз руху пішоходів, їх поведінки та взаємодії з транспортом;
- оптимізація інфраструктури, що включає в себе розширення доріг, зміну розташування світлофорів або пішохідних переходів тощо.

До слабких сторін Roadmetry VTC відносяться обмежені можливості з оптимізації світлофорів та недостатній інструментарій для розробки нових комплексних проєктів.

JCT Consultancy quickGreen – програмне забезпечення, розроблене консалтинговою компанією JCT Consultancy для оптимізації роботи світлофорів на перехрестях доріг (рис. 5).

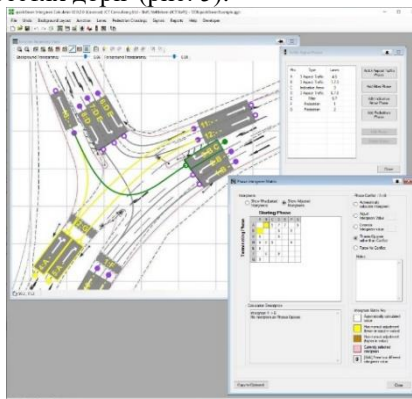


Рисунок 5 – Оптимізація роботи світлофорів на перехресті у JCT Consultancy quickGreen

Цей інструмент призначений для покращення ефективності руху транспорту та зменшення часу очікування на перехрестях.

Основні задачі, для вирішення яких застосування JCT Consultancy quickGreen є найбільш ефективним:

- оптимізація роботи світлофорів;
- моделювання руху транспорту на перехрестях;
- покращення пропускної здатності перехресть;
- зменшення викидів шкідливих речовин.

До слабких сторін JCT Consultancy quickGreen слід віднести її спеціалізацію на світлофорних перехрестях, обмежені можливості аналізу складного трафіку, відсутність фокусу на комплексному аналізі безпеки та не достатню гнучкість при розробці великих інфраструктурних проєктів.

MathWorks RoadRunner – програмний засіб, розроблений компанією MathWorks для моделювання та аналізу різних аспектів дорожнього руху та транспортної інфраструктури (рис. 6). Цей інструмент дозволяє інженерам та планувальникам управляти проєктами з покращення дорожнього руху та ефективно вирішувати різноманітні завдання.



Рисунок 6 – Аналіз режимів роботи світлофорів на перехресті в MathWorks RoadRunner

Основні задачі, для вирішення яких застосування MathWorks RoadRunner є найбільш ефективним:

- моделювання дорожнього руху на дорогах та перехрестях;
- оптимізація трафіку (робота світлофорів, розташування зупинкових пунктів тощо);
- аналіз різних аспектів безпеки дорожнього руху;
- планування, вдосконалення і розвиток об'єктів інфраструктури.

До обмежень MathWorks RoadRunner можна віднести те, що основний

акцент програми зосереджений на візуалізації. Це супроводжується недостатньою кількістю інструментів для детального моделювання трафіку та розробки нових проєктів.

Огляд функціональних можливостей програм виявив, що кожна з них має свої унікальні можливості та призначена для вирішення певних пріоритетних завдань.

Систематизуємо отримані дані аналізу програмних засобів в табличній формі, таблиця 1.

Таблиця 1 – Порівняння функціональних можливостей програмних засобів проєктування організації дорожнього руху

Програмне забезпечення	Моделювання руху транспорту	Оптимізація світлофорів	Аналіз трафіку	Аналіз безпеки дорожнього руху	Розробка нових проєктів
PTV Group	Так	Так	Так	Так	Так
Akcelik SIDRA Intersection	Ні	Так	Ні	Так	Ні
TRL Junctions	Ні	Так	Так	Ні	Так
Roadmetry VTC	Так	Ні	Так	Так	Ні
JCT Consultancy quickGreen	Ні	Так	Ні	Ні	Ні
MathWorks RoadRunner	Так	Так	Так	Так	Так

Висновки. Проаналізувавши найбільш відоме програмне забезпечення, виявлено, що кожна із програм має свою сферу використання, а раціональність їх застосування прямо залежить від особливостей вирішуваних практичних завдань проєктування.

Отже, можна стверджувати, що використання сучасних інформаційних технологій дозволяє не лише оптимізувати методи проєктування та управління дорожнім рухом, але й забезпечує точну інформацію щодо прогнозування транспортних потоків, враховуючи різноманітні фактори, такі як об'єм транспорту, погодні умови, розташування перехресть та вузлів інфраструктури. Результати аналізу надають можливість визначити програмні засоби які найкраще підходять для вирішення конкретних завдань, що сприяє покращенню якості проєктування та ефективності управління дорожнім рухом у сучасному міському середовищі.

References

1. Fahimnia, B., Bell, M., Hensher, D., Sarkis, J. (2015). Green Logistics and Transportation: A Sustainable Supply Chain Perspective. Cham: Springer.
2. Oh, S., Lentzakis, A. F., Seshadri, R., & Ben-Akiva, M. (2021). Impacts of Automated Mobility-on-Demand on traffic dynamics, energy and emissions: A case study of Singapore. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 110, 102327.
3. Akcelik, R. (2016). Comparing Lane Based and Lane-group Based Models of Signalised Intersection Networks. *International Symposium on Enhancing Highway Performance (ISEHP)*, June 14-16, 2016, Berlin, 15, 208–219.
4. Tareh, A.A.R., & Zghair, N.A.K. (2023). Redesign of the communications network based on high availability of traffic management technologies to improve the communication. *Measurement: Sensors*, 27, 100776.
5. Amirgholy, M., Shahabi, M., & Oliver Gao, H. (2020). Traffic automation and lane management for communicant, autonomous, and human-driven vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 111, 477–495.
6. Kučera, T., & Chocholáč, J. (2021). Design of the City Logistics Simulation Model Using PTV VISSIM Software. *International Scientific Conference “Horizons of Railway Transport 2020”*, 53, 258–265.

Література

1. Fahimnia B., Bell M. G. H., Hensher D. A., Sarkis J. Green Logistics and Transportation: A Sustainable Supply Chain Perspective. Springer, 2015. 198 с. ISBN 978-3-319-17181-4.
2. Oh S., Lentzakis A. F., Seshadri R., Ben-Akiva M. Impacts of Automated Mobility-on-Demand on traffic dynamics, energy and emissions: A case study of Singapore. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2021. Вип. 110. С. 102327.
3. Akcelik R. Comparing Lane Based and Lane-group Based Models of Signalised Intersection Networks. *Transportation Research Procedia*. 2016. Вип. 15. С. 208–219.
4. Tareh A. A. R., Zghair N. A. K. Redesign of the communications network based on high availability of traffic management technologies to improve the communication. *Measurement: Sensors*. 2023. Вип. 27. С. 100776.
5. Amirgholy M., Shahabi M., Oliver Gao H. Traffic automation and lane management for communicant, autonomous, and human-driven vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2020. Вип. 111. С. 477–495.
6. Kučera T., Chocholáč J. Design of the City Logistics Simulation Model Using PTV VISSIM Software. *Transportation Research Procedia*. 2021. Вип. 53. С. 258–265.

УДК 625.7/8

**ПРОФІЛАКТИЧНА ОБРОБКА ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ
ХІМІЧНИМИ ПРОТИОЖЕЛЕДНИМИ МАТЕРІАЛАМИ ДЛЯ
БОРЬБИ ІЗ ЗИМОВОЮ СЛИЗЬКІСТЮ**

**PREVENTIVE TREATMENT OF ROAD SURFACES WITH
CHEMICAL ANTI-ICE MATERIALS TO COMBAT WINTER
SLIPPERY**

**Сєдов А.В., к.т.н., доц., Фоменко О.О., асис. (Харківський
національний автомобільно-дорожній університет)**

**Siedov A.V., Ph.D., Associate Professor, Fomenko O.O., assistant
(Kharkiv National Automobile and Road University)**

У статті узагальнений аналіз міжнародного досвіду усунення і запобігання утворення зимової слизькості за даними міжнародних конференцій під егідою PIARC. Серед різних методів боротьби із зимовою слизькістю найбільше розповсюдження отримав хімічний метод із застосуванням протижеледних матеріалів, з використанням хлористих солей. В даний час особлива увага приділяється профілактичній обробці поверхні покриття дорожнього одягу протижеледними матеріалами, оскільки при утворенні ожеледиці різко зменшується коефіцієнт зчеплення колеса з дорожнім покриттям і підвищується кількість ДТП. Найбільш цікавий досвід країн Північної Європи, Канади і США, який поєднує в собі застосування сучасних засобів снігоприбирання і ефективних протижеледних реагентів, що забезпечують підтримку в належному стані дорожньої мережі цих країн і зниження негативної дії реагентів на оточуюче середовище. Перехід на профілактичну обробку дозволяє на 20 % знизити сумарну витрату хімічних протижеледних реагентів.

The article summarizes the analysis of the international experience of eliminating and preventing the formation of winter slippage according to the data from international conferences under the auspices of PIARC. Among the various methods of combating winter slippage, the chemical method with the use of anti-icing materials and the use of chloride salts has become the most widespread. The specificity of the anti-icing process is that both liquid and solid reagents can be used to combat icing. Analysis of international experience shows that there is almost no alternative if considered on a scale for each country separately and for all countries as a whole, the use of sodium chloride to eliminate winter slippage. At present, special attention is paid to the preventive treatment of the surface of road clothing with anti-icing materials, because when ice forms, the coefficient of adhesion of the wheel to the road surface sharply decreases and the number of road accidents increases. The most interesting experience of the countries of Northern Europe, Canada, and the USA, which combines the use of modern snow removal tools and effective anti-icing reagents, which ensure maintenance of the road network of these countries in good

condition and reduce the negative impact of reagents on the environment. The preventive method of combating ice consists of applying anti-icing materials to the road surface before the formation of ice, to form a boundary layer of reagent solutions between the coating and the ice layer. Solutions of chlorides and other salts included in the composition of the reagent are distributed in the form of films along the boundaries of ice crystals. This film breaks intercrystalline connections and under the action of external loads serves as a kind of lubricant, i.e. promotes the mutual movement of crystals. Thanks to this, the strength of ice with chloride solutions decreases as its saturation increases. Switching to preventive treatment allows to reduce the total consumption of chemical anti-icing reagents by 20%.

Ключові слова: хлористі протижеледні матеріали, профілактична обробка, щільність снігу, концентрація розчинів хлоридів.

Keywords: chloride anti-icing materials, preventive treatment, snow density, concentration of chloride solutions.

Експлуатаційний стан автомобільної дороги в зимовий період багато в чому залежить від характеру утворення сніжно-крижаних відкладень на дорозі (рис. 1).



Рисунок 1 – Сніжно-крижані відкладення на дорожньому покритті

За фізичним станом усі відкладення снігу та льоду на покритті можна розділити на чотири види: склоподібний лід, зернистий лід, сніжно-крижаний накат (твердий сніг) і пухкий сніг.

На утворення того або іншого виду сніжно-крижаних відкладень впливає температура і вологість повітря, опади і транспорт, що рухається по дорозі. Залежно від виду відкладень коефіцієнт зчеплення колеса з покриттям коливається від 0,08 до 0,25 [1].

Для боротьби з зимовою слизькістю застосовують механічний, тепловий, фізико-хімічний і хімічний методи (рис. 2). Найбільш розповсюдженим є хімічний метод, при якому розподіляють чисті протижеледні матеріали (ПОМ), які мають властивості розтоплювати лід.

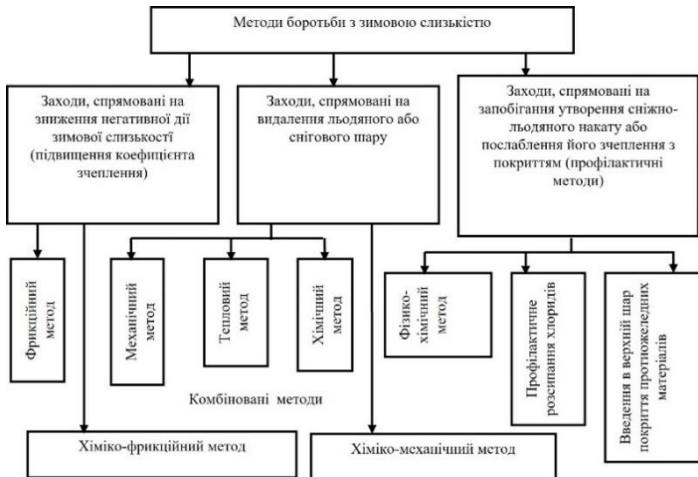


Рисунок 2 – Методи боротьби із зимовою слизькістю

Вимоги до рівня зимового утримання доріг та часу ліквідації слизькості, витрат протиожеледних матеріалів (ПОМ) і їх складу відрізняються між країнами та континентами [1-4].

Специфіка процесу проведення протиожеледної обробки полягає в тому, що для боротьби з ожеледицею можуть використовуватися як рідкі, так і тверді реагенти. Розподіл реагентів здійснюється відповідно до строго встановленої норми. Застосовувати хімічні протиожеледні матеріали можна з перших снігопадів і до танення снігового покриву.

Передові зарубіжні країни мають значний досвід протиожеледної обробки дорожніх покриттів. Найбільш цікавий досвід країн Північної Європи, Канади і США, який поєднує в собі застосування сучасних засобів снігоприбирання і ефективних протиожеледних реагентів, що забезпечують підтримку в належному стані дорожньої мережі цих країн і зниження негативної дії реагентів на оточуюче середовище [3-9].

У даний час особлива увага приділяється технології превентивної обробки дорожніх покриттів протиожеледними матеріалами. Аналіз міжнародного досвіду свідчить, що технологію попереднього розподілення ПОМ використовують до 85% країн. При чому третина із них використовує змочену сіль, інша третина – розчин NaCl (розсіл) і ще одна третина – обидва способи. Кількість ПОМ, яку використовують для профілактики, коливається залежно від ситуації в межах від 4 г/м² до 40 г/м². В Україні – 20-40 г/м² [10]. У половині випадків профілактичне розподілення використовують лише на основних дорогах, інші 50 % країн використовують його на всій мережі автомобільних доріг.

Наприклад, протиожеледні реагенти у Фінляндії і Швеції використовуються для запобігання утворення льоду, для полегшення процесу очищення від льоду і для уповільнення процесу промерзання снігу при низьких температурах повітря. Найбільш небезпечними вважаються випадки появи першого так званого «чорного льоду» (рис. 3) при зниженні температури. Методи попередньої обробки покриття розчином солі найбільш ефективні для запобігання таких небезпечних ситуацій при очікуваній підвищеній слизькості. Вважається, що хімічний спосіб боротьби із зимовою слизькістю найбільш ефективний, коли температура на поверхні покриття вище мінус 7 °С.



Рисунок 3 – Склоподібний лід

Досвід застосування реагентів у Північній Америці показав, що попередня обробка поверхні покриття дороги перед утворенням ожеледі або обробка поверхні покриття під час появи льоду чи випадання снігу суттєво запобігає виникненню плівки льоду або сніжного накату.

У США до 1993 року ця перспективна технологія не застосовувалася через неточні прогнози погоди. Нові технологічні розробки в області моніторингу за станом доріг і навколишнім середовищем дозволяють в даний час ефективно використовувати нову технологію профілактичної обробки дорожнього покриття. Досвід США показує, що в деяких випадках для превентивної обробки достатньо нанесення на покриття всього 4 г/м² солі, що складає 10–20% від норми витрат реагентів за традиційною технологією (23–38 г/м²).

Це пов'язано з механізмом формування сніжно-льодяних відкладень на поверхні покриття. Сніг потрапляє на дорожнє покриття у вигляді окремих сніжинок і в початковий момент представляє масу, що складається з найтонших кристалів льоду.

Стикаючись із дорожнім покриттям, а також під впливом інших факторів сніжинки деформуються і в першу чергу – широко розвинена периферійна поверхня сніжинок. Цей процес прискорюється при впливі на сніг коліс транспортних засобів.

Щільність снігу (табл. 1) збільшується тим швидше, чим вища його температура [6-8].

Таблиця 1 – Щільність снігу залежно від його стану

Стан снігу	Можливі зміни щільності, г/см ³
щойно випав:	
чистий незайманий	0,1-0,15
обвалований або окучений	0,2-0,3
обвалований лежаний	0,34-0,42
цілинний:	
лежаний (протягом 30 діб.)	0,2-0,3
лежаний (більше 30 діб.)	0,34-0,42

При температурі від 0 °С до мінус 2 °С щільність снігу вже на протязі 1-1,5 годин досягає своєї граничної величини. З пониженням температури снігу процес ущільнення проходить повільніше, особливо – при температурі нижче мінус 10 °С.

При впливі на сніг коліс транспортних засобів, пішоходів і робочих органів снігоочисних машин щільність снігу змінюється.

Так, після згрібання і змітання снігу та укладання в вали його щільність збільшується, як правило, більш ніж в 2 рази.

Технологічні прийоми і технічні засоби видалення ущільненого снігу і особливо льоду складніші, ніж снігу, який щойно випав, тому необхідна своєчасна очистка дорожніх покриттів від свіжого снігу, що забезпечує в найкоротші терміни належні умови для руху транспорту.

Сила примерзання льоду до поверхні будь-якого дорожнього покриття порівняна, як правило, з міцністю самого дорожнього покриття. Для зниження сил зчеплення з поверхнею дороги експлуатаційні дорожні служби використовують два методи застосування протижеледних реагентів: профілактичний і аварійний.

Профілактичний метод боротьби з льодом полягає у нанесенні протижеледних матеріалів на дорожнє покриття до утворення ожеледиці, для утворення прикордонного шару з розчинів реагентів між покриттям і шаром льоду (рис. 4). Як відомо, якщо концентрація розчинів хлоридів низька, можливе замерзання його з виділенням чистого льоду, що супроводжується підвищенням концентрації хлоридів у розчині, який залишився. При подальшому зниженні температури відносно нуля концентрація розчину хімічного реагенту поступово підвищується. Розчини

хлоридів та інших солей, що входять до складу реагенту, розподіляються у вигляді плівок по кордонах кристалів льоду.

Дана плівка порушує міжкристалічні зв'язки і при дії зовнішніх навантажень служить свого роду мастилом, тобто сприяє взаємному переміщенню кристалів.

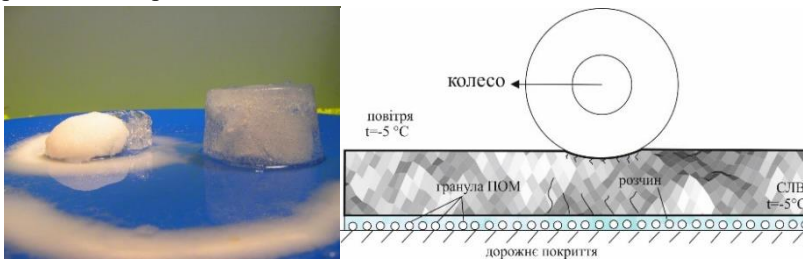


Рисунок 4 – Утворення прикордонного шару з розчинів протиожеледних матеріалів

Завдяки цьому міцність льоду з розчинами хлоридів знижується по мірі збільшення його насиченості. Ці плівки можуть переміщатися в прикордонному шарі льоду, тим самим послаблюючи сили змерзання льоду і покриття. Зниження температури повітря викликає зменшення обсягу вільного розчину, розосередженого в обсязі льоду, і, відповідно, підвищення концентрації розчину. При цьому скорочується загальний обсяг розчину реагентів, що утворюється на поверхні кристалів льоду, це призводить до підвищення міцності льоду і сил змерзання з покриттям. Науково доведено, що найбільш ефективно на коефіцієнт зчеплення льоду з дорожнім покриттям впливають реагенти, у яких кристали не перевищують 4 мм.

Профілактична обробка сприяє зміні внутрішнього тертя і зчеплення снігу і він зберігає властивості сипучості, загальмовує процес ущільнення і прикочування (рис. 5).

У таких умовах можна забезпечувати якісне очищення дорожніх покриттів плужно-щітковими снігоочисниками при інтенсивному русі транспортних засобів і дотриманні певної технології робіт.

На відміну від профілактичної обробки, аварійний метод застосовують, коли після збирання снігу, що випав на дорожньому покритті, залишаються місця, покриті шаром примерзлого льоду. При цьому методи по поверхні льоду розподіляються великі кристали протиожеледних реагентів, які в шарі льоду утворюють канали, заповнені розчинним реагентом.

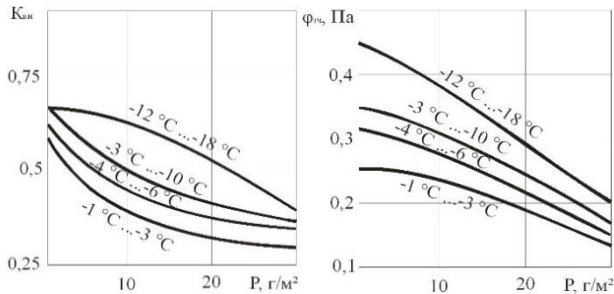


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнтів внутрішнього тертя ($K_{вн}$) і зчеплення снігу з дорожнім покриттям ($\phi_{зч}$) від кількості реагентів (P), тобто щільності посипання, при температурі зовнішнього повітря від мінус 1 °C до мінус 18 °C

Встановлено, що утворення наскрізних каналів у товщі льоду можливе тільки при певному співвідношенні величини кристалів реагенту, температури повітря і товщини шару льоду. Так, наприклад, при величині зерна реагенту до 3 мм і за кліматичної температурі мінус 15 °C глибина проникнення реагентів складає всього 10 мм (рис. 6).

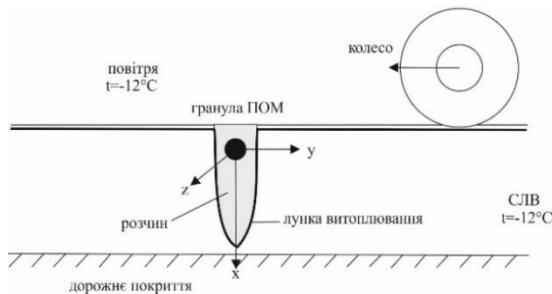


Рисунок 6 – Схема процесу взаємодії гранули ПОМ зі СЛВ

Глибина проникнення до 30 мм при тій же температурі повітря може бути отримана при використанні кристалів протижеледних реагентів розміром до 10 мм. Треба знати, що найбільша глибина каналів досягається у період перших двох годин попадання протижеледного реагенту на лід. На глибину каналів основний вплив має температура повітря. Зниження температури викликає зменшення глибини каналів.

Швидкість утворення розчинів хлоридів залежить від складу застосованих реагентів. Наприклад, при використанні хлористого кальцію,

особливо на початку взаємодії з льодом, глибина каналів зростає в 2 рази швидше, ніж при використанні хлористого натрію.

Сили, що з'єднують лід із дорожнім покриттям, можуть бути зруйновані тільки за умови, що канал, заповнений розчином, досягне верхнього шару дорожнього покриття, а сам розчин, що знаходиться в каналі, буде мати достатню концентрацію при даній температурі повітря. У цьому випадку розчин протижеледних матеріалів буде вступати в реакцію з нижнім шаром кірки льоду, і руйнувати зв'язки з дорожнім покриттям навколо утвореного каналу [4].

Дослідженнями встановлено, що присутність в льоді незначної кількості реагентів призводить до зниження міцності льоду і, що найбільш суттєво, – до різкого зменшення сил його змерзання з асфальто- або цементобетонним покриттям (рис. 7, а). А за наявності в льоді всього 1,5-2 % реагентів гарантоване відділення його від поверхні покриття. Встановлено також, що зниження сил змерзання може бути досягнуто при обробці шару льоду товщиною до 20 мм кристалами реагентів розміром $7 < K < 11$ мм. У цьому випадку кристали утворюють в шарі льоду канали, які заповнені розчином реагентів, і розчин на значній площі руйнує прикордонний шар льоду (рис. 7, б).

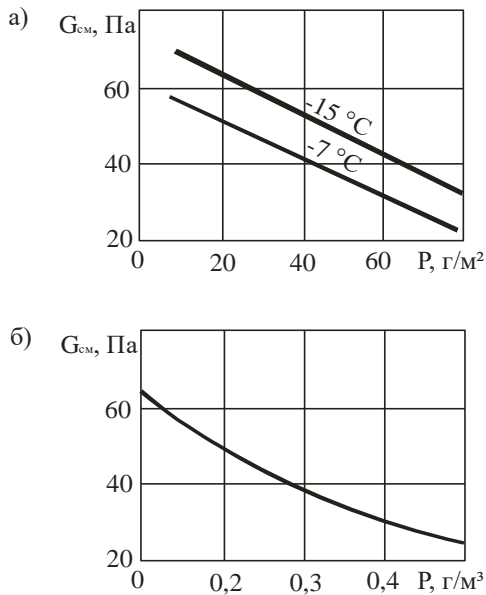


Рисунок 7 – Залежність змерзання льоду з дорожнім покриттям від кількості реагентів (P)

На практиці норми витрат твердих хлористих протиожеледних матеріалів для запобігання утворенню ожеледі в різних країнах витримують у межах 10-20 г/м² (табл. 2) [9].

Ці норми витрат ефективні до температури повітря не нижче мінус 10 °С. У рідкісних випадках для профілактичних обробок покриття при більш низьких температурах норми витрат повинні бути збільшені.

Для попередження утворення ожеледі не слід застосовувати хлористий магній, так як він збільшує слизькість сухого покриття.

Таблиця 2 – Норми витрат протиожеледних матеріалів

Країна	Матеріал	Витрата сухої речовини, г/м ²	Концентрація розсолу, %
Англія	NaCl	4-8	20
Скандинавські країни	NaCl	8	33
Франція	NaCl	14	28
Польща	CaCl ₂	9	-
Бельгія	CaCl ₂	6-20	CaCl ₂ , NaCl, MgCl ₂
Італія	CaCl ₂	5-10	-

Для запобігання утворенню тонкої крижаної плівки найкращим є метод застосування водних розчинів солі. Соляні розчини готуються з NaCl і CaCl₂. При цьому концентрації соляних розчинів складають: NaCl – в межах 23-25 %, CaCl₂ – в межах 30-32 % [5, 10].

При цьому треба мати на увазі, що товстий шар льоду або снігу не може повністю розтанути під дією соляного розчину, оскільки вода, що утворюється, знижує концентрацію соляного розчину. Тому застосування соляних розчинів буде ефективним після очищення поверхні покриття від снігу.

Розрахунками, підтвердженими експлуатаційною практикою, встановлено, що при виникненні ожеледної плівки нанесення на дорожнє покриття 20-30 г/м² реагентів призводить до утворення розчину такої концентрації, який не замерзає при негативних температурах, близьких до нуля, і не дає можливості утворюватися ожеледній плівці.

Наведені дані досліджень дозволяють зробити наступні висновки:

- зміна фізичних властивостей льоду на пряму залежить від хімічних особливостей насичених розчинів реагентів при їх замерзанні;
- нанесення розчинів протиожеледних реагентів з низькими температурами замерзання на покриття зменшує сили зчеплення і дозволяє майже повністю видалити укочений сніг механічним або ручним способом;
- зменшення сили змерзання кірки льоду висотою до 20 мм з дорогою можливе завдяки утворенню під льодом каналів, заповнених

концентрованими соляними розчинами. Лід слід видаляти через 2-3 години після внесення протижелезних матеріалів.

References

1. International Development of Application Methods of De-icing Chemicals - State of the Art and Best Practice. PIARC, 2019. 40 years.
2. Snow and Ice Databook - SIDB 2018EN. PIARC, 2019. 268 p. [in English].
3. Snow and Ice DataBook - SIDB 2014EN. PIARC, 2015. 223 p. [in English].
4. Didier Giloppé. Conclusions Drawn From the XVth International Winter Road Congress. Routes/Roads. 2018. N 377. P. 29–38. [in English].
5. Yurchenko V.O., Vasylenko K.O., Zabylina G.E. The influence of the highway on the environmental safety of urban areas. Life Safety. 2015. pp. 39–41.
6. Novizki L. etc. Zimowe utzzymanie drog. – Warszawa, 1981. – 102 S.
7. Runway Deicing: Simultaneous application of Liquid and Solid agents. - Airport Gorum, 1981, 11, N 2.
8. Fronc M.V. 0 problematike posypu ciest. - Strong. obzor, 1980, 4-1.
9. Shyshkov A.F., Zaporozhets V.V., Bilyakovich O.N. Theory and practice of winter maintenance of airfields: training. manual Kyiv: Dnipro, 2006. 196 p.
10. П Г.1-218-118:2009 Uniform rules for winter maintenance of highways. [Effective from 2009-11-15]. Kind. officer Kyiv-Kharkiv: Ukrdortehnologiya, 2009. 112 p.

Література

1. International Development of Application Methods of De-icing Chemicals - State of the Art and Best Practice. PIARC, 2019. 40 p.
2. Snow and Ice Databook - SIDB 2018EN. PIARC, 2019. 268 p. [in English].
3. Snow and Ice DataBook - SIDB 2014EN. PIARC, 2015. 223 p. [in English].
4. Didier Giloppé. Conclusions Drawn From the XVth International Winter Road Congress. Routes/Roads. 2018. N 377. P. 29–38. [in English].
5. Юрченко В. О., Василенко К. О., Забеліна Г. Є. Вплив автомобільної дороги на екологічну безпеку міських територій. Безпека життєдіяльності. 2015. С. 39–41.
6. Novizki L. etc. Zimowe utzzymanie drog. – Warszawa, 1981. – 102 S.
7. Runway Deicing: Simultaneous application of Liquid and Solid agents. - Airport Gorum, 1981, 11, N 2.
8. Fronc M.V. 0 problematike posypu ciest. - Siln. obzor, 1980, 4-1.
9. Шишков А. Ф., Запорожець В. В., Білякович О. Н. Теорія й практика зимового утримування аеродромів : навч. посіб. Київ : Дніпро, 2006. 196 с.
10. П Г.1-218-118:2009 Єдині правила зимового утримання автомобільних доріг. [Чинний від 2009-11-15]. Вид. офіц. Київ-Харків : Укрдортехнологія, 2009. 112 с.

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-21)

УДК 69:004.9

РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕТОДОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА

THE ROLE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN THE RESEARCH METHODOLOGY OF CONSTRUCTION OBJECTS

Синій С.В., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк), Крантовська О. М., к.т.н., доц., Ксьоншкевич Л. М., к.т.н., доц., Ксьоншкевич А.С., студентка (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса), Сунак П.О., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк)

Synii S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk), Krantovska O.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Ksonshkevych L.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Ksonshkevych A.S., student (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa), Sunak P.O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk)

Розглянуті особливості застосування інформаційно-комунікаційних технологій при формуванні методології досліджень об'єктів будівництва. Проаналізовані основні аспекти їх розвитку та перспективні напрямки. Виявлена тенденція розширення областей застосування програмованих, дистанційно керованих, інтелектуально-автоматизованих та роботизованих технічних засобів для підвищення продуктивності, пришвидшення процесів та поліпшення умов на етапах життєвого циклу будівельного об'єкта міської інфраструктури (починаючи з вишукування, проєктування, виготовлення матеріалів, зведення об'єкта, використання його протягом експлуатації та утримання, оцінки його технічного стану, ремонту та реконструкції, завершуючи ліквідацією об'єкта).

The article examines the features of the use of information and communication technologies in the formation of the methodology of research of objects in the construction industry. For Ukraine, the need and importance of information and communication technologies in the construction sector is undeniable, especially against the background of large-scale destruction of urban infrastructure. Residential, public facilities, critical infrastructure facilities, engineering and transport networks, etc. need restoration, repair, modernization or even complete reconstruction. The authors analyzed the main aspects of the development of information and communication technologies and future promising directions. The trend of expanding the areas of application of programmed, remotely controlled, intelligently automated and robotic technical means for increasing productivity, speeding up processes and improving conditions at any stage of the

construction object's life (starting from the search, design, production of materials, construction of the object, using it for its purpose during the established period of operation, assessment of technical condition, repair, and reconstruction, ending with the liquidation of the object). Attention is paid to such areas as modern development of equipment and technical systems for production needs of construction, repair, and reconstruction; application of automated, robotic devices, machines, technical systems of various mechanical and technological, information and communication complexity; BIM-based on 3D digital models; application of global positioning systems, which performs modeling in the fields of cartography, general planning of territories, navigation and monitoring of vehicles and flows, monitoring and management of urban water supply and sewage networks; implementation of software information and calculation complexes; application of AI. It is noted that the further development of information and communication technologies in the construction industry will lead to an increase in opportunities and prospects for the development of scientific and technical research and will allow the building of relationships to accelerate joint scientific and technical development, and can also provide equal opportunities for all researchers in the global society both at the level of countries and their regions.

Ключові слова: будівництво та реконструкція, експлуатація та утримання, інженерні та транспортні мережі, методологія досліджень, науково-технічні дослідження, інформаційно-комунікаційні технології, BIM-технології, ШІ.

Keywords: construction and reconstruction, operation and maintenance, engineering and transport networks, research methodology, scientific and technical research, information and communication technologies, BIM technologies, AI.

Постановка проблеми. У світі будівельна галузь вважається однією з найбільших за потенціалом застосування інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), а тому актуальним є вивчення питань їх використання у методології досліджень об'єктів будівництва. Беззаперечною та актуальною в умовах сьогодення України є потреба та важливість прискорення розвитку інформаційних та комунікаційних технологій у будівельній сфері, особливо на тлі масштабних руйнувань війною міської інфраструктури та забудови. Відновлення, ремонту, модернізації або навіть повної відбудови потребують як житлові, громадські об'єкти, так і об'єкти критичної інфраструктури, інженерні та транспортні мережі тощо.

Аналіз відомих досліджень і публікацій підтвердив прискорений світовий розвиток комп'ютерних, інформаційних, комунікаційних технологій, впровадження яких у методологію наукових досліджень дозволяє підвищити її якість та ефективність при одночасному збільшенні об'ємів вихідної інформації, складності наукових та технічних завдань, швидкості математичних операцій (враховуючи числові методи досліджень) та інформаційної забезпеченості досліджень, стимулює розвиток інновацій, позитивно впливає на науковий рівень,

конкурентоспроможність результатів досліджень науково-дослідницької структури або окремого науковця [1-28 та ін.].

Результатом вдосконалення та впровадження ІКТ у методології наукових та науково-технічних досліджень у будівництві та цивільній інженерії є сприяння та створення нових технічних, технологічних та економічних можливостей інноваційного розвитку усіх сфер будівництва, що дозволяє підвищувати ефективність, продуктивність, безпечність, виробництва і праці, безпечність, конкурентоздатність об'єктів будівництва.

Мета статті – дослідження особливостей застосування ІКТ у методології досліджень об'єктів будівництва.

Основні завдання: виявити та проаналізувати тенденції розвитку ІКТ та перспективні напрямки їх застосування у методології теоретичних та практичних досліджень об'єктів будівництва.

Виклад основного матеріалу. Розвиток сучасної будівельної галузі спирається на розвиток техніки та технічних систем, технологій у будівництві та цивільній інженерії. Особливо значний прогрес у цих напрямках досягається при адаптації технічних систем ІКТ до вирішення поставлених завдань. Першим етапом зазвичай є впровадження таких технологій у методології наукових та науково-технічних досліджень. Другим – на основі цих методологій досліджень розробка нормативних методик інженерного розрахунку та проектування, будівництва, експлуатації, утримання об'єктів будівництва, законодавчої бази на основі принципів сталого розвитку. При цьому на завершальному третьому етапі розвитку методології наукових та науково-технічних досліджень стає рушієм інновацій, їх поширення і впровадження у виробництво.

Аналіз сучасних досліджень показує, що завдяки новим технічним та технологічним можливостям удосконалених та нових методологій досліджень область їх застосування у будівельній галузі постійно розширюється, що сприяє технічному прогресу у будівництві та інших галузях, дотичних до вирішення спільних з будівництвом завдань (наприклад, об'єднаних: урбан-аналізом; лазерним скануванням пам'яток історії та культури; проектуванням, обстеженням, аналізом та забезпеченням енергоефективності об'єкта будівництва, тощо [1-13, 16-28 та ін.]). Таким чином зростає кількість досліджуваних питань, що мають мультидисциплінарний характер, і ця тенденція є стійкою. ІКТ дозволяють поєднувати різноманітну інформацію в конкретній методиці чи методи досліджень, а отже і вирішувати такі мультидисциплінарні питання.

Сучасний розвиток Індустрії 4.0 [7-9 та ін.] (останнім часом зростає кількість наукових публікацій щодо перспектив розвитку Індустрії 5.0 [10 та ін.] та Індустрії 6.0 [11 та ін.]) характеризується автоматизацією, роботизацією, інтелектуалізацією пристроїв, машин, технічних систем, і ця тенденція у перспективі лише посилюватиметься [8-13 та ін.]. Враховуючи взаємодію людини з цими продуктами розвитку техніки та технологій, у

методології наукових досліджень у будівництві та цивільній інженерії все частіше серед об'єктів досліджень зустрічаються не лише "традиційні" – об'єкти будівництва чи їх конструкції, матеріали, але і системи взаємодії людини з технікою та технічними системами, оточуючим середовищем (наприклад, системи симбіотичної взаємодії людина-машина, людина-робот, людина-кобот [10, 13 та ін.] у виробничих процесах, враховуючи у галузі будівництва), що підтверджує актуальність впливу ІКТ на сучасну тематику технічних досліджень загалом і будівництва зокрема.

У результаті такої взаємодії ІКТ та методології наукових досліджень, у будівництві спостерігається тенденція розширення областей застосування програмованих, дистанційно керованих та інтелектуальних (розумних) автоматизованих та роботизованих технічних засобів – від елементів екзоскелету (а також актуальних для наслідків російсько-української війни – біонічних протезів) для полегшення праці та підвищення продуктивності роботи робітника (наприклад, в позі навприсядки; для перенесення чи монтажу легких та важких будівельних виробів, елементів та вантажів тощо), техніки (пристроїв, машин та установок, роботів та коботів) для виконання технологічних операцій в реальних умовах будівельного майданчика (навантаження/переміщення та складання будівельних виробів, конструкцій та матеріалів; монтажу та демонтажу конструкцій, тощо) до 3D принтерів (для влаштування будівельних конструкцій, друкування елементів будівель, споруд), систем управління технологічними процесами (інформаційно-комунікаційних систем контролю та регулювання робочих параметрів технічних систем; технологій лазерного сканування будівель та споруд, будівельних майданчиків, площ заводської логістики та контролю якості продукції, територій; технологій із застосуванням дронів; тощо).

У сфері інформаційного обміну проектними моделями під впливом розвитку ІКТ на диджиталізацію проектною документації на сьогодні відбувається перехід від систем автоматизованого проектування (САПР) до інформаційного моделювання будівель (BIM), тобто від паперової документації та площинного 2-вимірного автоматизованого проектування (CAD) – до об'ємного відтворення 3-вимірних цифрових моделей. Ця тенденція врахована і українськими нормативами [14, 15 та ін.].

До перспективних та зі стрімким прогресом напрямків використання ІКТ у будівництві та цивільній інженерії належать технології на основі систем глобального позиціонування (GPS), зокрема за допомогою технологій геоінформаційних систем (GIS) здійснюється моделювання: у сферах геодезії і картографії; з генпланування територій; з визначення об'ємних рішень будівель і споруд, інженерних і транспортних мереж; з навігації і моніторингу транспортних засобів і потоків; з моніторингу і управління міськими мережами водопостачання та каналізації; тощо.

Одним з напрямків застосування ІКТ у будівництві та цивільній інженерії, що швидко розвиваються, є розробка та впровадження

програмних інформаційно-розрахункових комплексів. Вони зазвичай складаються з спеціалізованих програмних пакетів, які збирають (в автоматичному режимі чи при ручному введенні даних – текстових, цифрових, схематичних, креслень, картографічних матеріалів, зображень тощо), обробляють (перетворюють інформацію у форму, зручну для подальшої роботи з нею) та зберігають показники з певного напрямку роботи інформаційно-розрахункового комплексу. Далі, створена таким чином база даних підлягає дії математичної обробки, систематизації чи інших інформаційних процесів за допомогою інформаційних та розрахункових програм, які спеціально розроблені чи є на загальнодоступних в інтернеті платформах. Наприклад у будівництві та цивільній інженерії це комплекси програмного забезпечення в областях [1-13, 16-28 та ін.]: геоінформаційних технологій та комп'ютерного моделювання інженерних комунікацій – EPANET, SCADA, Bentley від Bentley Systems, MIKE OPERATIONS, GCC RIKOM та ін.; BIM-технологій – LIPA-CAIP, ANSYS та ін. з адаптацією до багатьох програм САD-пакетів (AutoCAD Revit, тощо); технологій білінгових інформаційних систем; технології лазерного сканування; технологій будівельного матеріалознавства з дослідження структури матеріалів. При цьому слід розуміти, що цей наведений перелік інформаційно-розрахункових комплексів є неповним, оскільки постійно розширюється з охопленням все більшої кількості областей досліджень у будівництві та цивільній інженерії та враховуючи їх прикладне значення має зазвичай мультидисциплінарний характер. Тому зважаючи на досить велику різноманітність та кількість відповідних інформаційно-розрахункових програмних продуктів їх уточнений пошук та вибір для потреб наукових досліджень методологічно правильно узгоджувати з визначеною темою досліджень.

Для прогнозування та вивчення явищ, процесів, що відбуваються у матеріалах і конструкціях будівель, споруд та інших об'єктах цивільної інженерії, комп'ютерне моделювання відіграє важливу роль, і у перспективі вона ще більше зростатиме завдяки прогресу можливостей ІКТ. Також при проведенні теоретичних та експериментальних досліджень комп'ютерне моделювання надає змогу вирішувати складні математичні розрахунки [19, 28 та ряд ін.], проводити візуалізацію даних, управляти технологічними процесами, тощо. Відомі поширені програмні продукти MATLAB, LabVIEW, Maple та ін.

Значний потенціал застосування у наукових дослідженнях будівельної сфери набуває технологія штучного інтелекту (ШІ), її впровадження дозволяє отримати нову інформацію та знання, підвищити якість, ефективність, інноваційність виконання таких досліджень. За останнє десятиліття спостерігається особливо бурхливий розвиток застосування ШІ в різноманітних сферах людської діяльності. Рушієм такого розвитку є відповідні наукові дослідження у галузях виробництва та інтеграція їх

результатів у великі проекти. Відповідно в обчислювальних навантаженнях глобальної системи нейромережі відбувається ріст частки розробок програмного забезпечення для ШІ. Це вже спричиняє зростання ринку хмарних послуг для сучасних та перспективних методів отримання та обробки даних. Одночасно із проникненням ШІ у сфери людської діяльності спостерігається тенденція зростання ролі безпекових заходів щодо доступності несанкціонованого користування чутливою інформацією (комерційними таємницями, закритою державною та службовою інформацією, даними наукових досліджень, особистими даними та приватною інформацією людей тощо), аж до впровадження заходів окремого функціонування ШІ-систем. Також, поряд з вирішенням питань безпеки, на порядку денному сучасного розвитку технологій генеративного ШІ гостро постало питання вирішення етичних проблем роботи, розвитку та навчання ШІ-систем.

Висновки. Підсумовуючи все вище сказане слід відмітити, що під впливом ІКТ у сучасній будівельній галузі формується методологія наукових досліджень об'єктів будівництва, яка допомагає краще зрозуміти наукові проблеми та ефективніше їх вирішувати. Впровадження ІКТ в методологію наукових досліджень будівельної галузі не лише нарощує темпи застосування, а й поглиблює існуючі напрямки досліджень, розширяючи їх та збільшуючи частку методів та методик досліджень з використанням ІКТ.

У сфері будівництва та цивільної інженерії постійно зростає частка наукових досліджень, методологія яких формується поєднанням наукових методів та методик з прогресивними досягненнями ІКТ (використовуючи методи комбінації, симбіозу, імплементації, синергії тощо), що дозволяє вирішувати все більш складні технічні, технологічні та розрахункові завдання. Це стосується і сфер будівельного проектування, розрахунку, виробництва, будівництва та реконструкції, експлуатації та утримання об'єктів будівництва.

References

1. Shumanov I., Tabachnikov, S., Nalivayko T. et al. Innovative methods of planning and reconstruction of historical heritage buildings using a 3d scanner. *Municipal Economy of Cities*, 2023, 4(178), 65–71. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-65-71>
2. Melnyk Yu.A., Vereshko O.V., Melnyk O.V., Vereshko A.O. Use modern information technologies for town planning needs. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk, LNTU. 2023. Vol. 20. P. 171-179. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10\(20\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10(20)-08)
3. Synii S.V., Melnyk Yu.A., Sunak P.O., Ksonshkevych L.M., Krantovska O.M. Design of sewerage networks using the principles of SWOT analysis. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk, LNTU. 2021. Vol. 16. P. 171-179. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-22)

4. Rane N., Choudhary S., Rane J. Leading-Edge Technologies for Architectural Design: A Comprehensive Review. *Int. J. Arch. and Plan.* 2023, 3(2), 12–48.
5. Deprêtre A., Jacquindot F., Barroca B., Becue V. Development of an Intensity of Uses Index to Support Design Decision-Making and Improve Urban Development Quality. *Cities*, 2024, 147, 104779. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104779>
6. Synii S. V., Krantovska O. M., Ksonshkevych L. M., Orešković M., Sunak P. O. Rationale of structures of fencing of the territory of the Lutsk Zoo, taking into account the analysis of the history of urbanization of landscape. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk, LNTU, 2022. Vol. 17. pp. 138-145. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7\(17\)-18](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-18)
7. Zairul M. et al. Thematic Trends in Industry 4.0 Revolution Potential towards Sustainability in the Construction Industry. *Sustainability*, 2023, 15(9), 7720.
8. Alaloul W.S. et al. Industrial Revolution 4.0 in the Construction Industry: Challenges and Opportunities for Stakeholders. *Ain Shams Eng. J.* 2020, 11, 225–230.
9. Sunak P. O., Synii S. V., Melnyk Yu. A. et al. Reconstruction of engineering structures and engineering networks, landscape based on laser scanning technology. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk, LNTU. 2022. Vol. 18. P.147-161. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-16)
10. Pizoń J., Gola A. Human-Machine Relationship – Perspective and Future Roadmap for Industry 5.0 Solutions. *Machines*, 2023, 11(2), 203.
11. Almusaed A., Yitmen I., Almssad A. Reviewing and Integrating AEC Practices into Industry 6.0: Strategies for Smart and Sustainable Future-Built Environments. *Sustainability*. 2023; 15(18), 13464. <https://doi.org/10.3390/su151813464>
12. Guo H., Lin J.-R., Yu Y. Intelligent and Computer Technologies Application in Construction. *MDPI*. 2023. 306p. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-8151-4>
13. *Construction & Robotics: Research Driven Project*. Ed. Sigrid Brell-Cokcan, Thomas Adams. 2021. Vol. 1: Research Paper / SS.
14. DSTU ISO 19650-1:2020 Information management using BIM. Part 1: Concepts and principles (ISO 19650-1:2018, IDT). Kyiv, DP «UkrNDNTs», 2020.
15. DSTU ISO 19650-2:2020 Information management using BIM. Part 2: Delivery phase of the assets (ISO 19650-2:2018, IDT). Kyiv, DP «UkrNDNTs», 2020.
16. Semykina, O., Kuzmina, H. Problems of forming information systems in the urban environment. *Current Problems of Architecture and Urban Planning*, 2023 (65), 260–270. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.65.260-270>
17. Kostrikov, S.V., Chuyev O.S. Analiz dvorivnevnykh urboheosystem cherez zasoby GIS. *Visnyk KHNU*. Kharkiv, Vyd-vo KHNU, 2016. Vyp. 44. S. 98–109.
18. Krantovska O., Ksonshkevych L., Synii S. et al. Modeling of the stress-strain state of a continuous reinforced concrete beam in ANSYS mechanical. *AIP Conference Proceedings*. 2023, Vol. 2684, Is. 1, 030021. <https://doi.org/10.1063/5.0142710>
19. Ansys. Structures. URL: <https://www.ansys.com/products/structures>
20. Pasichnyk R., Pasichnyk O., Uzhegova O. et al. Calculation Optimization of Complex Shape Shells by Numerical Method. *LNME*. 2020. pp 643–652.
21. Krantovska O. M., Ksonshkevych L. M., Petrov M. M. et al. Deflections of continuous reinforced concrete elements. *IOP Confer. Ser.: Materials Science and Eng.* 2019, Vol. 708, Num. 1, 012061. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012061>
22. Krantovska O., Petrov M., Ksonshkevych L. et al. Numerical simulation of the stress-strain state of complex-reinforced elements. *Technical Journal*. University North, 2019, Vol. 13, No. 2, pp.110-115. <https://doi.org/10.31803/tg-20190417112619>

23. Alexis J., Amorochio P., Hartmann T. Reno-Inst: An ontology to support renovation projects planning and renovation products installation. *Advanced Engineering Informatics*, 2021 Vol. 50, 101415. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101415>
24. Solovej O.L. Modeli i metody informacijnoyi tehnologiyi upravlinnya rozvytkom system vodopostachannya mist: avtoref. dys. kand. techn. nauk : 05.13.06 – Informacijni tehnologiyi; KNUBA. K., 2013. 18 s.
25. Hamilton S., Charalambous B, Wyeth G. *Improving Water Supply Networks: Fit for Purpose Strategies and Technologies*. IWA Publishing, 2021. 103 p.
26. Ksonshkevych L.M., Barabash I.V., Krantovska O.M., Synii S.V., Sunak P.O. Disperse reinforced concrete with polycarboxylate addition on a mechanically activated binder. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. N 1. 012092. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012092>
27. Ksonshkevych L. M., Krantovska O. M., Synii S. V. et al. High-strength modified concrete for the reconstruction of engineering structures and networks, roads. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk, LNTU. 2022. Vol. 18. P. 52-60. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-07](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-07)
28. RICOM. URL: <https://rikom.city/>

Література

1. Шумаков І., Табачников С., Наливайко Т. та ін. Інноваційні методи планування і реконструкції будівель історичної спадщини з використанням 3d сканера. *Комунальне господарство міст*. Харків: ХНУМГ, 2023. 4(178), С.65-71. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-65-71>
2. Мельник Ю.А., Верешко О.В., Мельник О.В., Верешко А.О. Використання сучасних інформаційних технологій для містобудівних потреб. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк. ЛНТУ, 2023. Вип. 20. С. 171-179. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10\(20\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10(20)-08)
3. Синій С. В., Мельник Ю. А., Сунак П. О., Ксьоншкевич Л. М., Крантовська О. М. Проектування каналізаційних мереж з використанням принципів SWOT-аналізу. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк. ЛНТУ, 2021. Вип. 16. С. 171-179. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-22)
4. Rane N., Choudhary S., Rane J. Leading-Edge Technologies for Architectural Design: A Comprehensive Review. *Int. J. Arch. and Plan.* 2023, 3(2), 12-48.
5. Deprêtre A., Jacquinod F., Barroca B., Becue V. Development of an Intensity of Uses Index to Support Design Decision-Making and Improve Urban Development Quality. *Cities*, 2024, 147, 104779. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104779>
6. Синій С. В., Крантовська О. М., Ксьоншкевич Л. М., Орешкович М., Сунак П. О. Обґрунтування споруд огороження території Луцького зоопарку з урахуванням аналізу історії урбанізації ландшафту. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, ЛНТУ, 2022. Вип. 17. С. 138-145. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7\(17\)-18](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-18)
7. Zairul M. et al. Thematic Trends in Industry 4.0 Revolution Potential towards Sustainability in the Construction Industry. *Sustainability*, 2023, 15(9), 7720.
8. Alaloul W.S. et al. Industrial Revolution 4.0 in the Construction Industry: Challenges and Opportunities for Stakeholders. *Ain Shams Eng. J.* 2020, 11, 225–230.
9. Сунак П. О., Синій С. В., Мельник Ю. А. та ін. Реконструкція інженерних споруд та мереж, ландшафту на основі технології лазерного сканування. *Сучасні*

технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк, ЛНТУ, 2022. Вип. 18. С.147-161. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-16)

10. Pizoń J., Gola A. Human-Machine Relationship – Perspective and Future Roadmap for Industry 5.0 Solutions. *Machines*, 2023, 11(2), 203.

11. Almusaed A., Yitmen I., Almssad A. Reviewing and Integrating AEC Practices into Industry 6.0: Strategies for Smart and Sustainable Future-Built Environments. *Sustainability*. 2023; 15(18), 13464. <https://doi.org/10.3390/su151813464>

12. Guo H., Lin J.-R., Yu Y. Intelligent and Computer Technologies Application in Construction. *MDPI*. 2023. 306p. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-8151-4>

13. *Construction & Robotics: Research Driven Project*. Ed. Sigrid Brell-Cokcan, Thomas Adams. 2021. Vol. 1: Research Paper / SS.

14. ДСТУ ISO 19650-1:2020 Управління інформацією з використанням BIM. Ч.1. Концепції та принципи (ISO 19650-1:2018, IDT). Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2020.

15. ДСТУ ISO 19650-2:2020 Управління інформацією з використанням BIM. Ч.2. Етап будівництва (ISO 19650-2:2018, IDT). Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2020.

16. Семикіна О., Кузьміна Г. Проблеми формування інформаційних систем в міському середовищі. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. К. КНУБА, 2023. Вип.65. С.260-270. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.65.260-270>

17. Костріков, С.В., Чуев О.С. Аналіз дворівневих урбогеосистем через засоби ГІС. Вісник ХНУ. Харків: Вид-во ХНУ, 2016. Вип. 44. С. 98-109.

18. Krantovska O., Ksonshkevych L., Synii S. et al. Modeling of the stress-strain state of a continuous reinforced concrete beam in ANSYS mechanical. *AIP Conference Proceedings*. 2023, Vol. 2684, Is. 1, 030021. <https://doi.org/10.1063/5.0142710>

19. Ansys. Structures. URL: <https://www.ansys.com/products/structures>

20. Pasichnyk R., Pasichnyk O., Uzhegova O. et al. Calculation Optimization of Complex Shape Shells by Numerical Method. *LNME*. 2020. pp 643–652.

21. Krantovska O. M., Ksonshkevych L. M., Petrov M. M. et al. Deflections of continuous reinforced concrete elements. *IOP Confer. Ser.: Materials Science and Eng.* 2019, Vol. 708, Num. 1, 012061. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012061>

22. Krantovska O., Petrov M., Ksonshkevych L. et al. Numerical simulation of the stress-strain state of complex-reinforced elements. *Technical Journal*. University North, 2019, Vol. 13, No. 2, pp.110-115. <https://doi.org/10.31803/tg-20190417112619>

23. Alexis J., Amorochio P., Hartmann T. Reno-Inst: An ontology to support renovation projects planning and renovation products installation. *Advanced Engineering Informatics*, 2021 Vol. 50, 101415. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101415>

24. Соловей О.І. Моделі і методи інформаційної технології управління розвитком систем водопостачання міст : автореф. дис. к.т.н. КНУБА. К., 2013. 18 с.

25. Hamilton S, Charalambous B, Wyeth G. *Improving Water Supply Networks: Fit for Purpose Strategies and Technologies*. IWA Publishing, 2021. 103 p.

26. Ksonshkevych L.M., Barabash I.V., Krantovska O.M., Synii S.V., Sunak P.O. Disperse reinforced concrete with polycarboxylate addition on a mechanically activated binder. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. N 1. 012092. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012092>

27. Ксьоншкевич Л.М., Крантовська О.М., Синій С.В. та ін. Модифіковані високоміцні бетони для реконструкції інженерних споруд та мереж, доріг. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк. ЛНТУ, 2022. Вип. 18. С. 52-60. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-07](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-07)

28. PIKOM. URL: <https://rikom.city/>

УДК 69:004.9

РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕТОДОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ

THE ROLE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN ENGINEERING NETWORK RESEARCH METHODOLOGY

Синій С.В., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк), Ксьоншкевич Л.М., к.т.н., доц., Крантовська О.М., к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса), Крантовський І.О., магістр (Національний університет "Одеська політехніка", Одеса), Орешкович М., к.т.н., доц. (Північний університет, Вараздін, Хорватія)

Synii S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk), Ksonshkevych L.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Krantovska O.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa), Krantovskiy I.O., master (National university "Odesa polytechnic", Odesa), Orešković M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (University North, Varaždin, Croatia)

Розглянуто напрямки застосування інформаційно-комунікаційних технологій у методології досліджень інженерних мереж (водопостачання та каналізації, тепlopостачання, опалення та вентиляції, газопостачання). Проаналізовано тенденції розвитку впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у інженерних мережах, яке на сьогодні відбувається на різних рівнях технічної та технологічної складності. Адаптація та інтеграція інформаційно-комунікаційних технологій у інженерні мережі дозволяє розглядати об'єкти досліджень у методології досліджень інженерних мереж як ефективне інтегроване виробничо-технологічне середовище, як основа інтелектуальної техніко-технологічної системи з функціями самомоніторингу, самоаналізу та саморегулювання.

The article examines the directions of application of information and communication technologies in the methodology of theoretical and practical studies of engineering networks (water supply and sewerage, heat supply, heating and ventilation, gas supply), which are laid in buildings and structures, and are also an important part of the infrastructure of settlements. Development trends and prospects for the introduction of information and communication technologies in engineering networks are analyzed. It was noted that such implementation currently takes place at various levels of technical and technological complexity. In particular, this happens from the technically simple improvement of automation processes for measuring engineering network parameters to

the technically and theoretically complex process construction of flexible multi-organizational structures of intelligent engineering network management systems.

In recent decades, there has been a dynamic development of the processes of adaptation and integration into engineering networks of advanced technical systems of information and communication technologies. Such dynamism makes it possible to consider research objects in the engineering network research methodology as an effective integrated production and technological environment. It has been established that the development of this environment is subject to the direction of the formation of an intelligent technical and technological system, which independently performs the functions of monitoring, analysis, and regulation and thus fulfills the tasks of intelligent management of the engineering network programmed by humans. The use of information and communication technologies improves the research methodology regarding work with scientific and technical information; technical design support; application of mathematical apparatus; modeling of objects and processes; preparation, conducting, and obtaining the results of experimental and theoretical studies; generalization, presentation, distribution of research results; management of the scientific research work, intellectualization of engineering networks.

Ключові слова: інженерні мережі, будівництво, реконструкція, модернізація, експлуатація, методологія досліджень, науково-технічні дослідження, інформаційно-комунікаційні технології.

Keywords: engineering networks, construction, reconstruction, modernization, operation, research methodology, scientific and technical research, information and communication technologies.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) зумовив зростання їх ролі у сучасній методології досліджень інженерних мереж та відповідає тенденції підвищення не лише техніко-технологічних, але й екологічних та економічних, соціальних вимог до функціонування інженерних мереж в умовах світових процесів урбанізації, інтелектуалізації середовища діяльності людини. Відповідні прогресивні зміни у методології досліджень мають торкнутися практично усіх фундаментальних та прикладних досліджень інженерних мереж, а тому продовження та розширення кола питань із зазначеної тематики досліджень має науково-практичну цінність і зумовлює актуальність їх вивчення з метою широкого впровадження.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Проведений аналіз публікацій досліджень показав, що сучасний розвиток теорії та методології досліджень інженерних мереж як складових досліджень у будівництві часто спирається на загальнобудівельний підхід та мультидисциплінарні методи (наприклад, методології досліджень у різноманітних сферах будівництва на основі методу скінченних елементів, SWOT-аналізу тощо), тісно пов'язаний з використанням ІКТ і така методологія постійно перебуває у полі зору та активно застосовується вітчизняними та закордонними дослідниками [1-20 та ін.]. Однак враховуючи широкий спектр питань, що

досліджуються з використанням ІКТ, ця проблематика розглянута недостатньо.

Виходячи з цього, аналіз та визначення перспектив розвитку можливостей ІКТ у науково-практичних дослідженнях інженерних мереж сприятиме технічному прогресу у розвитку міської інфраструктури та відповідає цілям сталого розвитку населених пунктів.

Зважаючи на швидкі темпи розвитку сучасних ІКТ, стаття присвячена аналізу актуальних їх можливостей для методології досліджень інженерних мереж.

Мета статті – дослідження особливостей застосування ІКТ у методології досліджень інженерних мереж.

Основні завдання: виявити та проаналізувати тенденції розвитку ІКТ та перспективні напрямки їх застосування у методології теоретичних та практичних досліджень інженерних мереж.

Виклад основного матеріалу. ІКТ поступово стають одним з ключових засобів підвищення ефективності методології досліджень інженерних мереж, їх важливість у відповідних теоретичних дослідженнях та практичній діяльності постійно зростає.

Перспективними у дослідженнях у сфері будівництва та цивільної інженерії, враховуючи й більшість напрямків науково-технічних досліджень інженерних мереж, що стосуються їх будівництва, реконструкції, модернізації, експлуатації та утримання є автоматизація робочих процесів з активним використанням динамічно зростаючих можливостей ІКТ. Це також впливає з проаналізованих результатів ряду досліджень та впроваджених практик, таких як [1, 7, 8, 10-15, 18-25 та ін.].

Зокрема, в інженерних мережах активно впроваджуються технології автоматичної ідентифікації мікропроцесорним пристроєм (комп'ютером, програмованим контролером) масивів вимірних даних параметрів технологічних процесів [1, 7, 8, 10, 12, 13 та ін.], що зібрані та передані від датчиків, засобів вимірювання.

Завдяки автоматизації технологічних процесів (шляхом автоматизованого збирання та передачі даних замість їх вводу людиною вручну з клавіатури, ідентифікації та кодування інформації, відслідковування та контролю в режимі онлайн роботи як самих досліджуваних об'єктів так і пристроїв вимірювання параметрів цієї роботи) суттєво підвищується оперативність виробничих процесів, що сприяє підвищенню ефективності прийняття рішень людиною або реагування інтелектуальної системи щодо керування технологічним процесом. Така оперативність особливо важлива для запобігання аварійних ситуацій різного роду та масштабу на зовнішніх та внутрішніх системах міських інженерних мереж (водопостачання, каналізації, тепlopостачання та вентиляції, газопостачання тощо).

Важливою технічною можливістю ІКТ для методології досліджень інженерних мереж є також дистанційність взаємодії з об'єктом досліджень, оскільки особливостями цих мереж є: їх розгалуженість; значні віддалі між їх пристроями, обладнанням; важкодоступне для візуального та технічного обстеження прокладання їх ділянок (у будівельних конструкціях, важкодоступних місцях будівель та споруд, підземне та надземне тощо).

На сучасному технічному рівні ІКТ (враховуючи розвиток технологій ВІМ, ГІС, ІІІ, хмарних, мобільного зв'язку та інтернету речей, лазерного сканування тощо) проблема дистанційності взаємодії в інженерних мережах з об'єктом досліджень стала практично повністю вирішеною, а тому на сьогодні удосконалення інженерних систем в цьому напрямку продовжується шляхом розширення сфери застосування технічних та технологічних способів та методів дистанційної комунікації, доступності, роботизації та інтелектуалізації мереж, як це бачимо у [1, 15 та ін.].

Наприклад, для потреб інформаційної технології (ІТ) надання послуг онлайн-системи білінгу [11, 14 та ін.] у ЖКГ активно розвивається дистанційна (без потреби поквартирного обходу людиною-контролером) технологія збору даних показників водолічильників. Зокрема, реалізація збирання даних відбувається із застосуванням ІТ дистанційної періодичної (з частотою орієнтовно раз на 10 с) передачі даних (наприклад, радіоканалом типу мобільного зв'язку) від усіх водолічильників усіх будинків конкретної вулиці. Вони збираються при русі вулицею автомобіля, в салоні якого людина-оператор керує системою дистанційного зчитування даних на ноутбук(ки) чи інші технічні засоби. Далі, зібрані таким чином дані з водолічильників системи водопостачання населеного пункту переносяться на сервер підприємства послуг з водопостачання (наприклад USB-кабелем чи флешкою). Зазвичай програмне забезпечення такої технології дозволяє збирати, систематизовувати дані від водолічильників, обробляти та зберігати результати, передавати інформацію в межах пристроїв цієї ІТ та комунікувати з іншими ІКТ – білінгу, інформаційно-розрахунковими комплексами тощо.

Іншим прикладом аналогічної ІТ для потреб білінгу у теплопостачанні багатоквартирних житлових будинків є технологія дистанційної передачі даних про споживання тепла від опалювальних приладів квартир, яка зокрема актуальна для більшості збудованих до 2012-х років багатоквартирних будинків населених пунктів України із загальнобудинковою системою опалення, стояки якої подають теплоносій вздовж зовнішніх стін будинку вертикально об'єднуючи подачу тепла до опалювальних приладів різних квартир. При такій системі точний облік споживання тепла окремою квартирою складно і дорого, а тому недоцільно виконувати від приладів облік тепла, інсталюваних у трубопроводі системи перед практично кожним опалювальним приладом. Реконструкція (чи модернізація) такої загальнобудинкової системи опалення в систему з

горизонтальними петлями розподільчих трубопроводів для об'єднання усіх опалювальних приладів квартири у складі окремих поквартирних систем опалення є для мешканців також складною (демонах-монтаж системи) і дорогою (а в окремих випадках це і недоцільні витрати на демонтаж порівняно нової системи опалення), тривалою (враховуючи потребу розробки нового проекту), а тому не набула практичного поширення у багатоквартирних житлових будинках.

Як варіант фінансово доступного для мешканців багатоквартирних будинків та з мінімальними обсягами будівельних робіт на сходових клітках і в тепловому пункті будинку вирішення цієї проблеми є застосування ІТ з влаштуванням реєстраторів тепла на кожному опалювальному приладі (операції вимірювання та періодичної дистанційної передачі даних), передачі радіосигналом даних від опалювальних приладів до концентраторів даних на сходових клітках (операції збору, систематизації та періодичної дистанційної передачі даних), які в свою чергу передають радіосигналом дані до серверів секцій будинку (для багатосекційного багатоповерхового будинку) або відразу до загальнобудинкового сервера (операції збору, систематизації, зберігання та періодичної дистанційної передачі даних). Від загальнобудинкового сервера дані збираються автоматично через кабельні мережі зв'язку на сервер підприємства надання послуг теплопостачання або періодично – при русі вулицею автомобіля, в салоні якого людина-оператор керує системою дистанційного зчитування даних на ноутбук(ки) чи інші технічні засоби. Функціональність програмного забезпечення та комунікацій такої технології з іншими ІКТ дозволяють виконувати завдання операцій з обробки даних роботи тепломережі аналогічні з розглянутою вище технологією збору даних від усіх водолічильників на мережі водопостачання території забудови населеного пункту.

Покажемо у даному випадку є те, що технічна задача з поквартирного обліку тепла завдяки застосуванню ІТ вирішується без будь-якого втручання в конструкцію та роботу системи опалення чи теплопостачання. Таким чином, за допомогою ІТ використано принципово новий підхід до вирішення інженерного завдання, що дозволяє уникнути притаманних реконструкції [10 та ін.] різноманітних ризиків з перевитрат коштів та зниження ефективності інженерної системи.

За останні десятиліття спостерігається динамічний розвиток процесів адаптації та інтеграції у інженерні мережі прогресивних технічних систем ІКТ, які активно впроваджуються виробниками продукції [1, 8, 14, 15, 21-25 та ін.] для інженерних мереж та загалом галузі будівництва.

Узагальнюючи виявлені тенденції слід відзначити, що у методології досліджень інженерних мереж застосування ІКТ охоплює все більше коло питань теоретичного та практичного значення.

Важливим кроком у цьому напрямку є застосування різноманітних програмних комплексів для вирішення складних завдань вимірювання параметрів, моделювання, аналізу та прогнозування, керування робочими процесами інженерних мереж на основі програмно-технічних, програмно-розрахункових, інформаційно-розрахункових пакетів для проведення досліджень та контрольованого управління робочими процесами за допомогою комп'ютерів (зазвичай разом з настінними розробляються і мобільні додатки програмних комплексів – для планшетів, як от у вітчизняній розробці [20]) чи робочих станцій з набором периферійних пристроїв у складі локальних і глобальних комп'ютерних мереж.

Використання у методології досліджень інженерних мереж таких програмних комплексів дозволяє науковцям та інженерам-виробничникам розглядати об'єкти досліджень як ефективне інтегроване виробничо-технологічне середовище (починаючи від моніторингу вихідних даних і закінчуючи контрольованим регулюванням параметрів роботи інженерної мережі), розвиток якого підпорядковується напрямку формування інтелектуальної техніко-технологічної системи, яка самостійно здійснює функції свого моніторингу, аналізу та регулювання і таким чином виконує запрограмовані людиною завдання інтелектуального управління інженерною мережею.

Отже, застосування ІКТ підвищує автоматизацію, інтелектуалізацію, оперативність технічних та технологічних питань виконання досліджень інженерних мереж, вдосконалює методологію досліджень щодо:

- роботи з науково-технічною інформацією;
- технічного забезпечення проектування (враховуючи вимоги до використання BIM, як от [26, 27]);
- застосування математичного апарату;
- моделювання об'єктів і процесів (в тому числі створення інформаційних моделей);
- підготовки, проведення та отримання результатів експериментальних та теоретичних досліджень;
- узагальнення, презентації, поширення результатів досліджень;
- управління НДР, інтелектуалізації інженерних мереж.

Висновки. Перспективним є впровадження ІКТ у інженерних мережах, яке на сьогодні відбувається на різних рівнях технічної та технологічної складності – від удосконалення процесів автоматизації вимірювань параметрів роботи інженерних мереж до побудови процесів гнучких мультиорганізаційних структур інтелектуальних систем управління інженерними мережами.

Динамічний розвиток адаптації та інтеграції у інженерні мережі прогресивних технічних систем ІКТ дозволяє розглядати об'єкти досліджень у методології досліджень інженерних мереж як ефективне інтегроване виробничо-технологічне середовище, розвиток якого

підпорядковується напрямку формування інтелектуальної техніко-технологічної системи з функціями самомоніторингу, самоаналізу та саморегулювання.

References

1. Guo H., Lin J.-R., Yu Y. Intelligent and Computer Technologies Application in Construction. *MDPI*. 2023. 306p. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-8151-4>
2. Krantovska O., Ksonshkevych L., Synii S. et al. Modeling of the stress-strain state of a continuous reinforced concrete beam in ANSYS mechanical. *AIP Conference Proceedings*. 2023, Vol. 2684, Is. 1, 030021. <https://doi.org/10.1063/5.0142710>
3. Ansys. URL: <https://www.ansys.com/>
4. Pasichnyk R., Pasichnyk O., Uzhegova O. et al. Calculation Optimization of Complex Shape Shells by Numerical Method. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2020. pp 643–652. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_64
5. Krantovska O. M., Ksonshkevych L. M., Petrov M. M. et al. Deflections of continuous reinforced concrete elements. *IOP Confer. Ser.: Materials Science and Eng.* 2019, Vol. 708, Num. 1, 012061. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012061>
6. Krantovska O., Petrov M., Ksonshkevych L. et al. Numerical simulation of the stress-strain state of complex-reinforced elements. *Technical Journal*. University North, 2019, Vol. 13, No. 2, pp.110-115. <https://doi.org/10.31803/tg-20190417112619>
7. Aleinikova A., Bondarenko D., Goncharenko D. et al. *Methodological principles for informational and technological monitoring of the stable operation of the sewerage networks*: Monograph. Kharkiv, Rarities of Ukraine, 2022. 272 p.
8. *Construction & Robotics: Research Driven Project*. Ed. Sigrid Brell-Cokcan, Thomas Adams. 2021. Vol. 1: Research Paper / SS. URL: <https://publications.rwth-aachen.de/record/843254/files/843254.pdf>
9. Synii S.V., Melnyk Yu.A., Sunak P.O., Ksonshkevych L.M., Krantovska O.M. Design of sewerage networks using the principles of SWOT analysis. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk, LNTU. 2021. Vol. 16. P. 171-179. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-22)
10. Alexis J., Amorochio P., Hartmann T. Reno-Inst: An ontology to support renovation projects planning and renovation products installation. *Advanced Engineering Informatics*, 2021 Vol. 50, 101415. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101415>
11. Solovej O.L. *Modeli i metody informacijnoyi tehnologiyi upravlinnya rozvytkom system vodopostachannya mist: avtoref. dys. kand. texn. nauk* : 05.13.06 – Informacijni tehnologiyi; KNUBA. K., 2013. 18 s.
12. Zamanian S. et al. Resilience of Sewer Networks to Extreme Weather Hazards: Past Experiences and an Assessment Framework. *Pipelines* 2020. 2020, pp.50-59.
13. Caradot, N., Rouault, P., Clemens, F., Cherqui, F. Evaluation of uncertainties in sewer condition assessment. *Structure and Infrastructure Engineering*, 2018. 14(2), pp 264–273. <https://doi.org/10.1080/15732479.2017.1356858>
14. Синій С. В. Напрямки розвитку технологій моніторингу в системах водопостачання міста Луцька. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, ЛНТУ, 2017. Вип. 7. С. 227-232.
15. Hamilton S, Charalambous B, Wyeth G. *Improving Water Supply Networks: Fit for Purpose Strategies and Technologies*. IWA Publishing, 2021. 103 p. <https://doi.org/10.2166/9781780409207>

16. Rozum R.I., Buriak M.V., Vitrovyi A.O., Voloshyn R.V. [ta in.] Heodeziia ta zemleustrii: monohrafiia; za zah. red. R.I. Rozuma. Ternopil: TNEU, 2020. 247 s.
17. Ksonshkevych L.M., Barabash I.V., Krantovska O.M., Synii S.V., Sunak P.O. Disperse reinforced concrete with polycarboxylate addition on a mechanically activated binder. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. N 1. 012092. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012092>
18. Ksonshkevych L. M., Krantovska O. M., Synii S. V. et al. High-strength modified concrete for the reconstruction of engineering structures and networks, roads. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk, LNTU. 2022. Vol. 18. P. 52-60. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-07](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-07)
19. Sunak P. O., Synii S. V., Melnyk Yu. A. et al. Reconstruction of engineering structures and engineering networks, landscape based on laser scanning technology. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk, LNTU. 2022. Vol. 18. P.147-161. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-16)
20. RICOM. URL: <https://rikom.city/>
21. Danfoss. URL: <https://www.danfoss.com/uk-ua/>
22. Wilo Ukraine. URL: <https://wilo.com/ua/uk/БІЛІО-УКРАЇНА/>
23. Grundfos Ukraine. URL: <https://www.grundfos.com/ua/contact>
24. Herz Ukraine. URL: <https://herz.ua/>
25. Vents. URL: <https://vents.ua/>
26. DSTU ISO 19650-1:2020 Information management using BIM. Part 1: Concepts and principles (ISO 19650-1:2018, IDT). Kyiv, DP «UkrNDNTs», 2020.
27. DSTU ISO 19650-2:2020 Information management using BIM. Part 2: Delivery phase of the assets (ISO 19650-2:2018, IDT). Kyiv, DP «UkrNDNTs», 2020.

Література

1. Guo H., Lin J.-R., Yu Y. Intelligent and Computer Technologies Application in Construction. *MDPI*. 2023. 306p. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-8151-4>
2. Krantovska O., Ksonshkevych L., Synii S. et al. Modeling of the stress-strain state of a continuous reinforced concrete beam in ANSYS mechanical. *AIP Conference Proceedings*. 2023, Vol. 2684, Is. 1, 030021. <https://doi.org/10.1063/5.0142710>
3. Ansys. URL: <https://www.ansys.com/>
4. Pasichnyk R., Pasichnyk O., Uzhegova O. et al. Calculation Optimization of Complex Shape Shells by Numerical Method. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2020. pp 643–652. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_64
5. Krantovska O. M., Ksonshkevych L. M., Petrov M. M. et al. Deflections of continuous reinforced concrete elements. *IOP Confer. Ser.: Materials Science and Eng.* 2019, Vol. 708, Num. 1, 012061. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012061>
6. Krantovska O., Petrov M., Ksonshkevych L. et al. Numerical simulation of the stress-strain state of complex-reinforced elements. *Technical Journal*. University North, 2019, Vol. 13, No. 2, pp.110-115. <https://doi.org/10.31803/tg-20190417112619>
7. Aleinikova A., Bondarenko D., Goncharenko D. et al. *Methodological principles for informational and technological monitoring of the stable operation of the sewerage networks*: Monograph. Kharkiv, Rarities of Ukraine, 2022. 272 p.
8. *Construction & Robotics: Research Driven Project*. Ed. Sigrid Brell-Cokcan, Thomas Adams. 2021. Vol. 1: Research Paper / SS. URL: <https://publications.rwth-aachen.de/record/843254/files/843254.pdf>

9. Синій С. В., Мельник Ю. А., Сунак П. О., Ксьоншкевич Л. М., Крантовська О. М. Проектування каналізаційних мереж з використанням принципів SWOT-аналізу. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк. ЛНТУ, 2021. Вип. 16. С. 171-179. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-22)
10. Alexis J., Amorochio P., Hartmann T. Reno-Inst: An ontology to support renovation projects planning and renovation products installation. *Advanced Engineering Informatics*, 2021 Vol. 50, 101415. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101415>
11. Соловей О.Л. Моделі і методи інформаційної технології управління розвитком систем водопостачання міст : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.13.06 – Інформаційні технології; КНУБА. К., 2013. 18 с.
12. Zamanian S.et al. Resilience of Sewer Networks to Extreme Weather Hazards: Past Experiences and an Assessment Framework. *Pipelines* 2020. 2020, pp.50-59.
13. Caradot, N., Rouault, P., Clemens, F., Cherqui, F. Evaluation of uncertainties in sewer condition assessment. *Structure and Infrastructure Engineering*, 2018. 14(2), pp 264–273. <https://doi.org/10.1080/15732479.2017.1356858>
14. Синій С. В. Напрямки розвитку технологій моніторингу в системах водопостачання міста Луцька. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк: ЛНТУ, 2017. Вип. 7. С. 227-232.
15. Hamilton S, Charalambous B, Wyeth G. *Improving Water Supply Networks: Fit for Purpose Strategies and Technologies*. IWA Publishing, 2021. 103 p. <https://doi.org/10.2166/9781780409207>
16. Розум Р.І., Буряк М.В., Вітровий А.О., Волошин Р.В. [та ін.] Геодезія та землеустрій: монографія; за заг. ред. Р.І. Розума. Тернопіль, ТНЕУ, 2020. 247с.
17. Ksonshkevych L.M., Varabash I.V., Krantovska O.M., Synii S.V., Sunak P.O. Disperse reinforced concrete with polycarboxylate addition on a mechanically activated binder. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. N 1. 012092. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012092>
18. Ксьоншкевич Л.М., Крантовська О.М., Синій С.В. та ін. Модифіковані високоміцні бетони для реконструкції інженерних споруд та мереж, доріг. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк. ЛНТУ, 2022. Вип. 18. С. 52-60. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-07](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-07)
19. Сунак П. О., Синій С. В., Мельник Ю. А. та ін. Реконструкція інженерних споруд та мереж, ландшафту на основі технології лазерного сканування. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, ЛНТУ, 2022. Вип. 18. С.147-161. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-16)
20. РІКОМ. URL: <https://rikom.city/>
21. Danfoss. URL: <https://www.danfoss.com/uk-ua/>
22. Віло Україна. URL: <https://wilo.com/ua/uk/ВІЛО-УКРАЇНА/>
23. ТОВ "Грундфос Україна". URL: <https://www.grundfos.com/ua>
24. ГЕРЦ Україна. URL: <https://herz.ua/>
25. Вентс. URL: <https://vents.ua/>
26. ДСТУ ISO 19650-1:2020 Управління інформацією з використанням BIM. Ч.1. Концепції та принципи (ISO 19650-1:2018, IDT). Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2020.
27. ДСТУ ISO 19650-2:2020 Управління інформацією з використанням BIM. Ч.2. Етап будівництва (ISO 19650-2:2018, IDT). Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2020.

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ УМОВ
ЗАКРІПЛЕННЯ КІНЦІВ БАЛКИ З БУДІВЕЛЬНИМ ВИГИНОМ
НА ПЕРЕРОЗПОДІЛ НОРМАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ**

**COMPUTER MODELING OF THE EFFECT OF THE CONDITIONS
OF FIXING THE ENDS OF A BEAM WITH A CONSTRUCTION BEND
ON THE REDISTRIBUTION OF NORMAL STRESSES**

**Смоляр А.М., к.т.н., доц., Мірошкіна І.В., к.т.н., доц., Юрченко С.В.,
ст. викл., Романченко В.Р., студент (Черкаський державний технологічний
університет)**

**Smoliar A.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Miroshkina
I.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Yurchenko S.V., Senior
Lecturer, Romanchenko V.R., Student (Cherkasy State Technological
University)**

Підвищення міцності конструктивних елементів будівельних споруд є актуальною проблемою будівельної механіки. Потужним інструментом розв'язування задач механіки будівельних споруд являється комп'ютерне моделювання. Оптимізація ефективності конструктивних елементів будівельних споруд за рахунок зміни їх геометричних параметрів – важлива задача сучасного будівництва. У статті побудована комп'ютерна модель напружено-деформованого стану балки з будівельним вигином. Чисельно досліджено вплив умов кріплення кінців балки з будівельним вигином на величину поздовжньої сили та на перерозподіл відповідних нормальних напружень. Доведено ефективність будівельного вигину для залізобетонних балок. Чисельні розв'язки отримано за допомогою програмного комплексу «ЛІРА-САПР».

Strengthening of structural elements of building structures is an actual problem of construction mechanics. Computer modeling stands as a potent instrument for addressing challenges in the mechanics of building structures. Optimizing the efficiency of structural elements of building structures by changing their geometric parameters is an important task of modern construction. The paper presents a computer model of the stress-strain state of a beam with construction deflection. Such a beam has as its axis the deflection line of a straight beam, which is symmetrically reflected relative to the longitudinal axis of the corresponding beam. The deflection line of a statically determinate two-support beam was chosen for the construction deflection.

A numerical experiment has been conducted. A beam with jointly fixed supports and rigidly clamped ends is considered. Also, based on the results of the numerical experiment, the magnitude of the largest normal stresses was analyzed depending on the height of the construction deflection. The height of the deflection line was increased up to three times.

A significant redistribution of normal stresses has been demonstrated for beams with construction deflection. In such beams, there is a significant reduction in the magnitude of tensile normal stresses with increasing height of the construction deflection. The normal compressive stresses change insignificantly. The area of tensile stresses decreases rapidly, while the area of compressive stresses increases significantly.

This effect of redistribution of normal stresses in beams with a construction deflection makes it possible to reduce the cross-sectional area of beams, and for reinforced concrete beams, to reduce the amount of reinforcement.

Numerical solutions were obtained using the «LIRA-CAD» software package.

Ключові слова: балка з будівельним вигином, висота будівельного вигину, балка з шарнірно нерухомими опорами, балка з жорстко затисненими кінцями, перерозподіл нормальних напружень, комп'ютерне моделювання, чисельний експеримент, програмний комплекс «ЛІРА-САПР».

Keywords: beam with construction deflection, height of construction deflection, beam with jointly fixed supports, beam with rigidly clamped ends, redistribution of normal stresses, computer modeling, numerical experiment, «LIRA-CAD» software package.

Підвищення міцності конструктивних елементів будівельних споруд є актуальною задачею будівельної механіки.

Зміцнення за рахунок збільшення напружень стиску використовується для конструктивних елементів з крихких матеріалів. Такі матеріали добре працюють на стиск. На розтяг їх міцність на порядок менша. Прикладом можуть слугувати конструкційні матеріали - скло, кераміка, бетон тощо. Також під дією напружень розтягу у крихких матеріалах виникають тріщини. Особливістю тріщин є швидкий, майже миттєвий, їх розвиток. Наслідком цього може бути руйнування конструктивного елемента [1].

Збільшити опір конструктивних елементів з крихких матеріалів, тобто зміцнити конструктивні елементи - важлива проблема, що розглядається в даній роботі. Технології зміцнення конструктивних елементів з крихких матеріалів можна умовно поділити на декілька груп. Наприклад, утворення композиції крихких матеріалів з матеріалами, що добре працюють на розтяг. Створення в конструктивних елементах з крихких матеріалів областей підвищеної міцності, тобто областей із збільшеним модулем пружності позитивно впливає на роботу таких елементів. Наприклад, для поліпшення роботи конструкцій з бетону в областях розтягу розміщують арматуру, модуль пружності якої на порядок вищий. У випадку залізної арматури отримують залізобетон. Для підвищення ефективності залізобетонних конструкцій поставлену арматуру розтягують, тобто

попередньо напружують. Таким чином в залізобетоні створюються області стискуючих напружень [2].

Зміцнення конструктивних елементів оптимізацією геометричних параметрів. Наступна група технологій зміцнення стосується оптимізації геометричних параметрів конструктивних елементів. Оптимізація полягає в наданні таких характеристик геометрії елемента, при яких величина та область напружень розтягу значно зменшується. Прикладом може слугувати плита перекриття в будівельних спорудах. Така плита працює на згин, при якому в нижній частині виникають значні напруження розтягу. Для сприйняття цих напружень ставиться метал арматура. Зменшити товщину плити та кількість арматури можливо, якщо надати плиті форми пологої оболонки. Такі плити називаються плитами з будівельним вигином. Надання плитам будівельного вигину призводить до зменшення на 25-35% величини нормальних напружень розтягу та звуження області дії цих напружень. Це дозволяє зменшити товщину плити та кількість арматури [3].

Оптимізація ефективності конструктивних елементів будівельних споруд за рахунок зміни їх геометричних параметрів – важлива задача сучасного будівництва.

Потужним інструментом вирішення проблем механіки будівельних споруд являється комп'ютерне моделювання [4].

Дослідженню ефективності балки з будівельним вигином присвячена дана робота. Балки у будівельних спорудах є одним з найпоширеніших конструктивних елементів, особливо залізобетонні балки. Найбільш розповсюджені двохопорні балки, що завантажені вертикальним рівномірно-розподіленим навантаженням. Такі балки є також гарною розрахунковою моделлю для дослідження міцності плит перекриття з будівельним вигином [5].

Комп'ютерне моделювання. Для комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану двохопорної балки, завантаженої вертикальним рівномірно розподіленим навантаженням застосовується ПК ЛПА [6]. Чисельний експеримент проведений для балок з прямою віссю та відповідних балок з будівельним вигином. Параметри балок наступні: $q = 10$ кН/м, $l = 6$ м, переріз балки двотавровий - № 20, матеріал – сталь 20.

Зміцнення балок будівельним вигином. Балка з будівельним вигином має за вісь лінію прогинів прямої балки, що симетрично відображена відносно поздовжньої осі відповідної балки. За будівельний

вигин було вибрано лінію прогину статично визначуваної двохопорної балки (рис. 1) [7].

Досліджувався вплив умов закріплення кінців двохопорної балки на величину поздовжньої сили. Варіювалися наступні типи опор на кінцях балки: балка з шарнірно нерухожими опорами на кінцях (рис. 2, а); балка з жорстко затисненими опорами на кінцях (рис. 2, б).

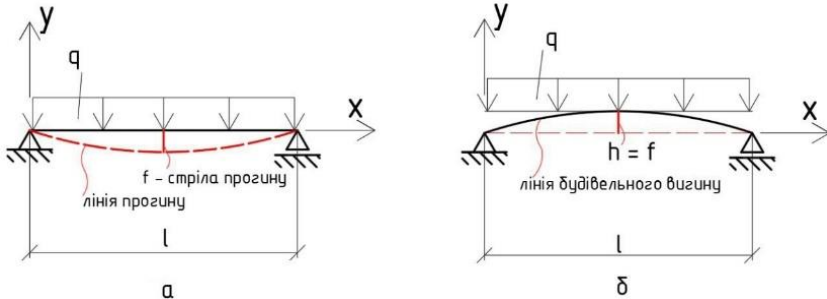


Рисунок 1 – Схема шарнірно опертій двохопорної балки:
а – балка з прямою віссю; б – балка з будівельним вигином

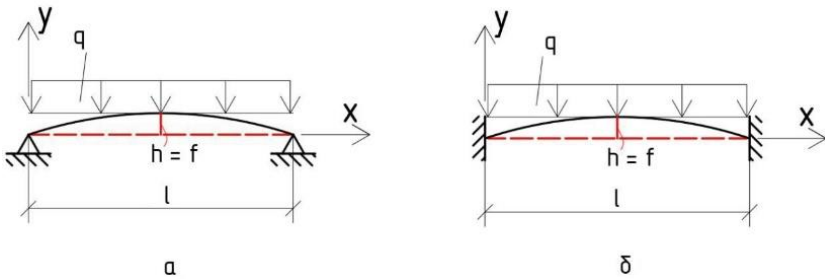




Рисунок 2 – Схеми двохопорних балок:
а – балка з будівельним вигином з шарнірно нерухожими опорами;
б – балка з будівельним вигином з жорстко затисненими кінцями

Для балок з прямолінійною віссю та балок з будівельним вигином були отримані чисельні розв'язки. Стріла прогину двохопорної балки дорівнює $f = 0.0445$ м. Висота лінії будівельного вигину балок варіювалася до 100% через 20%, а від 100% до 300% через 100%. Величина будівельного вигину для 100% склала $h = f = 0.0445$ м, для 200% – $h = 0.089$ м, для 300% – $h = 0.1393$ м. Результати чисельних розв'язків для внутрішніх сил N та M у середньому перерізі балок наведені в табл. 1. Збільшення висоти будівельного вигину призводить до зростання поздовжньої сили N , як у випадку шарнірно опертій балки, так і у випадку

жорстко затисненої балки. Для шарнірної двохопорної балки значення поздовжньої сили значно перевищують відповідні значення для жорстко затисненої балки. Момент згину M також зменшується із збільшенням вигину.

Таблиця 1 – Зміна значень поздовжньої сили N та моменту згину M залежно від висоти будівельного вигину

Тип балки										
	Вигин, %	N , кН	M , кНм	σ_N , МПа	σ_M , МПа	$\delta = \sigma_N/\sigma_M$, %	N , кН	M , кНм	σ_N , МПа	σ_M , МПа
0	—	45	—	244,6	—	—	15	—	82	—
100	-129	39,2	-48,1	213,0	22,6	-25,2	14,6	-9,4	79,3	11,9
120	-147	37,1	-54,9	201,6	27,2	-29,9	14,4	-11,2	78,3	14,3
140	-162	34,9	-60,4	189,7	31,9	-34,5	14,2	-12,9	77,2	16,7
160	-174	32,6	-64,9	177,2	36,6	-38,8	14	-14,5	76,1	19,0
180	-183	30,3	-68,3	164,7	41,5	-43	13,7	-16,0	74,5	21,5
200	-190	28,1	-70,9	152,7	46,4	-46,9	13,4	-17,5	72,8	24,0
300	-197	18,7	-73,5	101,6	72,3	-63	11,9	-23,5	64,7	36,3

Виконаємо аналіз перерозподілу нормальних напружень у поперечних перерізах балок. У таблиці 1 наведені найбільші значення відповідних нормальних напружень σ_N та σ_M у середньому поперечному перерізі балок. Ці результати вказують на значне зростання нормальних напружень σ_N та зменшення напружень σ_M із зростанням висоти будівельного вигину. Розрахована відносна величина нормальних напружень σ_N до $\sigma_M - \delta$. Для обох типів балок ця величина зростає зі збільшенням висоти будівельного вигину. Але для шарнірно обпертої балки таке зростання δ приблизно у два рази активніше ніж для балки з жорстко закріпленими кінцями. Абсолютні значення нормальних напружень σ_N та σ_M для балки з жорстко затисненими кінцями у більше ніж два рази менші за відповідні значення для балки з шарнірним обпиранням.

Перерозподіл нормальних напружень викликаний наявністю поздовжньої сили - проєкції вертикальних навантажень на дотичну до лінії вигину балки. На рисунках 3 та 4 зображені діаграми зміни нормального напруження при збільшенні висоти будівельного вигину. Для обох типів балок, що розглядаються, маємо значний ефект перерозподілу нормальних напружень. З діаграм видно, що для обох типів балок спостерігається значне зменшення величини нормальних напружень розтягу. Для шарнірно обпертої балки (рис. 3) додатні напруження зменшуються радикально. При вигині у 300% додатні напруження наближаються майже до нуля. Від'ємні напруження теж за абсолютною величиною помірно зменшуються. З рис. 3 видно, що перерозподіл нормальних напружень відбувається у напрямку

зменшення абсолютної величини нормальних напружень та значного збільшення області дії від'ємних напружень.

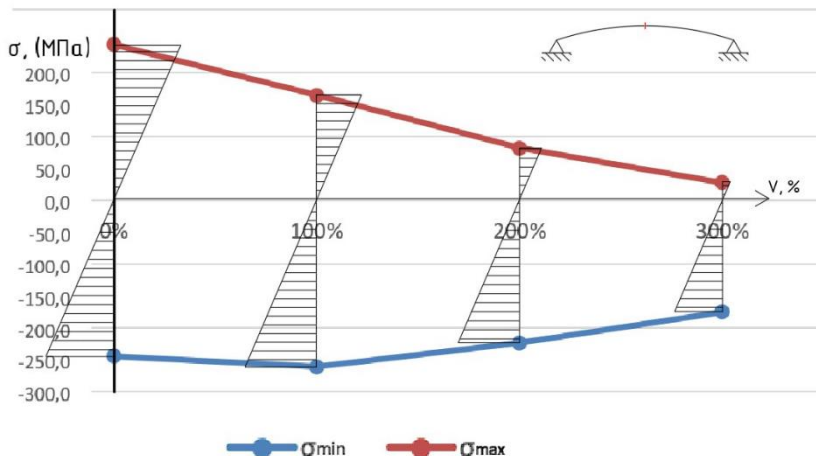


Рисунок 3 – Діаграма перерозподілу нормальних напружень σ для шарнірно опертій балки з будівельним вигином

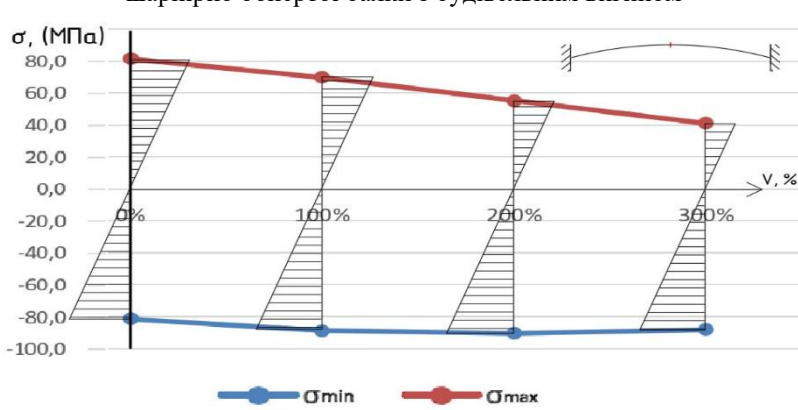


Рисунок 4 – Діаграма перерозподілу нормальних напружень σ для жорстко затисненої балки з будівельним вигином

Для балки з жорстко затисненими кінцями (рис.4) у середньому перерізі із збільшенням будівельного вигину відбувається помірне зменшення додатних нормальних напружень. Від'ємні напруження стабілізовані, абсолютна величина цих напружень незначно зменшилася.

Область дії від'ємних нормальних напружень значно зросла у порівнянні з областю дії додатних напружень.

Висновки. Отримані результати комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану двохопорної балки з будівельним вигином вказують на ефективність будівельного вигину. Особливо ефективний будівельний вигин для залізобетонних балок.

Зі зростанням будівельного вигину абсолютні значення від'ємних напружень змінюються повільно. Додатні напруження активно зменшуються. Тому область дії від'ємних напружень при збільшенні вигину швидко збільшуються. Область дії додатних нормальних напружень різко зменшується. Можна стверджувати, що перерозподіл нормальних напружень відбувається на користь від'ємних напружень для двох типів балок, що досліджувалися. Такий ефект перерозподілу нормальних напружень у балках з будівельним вигином дозволяє зменшувати висоту залізобетонних балок та кількість армування. Для балок з інших конструкційних матеріалів будівельний вигин дає можливість зменшення площі поперечного перерізу.

References

1. Smoliar A.M., Miroshkina I.V. (2023) *Metodyka zmitsnennia vyrobiv iz skla za dopomohoiu stvorennia oblastei napruzhen stysku* [The strengthening technique of glass products by creating areas of compression stress]. *Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi: zb. nauk. pr. Luts. nats. tekhn. un-t., 19, 192–199.* (in Ukrainian)
2. Blikharskyi Z. Ya., Karkhut I. I. (2017) *Rozrakhunok i konstruiuvannia zghynanykh zalizobetonnykh elementiv* [Calculation and construction of bent reinforced concrete elements]. Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki. (in Ukrainian)
3. Smolyar A.M., Miroshkina I.V., Yurchenko S. V. (2015) Strain state of zero-deflection plates. *Materials Science*. September 2015. V. 51. I. 2. P. 276–280. <https://doi.org/10.1007/s11003-015-9840-x>
4. Rynkovskaya M.I., Elberdov T., Sert E., Öchsner A. (2020) Study of modern software capabilities for complex shell analysis. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings* 16(1), 45–53.
5. Smoliar A.M., Abd Alkhaled Kikhia, Miroshkina I.V., Yurchenko S.V. (2018) *Osoblyvosti zvedennia plyt zi zvorotnym vyhynom* [Features of building plates with a reverse bend]. *Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi: zb. nauk. pr. Luts. nats. tekhn. un-t., 9, 121–128.* (in Ukrainian)
6. Sinan Muftu. (2022) *Finite Element Method*. Academic Press.

7. *Oblashtuvannia monolitnoi zalizobetonnoi plyty perekryttia zi zворотnym vyhynom: patent. na korisnu model 133342 Ukraina* (2019)[Arrangement of a monolithic reinforced concrete floor slab with reverse deflection: patent for utility model 133342 Ukraine:] МПК (2019.01) E04B 5/00, E04B 5/32 (2006.01), E04G 23/00 / Smolyar A.M., Miroshkina I.V., Yurchenko S.V., Kikhia A.A. – №u201811791. (in Ukrainian)

Література

1. Смоляр А.М., Мірошкіна І.В. Методика зміцнення виробів із скла за допомогою створення областей напружень стиску // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. пр. / Луц. нац. техн. ун-т. – Луцьк, 2023. – Вип. 19. – С. 192 – 199. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9\(19\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9(19)-22)
2. Бліхарський З.Я., Кархут І.І. Розрахунок і конструювання згинальних залізобетонних елементів. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. – 188 с.
3. Smolyar A.M., Miroshkina I.V., Yurchenko S. V. Strain state of zero-deflection plates. *Materials Science*. September 2015. V. 51. I. 2. P. 276–280. <https://doi.org/10.1007/s11003-015-9840-x>
4. Rynkovskaya M.I., Elberdov T., Sert E., Öchsner A. Study of modern software capabilities for complex shell analysis / *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 2020, V. 16, № 1. P. 45–53. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-1-45-53>
5. Смоляр А.М., Абд Альхамед Кіхья, Мірошкіна І.В., Юрченко С.В. Особливості зведення плит зі зворотним вигином // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. пр. / Луц. нац. техн. ун-т. – Луцьк, 2018. – Вип. 9. С. 121–128.
6. Sinan Muftu. *Finite Element Method*. Academic Press (2022).
7. Облаштування монолітної залізобетонної плити перекриття зі зворотним вигином: пат. на корисну модель 133342 Україна: МПК (2019.01) E04B 5/00, E04B 5/32 (2006.01), E04G 23/00 / Смоляр А.М., Мірошкіна І.В., Юрченко С.В., Кіх'я А.А. – №u201811791; Заявл. 29.11.2018; Опубл. 25.03.2019, Бюл. № 6. – 2 с.: кресл.

**ПІДСИЛЕННЯ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
КОНСТРУКЦІЙ З ВИКОРИТАННЯМ ПОПЕРЕДНЬО
НАПРУЖЕНИХ АРМАТУРНИХ КАНАТІВ**

**STRENGTHENING OF MONOLITHIC REINFORCED
CONCRETE STRUCTURES USING PRE-TENSIONED
REINFORCING ROPES**

**Сморкалов Д.В., к.т.н., доцент, Затилюк Г.А., доктор філософії,
доцент, Винокур В.С., аспірант (Київський національний університет
будівництва і архітектури)**

**Smorkalov D.V., Ph.D., Associate Professor, Zatyliuk G.A, Doctor of
Philosophy, Associate Professor, Vynokur V.S., Ph.D. student (Kyiv National
University of Civil Engineering and Architecture)**

У статті наведені варіанти підсилення конструкцій за допомогою арматурних канатів. Сьогодні підсилення може виконуватися різними методами, включаючи використання металевих елементів, композитних матеріалів або залізобетонних обойм. Однак використання попереднього напруження істотно покращує можливості підсилення, збільшуючи несучу здатність та надійність конструкцій. Попереднє напруження може бути виконане за допомогою композитних матеріалів або попередньо напруженої арматури, такої як попередньо напружені канати. Використання попередньо напружених канатів в новому будівництві стає все більш поширеним, але для підсилення такої метод не використовується, хоча для цього існують всі можливості.

In the article, options for strengthening with the help of reinforcing ropes are also developed, and options for strengthening structures are developed. The construction history has always reflected the evolution of technology and human needs. One of the key problems was the need to enhance structures, which stimulated the search for effective methods. Building structures are subject to wear and tear and need to be restored and strengthened, and can also undergo changes in load that require their strengthening. In addition, in connection with the situation in our country, it should be noted that buildings can be damaged as a result of explosions and require reinforcement. Ukraine is witnessing the growing popularity of "prestressing" technology, which can open up new opportunities for construction progress. Research in this area is constantly developing, opening up wide prospects for using prestressed ropes in construction and engineering. New technologies and materials significantly change approaches to strengthening structures, providing them with great strength and stability. Today, reinforcement can be done by various methods, including the use of metal elements, composite materials, or reinforced concrete brackets. However, the use of prestressing significantly improves the strengthening capabilities, increasing the load-bearing capacity and reliability of structures. Prestressing can be done using composite materials or prestressed reinforcement such as prestressed ropes.

The use of pre-stressed ropes in new construction is becoming more and more common, but this method is not used for reinforcement, although there are all possibilities for this. In the world, there is a trend towards the increasing use of reinforced concrete, which indicates the importance of this direction of development.

Ключові слова: підсилення залізобетонних конструкцій, попередньо напружені арматурні канати, постнапруження, post-tensioning, канат, методи підсилення, технології підсилення.

Keywords: reinforcement of reinforced concrete structures, pre-tensioned reinforcement ropes, post-tensioning, post-tensioning, rope, methods of strengthening, technologies of strengthening.

Вступ. Сьогодні, в епоху швидкого науково-технічного прогресу, проблема підсилення конструкцій залишається актуальною, але змінилася її сутність та складність. З розвитком інженерних наук, новітніх матеріалів та комп'ютерних технологій виникають все більш ефективні методи підсилення, які враховують як сучасні вимоги безпеки, так і екологічні стандарти. В Україні проблема підсилення конструкцій є нагальною, переважно через те, що більшість будівель була зведена ще в радянські часи, і за цей період вони зазнали фізичного зносу. Додатково, багато конструкцій пошкоджено внаслідок бойових дій. Особливу увагу приділяють підсиленню багатопролітних споруд, таких як шляхопроводи, мости та інші.

Арматурне підсилення та композитна арматура дозволяють інженерам зміцнювати будівлі та споруди, надаючи їм додаткову стійкість до навантажень і збільшуючи їх життєвий цикл. Арматура, використовувана в будівництві, зазвичай виготовляється зі сталі та використовується для підвищення міцності та стійкості бетонних конструкцій.

В останні десятиліття зростає популярність підсилення залізобетонних елементів за допомогою композитних елементів [1, 2], хоча використання таких матеріалів з попереднім напруженням у нашій країні відбувається дуже рідко.

Композитна арматура, у свою чергу, представляє собою нове покоління підсилюючих матеріалів, які складаються з полімерних композитів, скловолокна або вуглецевих волокон.

Але вартість підсилення даних конструкцій за допомогою композитних матеріалів достатньо висока.

В Україні, в новому будівництві, зараз спостерігається зростання використання технології "постнапруження" або "post-tensioning", яка полягає в застосуванні монолітних конструкцій з попередньо напруженими канатами. Вітчизняна будівельна практика використовує термін "попередньо напруженні залізобетонні конструкції з натягом канатної арматури на бетон". Ця технологія передбачає використання канатів як напруженої арматури. Постнапруження з арматурними канатами нерідко

застосовується при будівництві конструкцій з великими прольотами., іноді дана технологія є безальтернативною [3].

В нашій країні, в громадському будівництві, більшої популярності набула технологія без зчеплення з бетоном, що демонструє ряд переваг. Вона не лише більш зручна, але й менше залежить від погодних умов, що дозволяє виконувати будівництво у будь-яку пору року.

Основна концепція (Рисунок 1) полягає в тому, що під час арматурних робіт між верхньою та нижньою сіткою арматури розміщується арматурний канат, що знаходиться всередині оболонки і утримується у криволінійному положенні відповідно до епюру згинальних моментів.

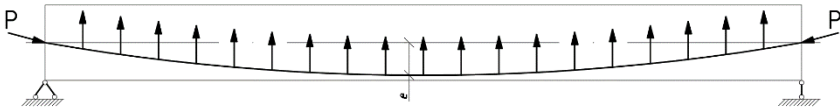


Рисунок 1 – Принципова схема постнапруження з реактивними зусиллями від натягу

Ключовим елементом є арматурний канат К7, який має кілька діаметрів, зокрема 15.2 та 15.7 мм. У процесі арматурних робіт канат фіксується на торцях конструкції за допомогою анкерів та цанг. Натяг канату здійснюється за допомогою гідравлічного обладнання, що забезпечує необхідну напругу для ефективного функціонування системи.

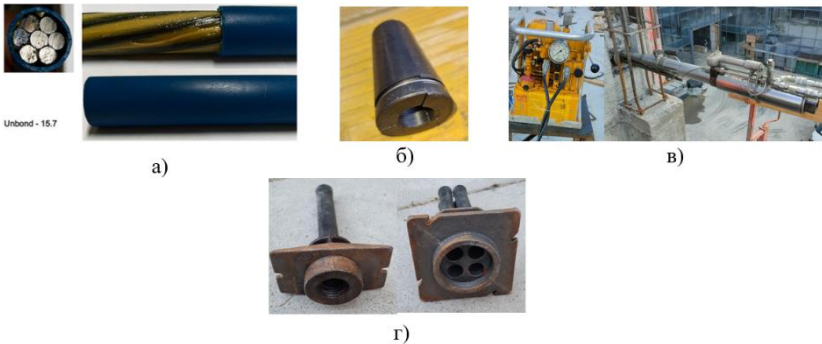


Рисунок 2 – Основні елементи постнапруження:
а) канат діаметром 15.7 мм, б) цанга для фіксації канатів в анкерах,
в) гідравлічні пристрої, г) анкерні пристрої

Дослідження в області попередньо напружених канатів постійно розвиваються. Вчені та інженери активно працюють над вдосконаленням матеріалів, методів виробництва та стратегій визначення оптимальних параметрів напруження для конкретних застосувань. Нові технології

сприяють створенню канатів із покращеною міцністю та тривалістю експлуатації, що розширює можливості їх застосування. Проектування попередньо напружених канатів на сучасному етапі вимагає комплексного підходу.

Це включає в себе не лише вибір відповідного матеріалу та конструкції каната, але й розрахунок оптимального рівня напруження, врахування впливу зовнішніх факторів, таких як температура та вологість, а також визначення необхідних методів моніторингу та обслуговування.

Зважаючи на це, можна відзначити, що використання попередньо напружених канатів широко поширене як у будівництві за межами країни, так і в Україні. Ця технологія може застосовуватися не лише для нових будівель, а й для підсилення існуючих конструкцій, що може істотно поліпшити їхню міцність та тривалість експлуатації.

Аналіз існуючих методів підсилення з використанням попередньо напружених канатів. Проаналізувавши матеріали [3, 4], можна зробити висновок, що використання технології постнапруження за межами країни ширше застосовується, оскільки воно базується на довгостроковому досвіді та постійних інноваціях. Це охоплює використання спеціалізованого обладнання, високоякісних матеріалів та передових методів контролю якості. Не менш важливою є наявність висококваліфікованих фахівців, які постійно підвищують свій рівень кваліфікації та активно обмінюються досвідом з колегами з різних країн.

Підсилення залізобетонних елементів за допомогою попередньо напружених канатів також має свою градацію і поділяється на 2 методи:

- Підсилення конструкцій за допомогою встановлення зовнішніх канатів. У вітчизняній практиці найбільш використовуваний спосіб підсилення за допомогою шпренгельних затяжок, у закордонних джерелах відомий як «Reinforcing external post-tensioning».
- Підсилення конструкцій за допомогою встановлення попередньо напружених арматурних канатів, з подальшим обетонуванням. В закордонних джерелах відомий як «Reinforcing internal post-tensioning».

Метод підсилення конструкцій за допомогою встановлення зовнішніх канатів («Reinforcing external post-tensioning») використовується для підвищення несучої здатності (рисунок 3). Цей підхід передбачає застосування зовнішніх натягувальних елементів, таких як сталеві канати або стрічки, які накладаються на поверхню конструкції та застосовуються під натягом. Це дозволяє підсилити конструкцію без необхідності внесення змін у її основну структуру, що робить цей метод ефективним та економічним для ремонту та посилення існуючих споруд.



Рисунок 3 – Підсилення плити перекриття паркінгу за допомогою встановлення зовнішніх напружених канатів («Reinforcing external post-tensioning»)

Основні переваги даного методу:

1. *ефективність у підсиленні конструкцій*: цей метод дозволяє значно підвищити навантажувальну здатність та стійкість конструкції без значних змін у її внутрішній структурі;
2. *економія часу та витрат*: у порівнянні з альтернативними методами підсилення, зовнішнє підсилення може бути виконане швидше та за менші кошти, оскільки воно не вимагає великого обсягу будівельних робіт із застосуванням важкого обладнання;
3. *мінімальні втрати простору*: використання зовнішніх натягувальних елементів не впливає на внутрішній простір конструкції, що може бути важливим для будівель або споруд, де обмежений простір є важливим фактором.

Основні недоліки даного методу:

1. *вигляд*: зовнішні елементи можуть змінити зовнішній вигляд конструкції, що може бути неприйнятним для деяких архітектурних проектів;
2. *вплив на естетику*: можуть знадобитися додаткові заходи оздоблення для інтеграції зовнішніх елементів у дизайн споруди;

3. *регулярне обслуговування*: зовнішні елементи піддаються впливу атмосферних умов, що може потребувати регулярного обслуговування та обслуговування для забезпечення тривалого терміну експлуатації.
4. *підвищені вимоги до термостійкості*: натягнуті елементи, зокрема сталеві канати чи стрічки, можуть піддаватися деформації або пошкодженню внаслідок високих температур, що може призвести до зниження їхньої ефективності та/або руйнування з подальшою втратою міцності всієї конструкції.

Даний метод ефективно застосовувати в конструкціях з меншими вимогами до вогнестійкості, зокрема, в мостах та шляхопроводах, де важливо забезпечити оптимальне співвідношення міцності та ваги, щоб забезпечити економічну ефективність проекту. Хоча їх все ж можливо використовувати в комерційних будівлях, таких як паркінги, де основною метою є забезпечення безпеки та зручності користувачів, а також ефективне використання простору і ресурсів.

Підсилення конструкцій за допомогою встановлення попередньо напружених арматурних канатів з подальшим обетонуванням («Reinforcing internal post-tensioning») (Рисунок 4) дозволяє підвищувати міцність структур, зокрема бетонних, шляхом використання напруження внутрішніх елементів. Сталева арматура або канати вкладаються всередину бетонних елементів, таких як колони, балки або плити, і потім натягуються, щоб створити реактивні сили, які збільшують міцність структури.



Рисунок 4 – Підсилення монолітних балок шляхопроводу за допомогою напружених канатів із подальшим обетонуванням («Reinforcing internal post-tensioning»)

Ця технологія вирішує різні інженерні завдання, такі як зменшення прогину конструкцій, підвищення міцності під час землетрусів або зменшення розміру перерізу бетонних елементів. Її можна використовувати як при будівництві нових споруд, так і при реконструкції вже існуючих.

Основні переваги даного методу:

1. *мінімальний вплив на зовнішній вигляд*: оскільки натягнуті елементи розташовані всередині конструкції, цей метод підсилення майже не впливає на зовнішній вигляд споруди;
2. *ефективне розподілення навантаження*: внутрішнє підсилення дозволяє рівномірно розподілити навантаження по всій конструкції, що допомагає збільшити її стійкість та несучу здатність;
3. *зменшення потреби в обслуговуванні*: натягнуті елементи, розташовані всередині конструкції, менше піддаються впливу атмосферних чинників, що може зменшити необхідність у регулярному обслуговуванні;
4. *збільшена вогнестійкість*: внаслідок використання додаткового шару бетонування можна значно збільшити вогнестійкість конструкції, що робить її більш надійною та безпечною в умовах можливого виникнення пожежі.

Основні недоліки даного методу:

1. *складність монтажу*: розташування та натягнення елементів всередині конструкції може бути складним процесом, що вимагає спеціалізованого обладнання та кваліфікованої робочої сили;
2. *обмеження доступу для обслуговування та ремонту*: після монтажу внутрішніх натягнутих елементів доступ до них для потенційних обслуговування та ремонту може бути обмеженим, що може вимагати додаткових заходів планування при будівництві.

Постановка мети і задач. Основною метою дослідження є огляд та вибір оптимального методу підсилення залізобетонних конструкцій за допомогою попередньо напружених канатів з метою забезпечення безпеки та стабільності будівельних споруд залежно від умов експлуатації та потенційних ризиків. Вирішення цієї проблеми важливе для інженерної галузі.

До основних задач входить:

- огляд існуючих та розробка нових методів підсилення на основі попередньо напружених канатів;
- результати дослідження спрямуються на вибір оптимального методу підсилення, який забезпечить максимальну безпеку та стабільність будівельних споруд у будь-яких умовах експлуатації.

Результати досліджень. Після отримання цієї інформації можна зазначити, що технологія постнапруження може бути використана для підсилення різноманітних конструкцій. Однак, хотілося б приділити більше уваги саме балочним конструкціям.

Підсилення однопролітних конструкцій за допомогою встановлення зовнішніх напружених канатів («Reinforcing external post-tensioning»):

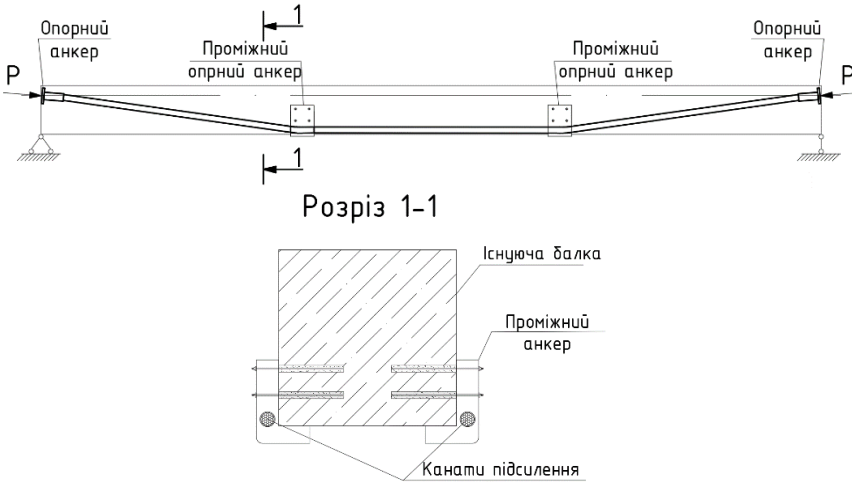


Рисунок 5 – Однопролітна балка, підсилена за аналогією шпренгельної системи з використанням постнапружених канатів («Reinforcing external post-tensioning»)

Підсилення нерозрізних конструкцій за допомогою встановлення зовнішніх напружених канатів («Reinforcing external post-tensioning»):

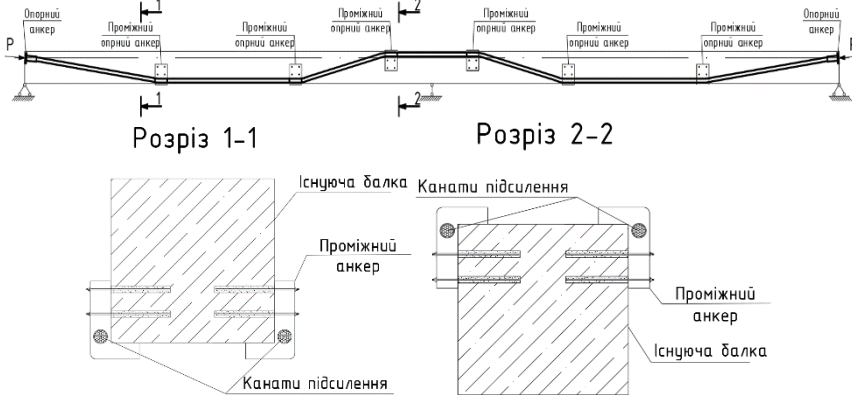
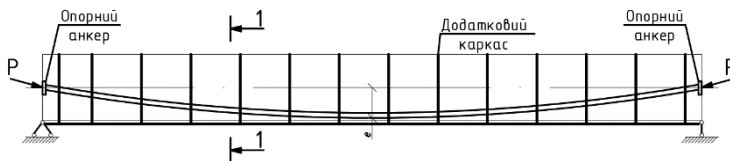


Рисунок 6 – Нерозрізна балка, підсилена зовнішніми постнапруженими канатами («Reinforcing external post-tensioning»)

Підсилення однопролітних конструкцій за допомогою напружених канатів з подальшим обетонуванням («Reinforcing internal post-tensioning»):



Розріз 1-1

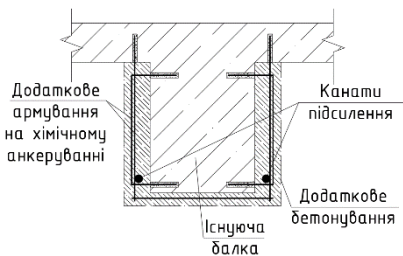
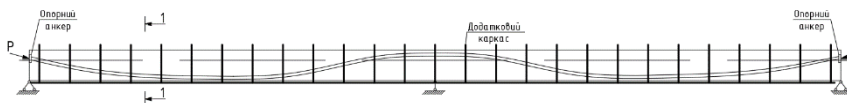


Рисунок 7 – Однопролітна балка, підсилена поснапруженими канатами з додатковим обетонуванням («Reinforcing internal post-tensioning»)

Підсилення нерозрізних конструкцій за допомогою напружених канатів з подальшим обетонуванням («Reinforcing internal post-tensioning»):



Розріз 1-1

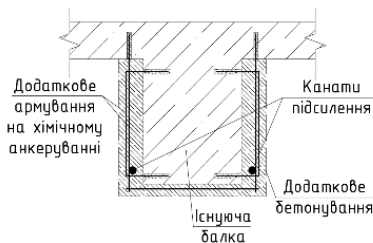


Рисунок 8 – Нерозрізна балка, підсилена за допомогою напружених канатів з подальшим обетонуванням («Reinforcing internal post-tensioning»)

Висновки. Підсумовуючи, можна сказати, що використання попередньо напружених арматурних канатів у монолітних залізобетонних

конструкціях є ефективним методом підсилення. Застосування попередньо напружених канатів дозволяє ефективно компенсувати деформації та забезпечити однорідніший розподіл навантаження на всю конструкцію.

В Україні, на даному етапі досліджень, конструкції з використанням даної технології не використовуються, але її застосування в будівництві для підсилення є досить перспективним, що підтверджує закордонна практика. Технологія підсилення з використанням зовнішніх попередньо напружених канатів є досить ефективною, але вона має свої недоліки, зокрема:

- підвищені вимоги до вогнестійкості;
- потребує виготовлення індивідуальних анкерів.

Отже, у майбутньому використання цього методу підсилення може виявитися менш доцільним порівняно з використанням "внутрішніх" арматурних канатів з подальшим обетонуванням. Дане підсилення, у свою чергу, сприяє підвищенню вогнестійкості конструкції за рахунок додаткового шару обетонування і не потребує встановлення додаткових специфічних анкерів. І хоча цей метод має свої недоліки у формі складнощів з обетонуванням, проблему можна вирішити за допомогою використання торкретування бетону. Ця технологія дозволяє зменшити витрати на опалубку.

Після розгляду всіх запропонованих варіантів підсилення можна зазначити, що використання "внутрішнього" арматурного канату, який об'єднує поперечний переріз за допомогою додаткового обетонування ("Reinforcing internal post-tensioning"), має більший потенціал і перспективи. Цей підхід виявляється більш привабливим через його простоту влаштування, оскільки можна використати загальнодоступні матеріали та забезпечити конструкцію додатковим захистом від вогню.

Використання "внутрішнього" арматурного канату, який об'єднує поперечний переріз за допомогою додаткового обетонування ("Reinforcing internal post-tensioning") дозволяє значно підвищити міцність та довговічність таких конструкцій, зменшити ризик руйнування внаслідок різкого навантаження або впливу небезпечних факторів, особливо для конструкцій з великими прольотами (шляхопроводи, мости, балки).

З метою подальшого розвитку цього підходу планується проведення експериментальних досліджень, які дозволять розробити ефективну методику підсилення.

Отже, цей підхід може бути широко використаним у майбутньому для підсилення існуючих або проектування нових залізобетонних конструкцій, що забезпечить необхідну міцність, надійність та довговічність конструкцій.

References

1. O. V. Panchenko, Ya. L. Ivanytskyi, P. S. Kun, O. D. Zhuravskyi. Vyzna-chennia dovhovichnosti zalizobetonnykh mostovykh balok, pidsylenykh kompozytnymy

strichkamy // Fyzyko-khimichna mekhanika materialiv. - 2017. - Т. 53, № 5. - С. 73-77. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PHKhMM_2017_53_5_12

2. О.Панченко, В.Чирва, Т.Чирва, А.Савченко, К.Романенко. Чисельне моделювання процесу руйнування залізобетонних балок монолітного огородження та його посилення вуглецевими матеріалами. Збірник наук.прац «Будівельні конструкції. Теорія і практика.» КНУБА.-вип.6,2020р – с.34-41

3. Smorkalov, D., & Vynokur, V. . (2022). Metodyky rozrakhunku monolitnykh zalizobetonnykh konstruksii z poperednim napruzheniam armaturnykh kanativ. Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka, (12), 73–83. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.73-83>

4. Smorkalov D.V. Monolitni zalizobetonni konstruksii z poperedno napruzhenymy kanatamy // Zbirnyk nauk.prats «Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka». KNUBA.- vyp.10, 2022r. S. 136-142 <https://doi.org/10.32347/2522-4182.10.2022.136-142>.

Література

1. О. В. Панченко, Я. Л. Іваницький, П. С. Кунь, О. Д. Журавський. Визначення довговічності залізобетонних мостових балок, підсилених композитними стрічками // Фізико-хімічна механіка матеріалів. - 2017. - Т. 53, № 5. - С. 73-77. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PHKhMM_2017_53_5_12

2. О.Панченко, В.Чирва, Т.Чирва, А.Савченко, К.Романенко. Чисельне моделювання процесу руйнування залізобетонних балок монолітного огородження та його посилення вуглецевими матеріалами. Збірник наук.праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика.» КНУБА.-вип.6,2020р – с.34-41.

3. Сморкалов Д.В. Винокур В.С. Методики розрахунку монолітних залізобетонних конструкцій з попереднім напруженням арматурних канатів// Збірник наук.праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика». КНУБА.- вип.12, 2023р. С. 73-83 <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.73-83>.

4. Сморкалов Д.В. Монолітні залізобетонні конструкції з попередньо напруженими канатами // Збірник наук.праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика». КНУБА.- вип.10, 2022р. С. 136-142 <https://doi.org/10.32347/2522-4182.10.2022.136-142>.

RESEARCH AND ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF RECIPE AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE STRENGTH OF EXPANDED CLAY CONCRETE ON QUARTZ SAND

ДОСЛІДЖЕННЯ Й АНАЛІЗ ВПЛИВУ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА МІЦНІСТЬ КЕРАМЗИТОБЕТОНУ НА КВАРЦОВОМУ ПІСКУ

Stolevich I.A., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Posternak O.O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Petrash S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Kovtunenکو O.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Urazmanova N.F. (Odessa State Academy of Construction and Architecture, Odessa)

Столевич І.А., к.т.н., доцент, Постернак О.О., к.т.н., доцент, Петраш С.В., к.т.н., доц., Ковтуненко О.В., к.т.н., доцент, Уразманова Н.Ф. (Одеська державна академія будівництва і архітектури, м. Одеса)

Метою роботи є дослідження міцності та деформаційних властивостей керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому та доведення технічної можливості та економічної доцільності його використання в конструктивних елементах цивільних будівель. Для вивчення властивостей керамзитобетону були використані методи математичного планування експерименту, зокрема, реалізовано п'ятифакторний план B_5 . У матриці кожен з технологічних факторів змінювався на трьох рівнях (-1; 0; +1), що дозволило отримати квадратичні математичні моделі вихідних параметрів - об'ємної маси бетону, кубикової та призмової міцності керамзитобетону у віці 1 (п.п.), 28, 115, 180 і 360 діб, при постійному осіданні конуса керамзитобетонної суміші – $OK = 2... 6$ см). Обробка результатів експерименту для виявлення закономірностей впливу досліджуваних факторів – витрата: цементу (x_1); вапна (x_2); золи-винесення (x_3); керамзитового гравію (x_4); кварцового піску (x_5) на водопотребу керамзитобетонних сумішей – B , об'єм міжзернових порожот V_n , щільність керамобетонної суміші ρ_0 і щільність керамзитобетонних ρ дозволили отримати при 95% надійності квадратичні рівняння регресії з урахуванням лише значущих коефіцієнтів регресії. За результатами експериментальних досліджень отримано з 95% надійністю квадратичні рівняння регресії кубикової та призмової міцності у віці 1 (п.п.), 28, 180* та 360* діб, керамзитобетону на ЦВЗ в'язучому та кварцовому піску з урахуванням лише значущих коефіцієнтів регресії. Розглянуто та проаналізовано вплив рецептурних та технологічних факторів на міцність керамзитобетону на кварцовому піску. Отримані залежності кубикової та призмової міцності керамзитобетону на кварцового піску з застосуванням багатокомпонентного

в'яжучого можна використовувати для подальшої перспективою економії цементу і заповнювачів.

The aim of the work is to study the strength and deformation properties of expanded clay concrete on cement-ash binder and to prove the technical possibility and economic feasibility of its study in structural elements of civil buildings. The five-factor plan B5 was implemented. In the matrix, each of the technological factors changed at three levels (-1; 0; +1), which made it possible to obtain quadratic mathematical models of output parameters - the bulk mass of concrete, cubic and prismatic strength of the expanded clay concrete at the age of 1 (a.s), 28, 115, 180 and 360 days, when the expanded clay concrete mixture is mobile (the constant draught of the cone is $DC = 2...6$ cm). Processing of experimental results to identify regularities of influence of studied factors - consumption: cement (x_1); lime (x_2); fly ash (x_3); expanded clay gravel (x_4); quartz sand (x_5) on water consumption of ceramic and concrete mixtures – B , volume of inter-grain voids V_n , the density of the ceramic concrete mixture – ρ_0 and the density of the expanded clay concrete ρ allowed to obtain with 95% reliability quadratic regression equations, taking into account only significant regression coefficients. Based on the results of experimental studies with 95% reliability quadratic regression equations of cubic and prismatic strength in the age of 1 (a.s), 28, 180 and 360* days are obtained, expanded clay concrete on CLF-binder and quartz sand with only significant regression factors. The paper examines and analyzes the influence of recipe and technological factors on the strength of expanded clay concrete on quartz sand. The invention makes it possible to use the dependence of a cubic and prism strength expanded clay concrete on quartz sand using a large component binder with a further prospect of saving cement and fillers.*

Key words: deformability, expanded clay concrete on quartz sand and cement-ash binder, fly ash, regression equation, prism strength, cubic strength, aggregate-structural factor.

Ключові слова: деформативність, керамзитобетон на кварцовому піску та цементно-зольному в'яжучому, зола-винесення, рівняння регресії, призмova міцність, кубикова міцність, агрегатно-структурний фактор.

Introduction. Particular attention in the difficult war and future postwar times is paid to the problem of cheapening public and civilian objects, increasing their level of industrialization, which can only be achieved by improving constructive solutions, the use of effective building materials. The use of light concretes, including expanded clay concretes on cement-ash binder with chemical additives is an urgent task, since it involves saving raw materials, cement, recycling production waste and improving the condition of the environment.

Analysis of previous studies. Recently, many studies have been made on the strength and deformability of light concretes and structures based on them, which are given in the works of A. I. Kostyuk [1], I. A. Stolevich [2, 3], Chandra S. [4], Dilly M. [5], Melby K. [6], Neville A. [7], Norden J. [8], Suraneni P. [9], Zarif M. [10], etc. A significant contribution to the development of concretes using slag and ash was made by Ocheretny V.P., Kovalsky V.P. [11], L.J. Dvorkin [12], etc., mainly the use of ash and slag was considered for heavy concretes.

Purpose. In this regard, we set a method of strength and deformation properties of expanded clay concrete on CLF-binder and prove the technical possibility and economic feasibility of its use in structural elements of civil buildings.

Results and discussion. The application of light concretes on porous aggregates in various construction fields is of great interest in many countries. Issues of improving the structure and properties of light concretes, as well as their features and advantages on mixed aggregate and composite binders were reflected in many domestic and foreign studies. The most common rules for the construction of light concrete as a composite material are the reasonable choice of binder according to the requirements of the product, design and construction, as well as the rational selection of individual components taking into account the minimum cost. It is possible to increase the amount of concrete produced by the use of a multicomponent binder, which, in addition to a reduced amount of Portland cement, includes quicklime, fly ash and chemical additives [13].

Among the numerous wastes and by-products (waste from mining and processing plants, metallurgical slags and phosphorus production, thermal power plant ash, etc.) the use of thermal power plant ash with relatively high hydraulic activity is of the greatest interest. At present, Ukraine and foreign practice have gained considerable experience in the use of pulverized fly ash in the production of concretes and structures made of it. The introduction of ash, lime and chemical additives into cement systems alters the composition of the liquid phase, induces saturation relative to the hydrate phases, and changes in these parameters affect the formation kinetics and composition of hydrate formations, the size of the crystals, the strength of their fusion contact, which together determines the strength of the solidified cement stone [14,15].

The widespread use of ash in concrete began after it was discovered that fine particles of high quality ash have pozzolan properties. By 1980, ash was recognized worldwide as an important material as an additive to concrete replacing cement.

The effectiveness of the additives depends significantly on the mineralogical and material composition of the Portland cement used, lime and ash properties. This is due to the fact that the action of the additive occurs in an environment that has changed as a result of the hydration of the cement-ash binder, the composition of which largely determines these changes [14].

In order to obtain adequate results with the minimum possible number of experiments to study the properties of expanded clay concrete on a multicomponent binder, methods of mathematical experiment planning were used [14]. In particular, a five-factor B5 plan was implemented. In such a matrix, each of the technological factors changed at three levels (-1; 0; +1), which made it possible to obtain quadratic mathematical models of output parameters - the bulk mass of concrete, cubic and prismatic strength of the clay concrete at the age of 1

(a.s), 28, 115, 180 and 360 days, when the expanded clay concrete mixture is mobile (the constant draught of the cone is $DC = 2...6$ cm).

To achieve this objective, it was necessary to:

- to obtain the convenient for the practical study of the dependence of the main properties of clay concrete mixture on the cement-ash binder with the index of mobility $DC = 2...6$ cm and concrete from the main formulation and technological factors;

- to obtain statically convenient dependencies, allowing to predict water consumption of the mixture, volume mass, volume of inter-grain voids, cubic and prism strength.

Research factors on materials used in studies:

X_1 - 180 ± 60 kg/m³, Portland cement OJSC «SOUTH cement» brand 400;

X_2 - 125 ± 25 kg/m³, ground ungashe lime, Kodyma, activity on CaO - 58%;

X_3 - 150 ± 50 kg/m³, fly ash Ladygenskaya thermal power plant;

X_4 - 400 ± 140 kg/m³, ceramic gravel (Kulindorovsky Zavod from the clay deposit of the Orel region of the Odessa region) fraction 5...10 and 10... 20mm in volume ratio $V_{5...10}/V_{10...20} = 1,5$;

X_5 - 290 ± 30 kg/m³, sand river dense "Telman quarry", "Kremenchuk river port", module of size 1,36.

Plasticizer C-3 was introduced as 0.6% of cement mass and gypsum - 25 kg/m³.

Processing of experimental results to identify regularities of influence of studied factors - consumption: cement (x_1); lime (x_2); fly ash (x_3); expanded clay gravel (x_4); quartz sand (x_5) on water consumption of clay concrete mixture - B , volume of inter-grain voids V_n , density of clay concrete mixture - ρ_0 and density of expanded clay concrete ρ allowed to obtain with 95% reliability quadratic regression equations, which, taking into account only the significant regression coefficients, are:

$$B = 269,4 + 4,9X_1 + 6,9X_2 + 2,4X_5 + 3,12X_1X_3 + 2,25X_2X_3 - 11,06X_3^2 - 4X_3X_4 + 4,44X_4^2 - 2X_4X_5 + 5,94X_5^2. \quad (1)$$

$$\rho_0 = 1334 + 66,9X_1 + 24,7X_2 + 37,7X_3 + 132,2X_4 + 34,2X_5 + 12,51X_2^2 - 10,44X_3X_4. \quad (2)$$

$$V_n = 1,602 - 0,25X_1 - 0,20X_4 - 0,30X_1^2 + 0,25X_1X_2 + 0,27X_1X_3 + 0,58X_2^2 + 0,14X_2X_4 + 0,16X_3^2 + 0,27X_3X_5 + 0,29X_4X_5. \quad (3)$$

The water content of clay concrete mixture depends almost equally on the content of the astringent components and on the content of large, fine aggregates [16]. Analysis of the water consumption regression equation and its graphical interpretation given in figure 1. It shows that the aggregate-structural factor r has a mixed influence on water consumption. For a certain consumption of multi-component binder, there is an optimal content of expanded clay gravel and quartz

sand (r_{opt}), corresponding to the minimum possible water consumption of the mixture, provided that the predefined convenience.

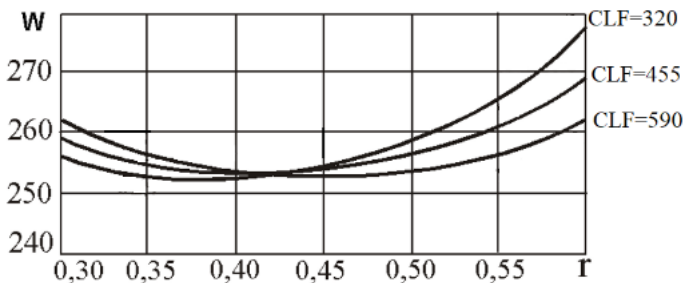


Fig. 1. Dependence of water consumption expanded clay concrete on the values of the aggregate-structural factor and the consumption of CLF-binder DC 2-6cm

On figure 2 the zone of optimum values of the aggregate-structural factor r_{opt} , limited by the lines corresponding to the indicators of DC =2... 6cm (upper) and H= 30c (lower). The figure shows that the optimal value of the aggregate-structural factor decreases in proportion to the increase in the consumption of the CLF-binder.

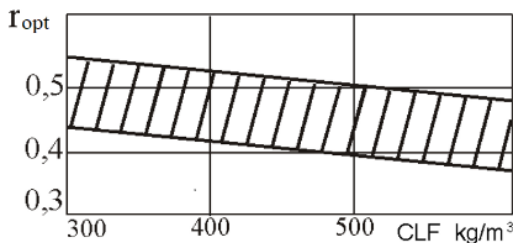


Fig. 2. Zone of optimal values of aggregate-structural factor

Based on the results of experimental studies with 95% reliability quadratic regression equations of cubic and prismatic strength in the age of 1 (a.s), 28, 180* and 360* days are obtained expanded clay concrete on CLF-binder and quartz sand, which, taking into account only significant regression coefficients, have the form:

$$f_{c(a.s)} = 17,1 + 3,1X_1 + 1,5X_2 + 1,7X_3 + 2,7X_4 + 2,1X_1^2 + 1,2X_1X_2 + 1,3X_1X_3 - 1,2X_3X_4 - 1,5X_4^2 - 1,5X_5^2. \quad (4)$$

$$f_c(28) = 19,95 + 3,7X_1 + 1,7X_2 + 1,9X_3 + 3,0X_4 + 2,7X_1^2 + 1,2X_1X_3 - 1,2X_3X_4 - 1,4X_4^2 - 2,1X_5^2. \quad (5)$$

$$f_{cd(a.s)} = 15,58 + 3X_1 + 1,4X_2 + 1,5X_3 + 2,5X_4 - 0,5X_5 + 2,6X_1^2 + 1,2X_1X_2 + 1,2X_1X_3 - 1,1X_3X_4 - 1,4X_4^2X_4 - 1,4X_5^2. \quad (6)$$

$$f_{cd(28)} = 18,5 + 3,3X_1 + 1,5X_2 + 1,7X_3 + 2,8X_4 + 2,5X_1^2 + 1,1X_1X_3 - 1,079X_3X_4 - 1,178X_4^2 - 1,833X_5^2. \quad (7)$$

To simplify the quadratic regression equations (4-7), a linear relation was used. The rationale for "x" was based on the need to take into account the one that had a significant impact on strength but was not included as a water consumption factor. The final argument is to assign $x = [(W/CLF)+r]$, which can be taken as a generalized factor of composition. On the basis of mathematical and static analysis, it has been established that random quantities $x = [(W/CLF)+r]$ are subject to the law normal distribution. The null hypothesis of the zero general correlation coefficient $H_0: \rho_{xy} = 0$ is rejected in favour of the alternative $H_1:$

$\rho_{xy} \neq 0$ at the dependency level $\alpha = 0,05$, which suggests a linear relationship between f_{cd} and $x = [(W/CLF)+r]$ of each of the age taken for expanded clay concrete. This allowed the linear regression equations of type to be obtained for each of the ages taken:

$$f_{cd(a.s)} = 45,1 - 29,1[(W/CLF)+r]. \quad (8)$$

$$f_{cd(28)} = 49,2 - 30,3[(W/CLF)+r]. \quad (9)$$

Graphical interpretation, as an example, of the dependence of strength $f_{cd(28)}$ on the generalized factor of composition $x = [(W/CLF)+r]$ within 95% confidence intervals is given in figure 3 (a, b).

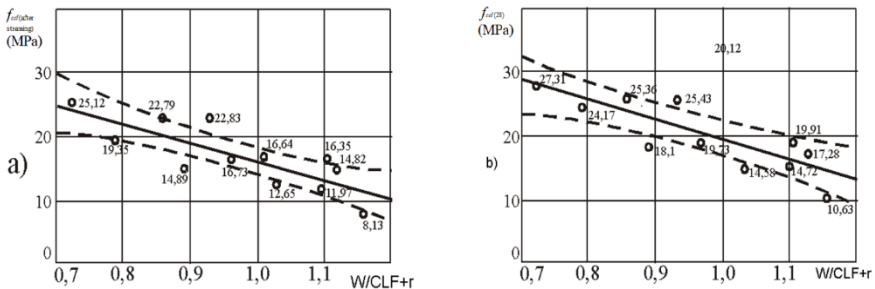


Fig. 3. The dependence of the prismatic strength of the expanded clay concrete on the generalized composition factor
 a) after steaming; b) 28 days

For the transition from a cubic strength f_c to a prism strength f_{cd} , which is directly applied in the structural calculations, the prism strength coefficient shall be used $\varphi_c = f_{cd}/f_c$. As shown by numerous studies [12, 1] the value φ_c for light concretes is slightly higher than for heavy, and varies within 0.85... 1.

NOTE: The results of the age 180, 360 days here and later are not given because of the reduction in the volume of the article.

The experimental values of the controlled parameters $f_{c(28)}$, $f_{cd(28)}$ were used to estimate the influence of the variation of the strength expanded clay concrete on the φ_c smallest squares equation obtained:

$$\varphi_c = 0,826 + 0,0097x - 0,0003x^2. \quad (10)$$

Analytical expressions recommended by various researchers to describe changes in the strength of concrete in time generally do not contain parameters characterizing the composition.

Without contesting the validity of this approach, it should be noted that for light concrete this assumption is not always justified. For them, the recommended time dependency structure should be improved by introducing the composition factors that most significantly affect strength.

Summary

1. Expanded clay concrete on quartz sand and cement-lime-fly ash binder with a strength of 15, 20, 25 MPa can be recommended as a construction material for the manufacture of concrete and reinforced concrete structures.

2. Studies of the strength of expanded clay concrete on quartz sand, made on the basis of CLF -binding and determined:

- bulk mass;
- cubic and prism strength and their change in time;
- the value of the prism strength coefficient.

3. Density ρ , strength f_c , f_{cd} expanded clay concrete in ages 1(a.s), 28, 180, 360 days is recommended to use simple linear regression equations.

References

1. Proektuvannia keramzytobetoniv z urakhuvanniam retsepturno-tekhnologichnykh faktoriv i konstruktсии na yikh osnovi dlia monolitnoho budivnytstva : monohrafiia / V.S. Dorofieiev, A.I. Kostyuk ta in. Odesa. ODABA. 2014. 176 s.

2. Kravchenko S.A., Posternak O.O., Stolevych I.A. Nesucha zdatnist deforta matyvniist elementiv i konstruktсии z keramzytobetonu na bahatoponnomu viazhuchomu. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi : zb. nauk. prats. Lutsk. Lutskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet. № 16. 2021. S. 85-92. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-11](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-11).

3. Kravchenko S.A., Posternak O.O., Stolevych I.A. Konstruktсииi ta konstruktсииi-teploizoliatsiini lehki betony na porystykh zapovniuvachakh. Resursoekonomni materialy, konstruktсии, budivli ta sporudy : zb. nauk. prats. Rivne. UDUVHP. 31. 2015. S. 213-221.

4. Chandra S., Berntsson L. *Lightweight Aggregate Concrete*. 1st ed. Noyes Publications; Norwich, UK: 2002. p. 450.
5. Dilli M.E., Atahan H.N., Şengül C. A comparison of strength and elastic properties between conventional and lightweight structural concretes designed with expanded clay aggregates. *Constr. Build. Mater.* 2015, 101, pp. 260–267.
6. Melby K. Use of High Strength LWAC in Norwegian Bridges. In: Helland S., Holand I., Smeplass S., editors. *Proceedings of the Second International Conference on Structural Lightweight Aggregate Concrete*, Kristiansand, Norway, 18–22 June 2000. Norwegian Concrete Association; Oslo, Norway: 2000. pp. 47–56.
7. Neville A. M. *Wlasciwosci betonu, wudanie 4*, Krakow, 2000. - 874s.
8. Norden G., Thienel K.-C. Pumping of Lightweight Aggregate Concrete Based on Expanded Clay in Europe. In: Concrete S., Holand I., Smeplass S., editors. *Proceedings of the Second International Conference on Structural Lightweight Aggregate Concrete*,
9. Suraneni P., Anleu B.P.C., Flatt R.J. Factors affecting the strength of structural lightweight aggregate concrete with and without fibers in the 1200–1600 kg/m³ density range. *Mater. Struct.* 2016;49:pp. 677-688.
10. Zareef M.A.M.E. Ph.D. Thesis. Technische Universität Berlin; Berlin, Germany, 2010: *Conceptual and Structural Design of Buildings made of Lightweight and Infra-Lightweight Concrete*; p. 119.
11. Ocheretnyi V. P., Kovalskyi V. P., Mashnytskyi M. P., Didenko A. F. Vykorystannia vidkhodiv promyslovosti dlia vyrobnytstva efektyvnykh budivelnykh materialiv. *Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi : naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. Vinnytsia. VNTU. 2. 2010. S. 53-55.*
12. Dvorkin L.I., Zhytkovskiy V.V., Marchuk V.V., Stepasiuk Yu.O., Skrypnyk M.M. *Efektyni tekhnologii betoniv iz zastosuvanniam tekhnohennoi syrovyny: monohrafiia. Rivne. NUVHP. 2017.- 424 s. ISBN 978-966-327-362-4.*
13. Ahafova I.P., Posternak O.O., Kravchenko S.A., Ahaieva O.A., Stolevych I.A. Doslidzhennia mitsnismisnyykh defori matyvnyvlastyvoi kerzytobetonu na-lnzouch na na. *Novi tekhnologii v budivnytstvi : naukovo-tekhnichnyi zhurnal. Kyiv. NDIBV. 40. 2021. S. 38-43. DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.40.5>.*
14. Kravchenko S.A., Posternak O.O. Mikrotrishchynoutvorenna ta koefitsient intensyvnosti napruzhen keramzytobetonu na bahatokomponentnomu nomu viazhomu. *Visnyk ODABA : zbirnyk naukovykh prats. Odesa. ODABA. 70, 2018. S.56-62.*
15. Kravchenko S.A., Posternak O.O. Nesucha zdatnist ta deformatyvnist zghynalnykh elementiv z keramzytobetonu na bahatokomponentnomu viazhuchomu pry dovhotryvalii dii navantazhennia. *Resursoekonomni materialy, konstruktsii,budivli ta sporudy : zb. nauk. prats. Rivne. UDUVHP. 35. 2018. S.85-94.*
16. Kravchenko S.A., Posternak O.O. Doslidzhennia zrazkiv perekryttia z keramzytobetonu na bahatokomponentnomu viazhuchomu. *Visnyk ODABA : zbirnyk naukovykh prats. Odesa. ODABA. 66. 2017. S.41-47.*

Література

1. Проектування керамзитобетонів з урахуванням рецептурно-технологічних факторів і конструкцій на їх основі для монолітного будівництва : монографія / В.С. Дорощев, А.І. Костюк та ін. Оdesa. OДАБА. 2014. 176 с.
2. Кравченко С.А., Постернак О.О., Столевич І.А. Несуча здатність та деформативність елементів і конструкцій з керамзитобетону на багатокomponentному в'язчому. *Сучасні технології та методи розрахунків у*

будівництві : зб. наук. праць. Луцьк. Луцький національний технічний університет. № 16. 2021. С. 85-92. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-11](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-11).

3. Кравченко С.А., Постернак О.О., Столевич І.А. Конструкційні та конструкційно-теплоізоляційні легкі бетони на пористих заповнювачах. Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. Рівне. УДУВГП. № 31. 2015. С. 213–221.

4. Chandra S., Berntsson L. *Lightweight Aggregate Concrete*. 1st ed. Noyes Publications. Norwich. UK. 2002. p. 450.

5. Dilli M.E., Atahan H.N., Şengül C. A comparison of strength and elastic properties between conventional and lightweight structural concretes designed with expanded clay aggregates. *Constr. Build. Mater.* 2015. 101. pp. 260–267.

6. Melby K. Use of High Strength LWAC in Norwegian Bridges. In: Helland S., Holand I., Smeplass S., editors. *Proceedings of the Second International Conference on Structural Lightweight Aggregate Concrete*, Kristiansand. Norway. 18–22 June 2000. Norwegian Concrete Association. Oslo. Norway. 2000. pp. 47–56.

7. Neville A. M. *Wlasciwosci betonu*, wudanie 4. Krakow. 2000. 874s.

8. Norden G., Thienel K.-C. Pumping of Lightweight Aggregate Concrete Based on Expanded Clay in Europe. In: Concrete S., Holand I., Smeplass S., editors. *Proceedings of the Second International Conference on Structural Lightweight Aggregate Concrete*.

9. Suraneni P., Anleu B.P.C., Flatt R.J. Factors affecting the strength of structural lightweight aggregate concrete with and without fibers in the 1200–1600 kg/m³ density range. *Mater. Struct.* 2016. 49. pp. 677–688.

10. Zareef M.A.M.E. Ph.D. Thesis. Technische Universität Berlin. Berlin, Germany. 2010. *Conceptual and Structural Design of Buildings made of Lightweight and Infra-Lightweight Concrete*. p. 119.

11. Очеретний В. П., Ковальський В. П., Машницький М. П., Діденко А. Ф. Використання відходів промисловості для виробництва ефективних будівельних матеріалів. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : науково-технічний збірник. Вінниця. ВНТУ. № 2. 2010. С. 53-55.

12. Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Марчук В.В., Степасюк Ю.О., Скрипник М.М. Ефективні технології бетонів із застосуванням техногенної сировини: монографія. Рівне. НУВГП. 2017.-424 с. ISBN 978-966-327-362-4.

13. Агафонова І.П., Постернак О.О., Кравченко С.А., Агаєва О.А., Столевич І.А. Дослідження міцнісних і деформативних властивостей керамзитобетону на цементно-зольному в'язучому. Нові технології в будівництві : науково-технічний журнал. Київ. НДІБВ. №40. 2021. С. 38-43. DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2021.40.5>.

14. Кравченко С.А., Постернак О.О. Мікротріщиноутворення та коефіцієнт інтенсивності напружень керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому. Вісник ОДАБА : збірник наукових праць. Одеса. ОДАБА. №70, 2018. С.56-62.

15. Кравченко С.А., Постернак О.О. Несуча здатність та деформативність згинальних елементів з керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому при довготривалій дії навантаження. Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. Рівне. УДУВГП. № 35. 2018. С.85–94.

16. Кравченко С.А., Постернак О.О. Дослідження зразків перекриття з керамзитобетону на багатокомпонентному в'язучому. Вісник ОДАБА : збірник наукових праць. Одеса. ОДАБА. №66. 2017. С.41-47.

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА ВНУТРІШНІ НАПРУЖЕННЯ В МОНОЛІТНОМУ ЦЕМЕНТОБЕТОНІ, ЩО ТВЕРДІЄ

STRUCTURE FORMATION AND INTERNAL STRESSES IN HARDENING MONOLITHIC CEMENT CONCRETE

Толмачов Д.С., к.т.н., докторант (Харківський національний університет міського господарства), Толмачов С.М., д.т.н., проф. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

Tolmachov D.S., Ph.D., doctoral student (Kharkiv National University of Urban Economy), Tolmachov S.M. Doctor of technical sciences, Professor (Kharkiv National Automobile and Highway University)

У статті розглянуто питання впливу внутрішніх та зовнішніх факторів на властивості монолітних дорожніх цементобетонів. Показано, що основну небезпеку для бетону становить тріщиноутворення. На ранніх стадіях твердіння воно залежить від градієнта температур і величин усадки, а в період експлуатації бетону дорожніх покриттів – від величини внутрішніх напруг. У статті показано, що особливості структуриутворення в період твердіння визначають тріщиностійкість бетону та пов'язані з величиною внутрішніх напруг у бетоні. Визначено критичний градієнт температур, при якому може утворитися тріщина та тривалість цього періоду. Проведено прямі вимірювання величини внутрішньої напруги в бетоні на протязі 28 днів.

The article discusses the influence of internal and external factors on the physical and mechanical characteristics of monolithic road cement concrete. It has been shown that the main danger for hardening and operating concrete is cracking. Crack formation can be caused by thermal stresses or deformations caused by shrinkage of concrete during hardening. The main danger for hardening concrete in the initial period is the increased water content in the concrete composition. Evaporation of moisture from hardening concrete leads to shrinkage deformations of the concrete and subsequent cracking. Therefore, to reduce moisture loss from hardening concrete, it is necessary to carry out operations to care for hardening concrete, for example, using film-forming materials. It is shown that in all cases, cracking is caused by internal stresses in concrete. In the early stages of hardening, cracking depends on the temperature gradient and the magnitude of shrinkage deformations, and during the period of operation of concrete road surfaces - on the magnitude of internal stresses. It is shown that the features of structure formation during the hardening period determine the crack resistance of concrete and are associated with the magnitude of internal stresses in concrete. It is shown that under certain conditions, and in the case of cracking, self-organization of the system, which is monolithic cement concrete, is possible. This leads to self-healing of formed cracks and increased durability of road concrete. This is especially important during the initial period of

hardening of monolithic cement concrete, during the period of possible formation of shrinkage or thermal cracks. In the future, during the operation of road surfaces, the ongoing adaptation of the structure to the effects of the external environment can improve the durability of concrete. The work determines the critical temperature gradient at which a crack can form and the duration of this period. Direct measurements of the magnitude of internal stresses in concrete were carried out during 28 days of hardening. The main features of the mutual relationship between the processes of structure formation and internal stresses in concrete are considered.

Ключові слова: монолітний дорожній цементний бетон, усадка, випаровування вологи, тріщиноутворення, внутрішні напруги, структура, структуроутворення, самоорганізація, адаптація.

Keywords: monolithic road cement concrete, shrinkage, moisture evaporation, cracking, internal stresses, structure, structure formation, self-organization, adaptation.

Вступ. Значна кількість вантажоперевезень у світі здійснюється автотранспортом і вона постійно зростає. Найбільш ефективним матеріалом покриття за інтенсивних перевезень при великих навантаженнях на вісь автомобіля є цементобетон. При виготовленні монолітного цементобетонного покриття вже в початковий період твердіння в бетоні виникають внутрішні напруги усадкового та термічного характеру. На дорожнє покриття постійно діють циклічні механічні навантаження від транспорту, а також циклічна дія вологи та температури. Це призводить до того, що цементобетон покриття постійно перебуває у складному напруженому стані. У такому стані можуть виникати тріщини, які можуть призвести до його руйнування. До негативних сторін твердіння монолітних бетонів в умовах підвищених температур внаслідок температурного впливу відносяться: поява та накопичення внутрішніх напруг, утворення мікротріщин, здатних зростати і розвиватися в магістральні тріщини, лущення, поява шаруватості в масиві бетону та ін. Особливу небезпеку становить усадка, тобто, зменшення лінійних розмірів виробу внаслідок внутрішніх та зовнішніх факторів.

Наприклад, поява волосяних тріщин здійснюється на поверхні цементобетону покриття на першому етапі твердіння (1...3 діб) і надалі веде до утворення ослаблених зон, у яких починається руйнація бетону. Воно відбувається пошарово з поверхні углиб бетону. У разі інтенсивного випаровування вологи в ранній термін твердіння бетону його поверхневий шар розпушується, послаблюється зв'язок з основним масивом. Надалі дія стираючих навантажень від транспорту призводить до пошарового зносу.

Ще однією причиною тріщиноутворення є градієнт температур, який виникає між поверхнею та внутрішнім шаром цементобетону і він також веде до внутрішньої напруги. Тому необхідно дослідити причини виникнення внутрішньої напруги і можливого тріщиноутворення, особливо в початковий період твердіння цементного бетону покриття.

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що зайва кількість води веде до появи усадкових тріщин, які виникають через випаровування вологи та ведуть до різкого погіршення міцності та довговічності монолітного цементного бетону дорожніх конструкцій. Тому, в будь-якому випадку необхідно забезпечити відповідний догляд за бетоном, що твердіє. Якщо його не проводити, то при твердінні з бетону випаровується велика кількість води і відбувається внутрішнє та поверхневе тріщиноутворення та подальше лущення бетону. У технології дорожніх та аеродромних бетонів для цього застосовують плівкоутворювальні матеріали, які формують на поверхні бетону конструкції непроникну плівку. Плівка перешкоджає інтенсивному випаровуванню вологи в перший період твердіння бетону, тим самим захищаючи його від тріщиноутворення.

Особливу небезпеку для масивних конструкцій становлять термічні тріщини. Вони виникають у конструкціях через локальне підвищення температури при тепловиділенні цементу, що твердіє. Також вони можуть виявлятися через градієнт температури між внутрішньою і поверхневою частинами бетону, особливо в період експлуатації.

Не можна також забувати утворення структурних дефектів, які можуть виникати у конструкціях під час їх виготовлення. В цілому, до основних видів дефектів, що виникають у монолітному цементному бетоні конструкцій, можна віднести: поодинокі силові тріщини; групові силові тріщини; температурно-усадкові тріщини; відколи кромок бетонних плит; відшарування поверхневого захисного шару; раковини та каверни у структурі та на поверхні.

Аналіз стану бетонних виробів та покриттів автомобільних доріг показує, що будь-яке порушення процесу нормального твердіння бетону призводить до виникнення на його поверхні сітки тріщин, що в подальшому призводить до руйнування. Можна вважати встановленим фактом, що тріщини на поверхні дорожнього бетону виникають: при усадці бетону при твердінні, наявності градієнта температур між поверхнею і внутрішньою частиною бетону і циклічною дією механічних навантажень [1,2].

Серед наведених факторів основною причиною руйнування бетону є тріщиноутворення. Причому, дія зовнішніх навантажень призводить до того, що дрібні тріщини, пори та інші мікрodefекти, що знаходяться в структурі бетону, накопичуються і, поступово переростаючи у більші тріщини, утворюють блокову структуру, яка досить легко руйнується.

Дослідження [3] показали, що існує досить точна кореляція між випаровуванням вологи з бетону і його усадкою. На інтенсивність випаровування, і, відповідно, величину усадки, впливають наявність добавок, гранулометрія заповнювачів, співвідношення між ними, витрата в'язучого, умови твердіння [4].

І.М. Грушко показав, що оскільки на кожному етапі твердіння існують два фактори – структуроутворюючий та деструктивний, то бетон навіть без

зовнішнього навантаження знаходиться у нерівноважному внутрішньо-напруженому стані [5].

У працях Ю.В. Зайцева показано, що у бетоні тріщини можуть розвиватися у будь-якій зоні, як у цементному камені, так і у зонах контакту, і навіть у заповнювачі. Вони проникають з більш жорсткої частини матеріалу у менш жорстку, а умовою руйнування бетону є утворення однієї або декількох магістральних, тобто., наскрізних тріщин.

На нашу думку, у зв'язку з тим, що тріщиностійкість бетону може змінюватися з часом, у кожному конкретному випадку для боротьби з тріщиноутворенням необхідно застосовувати первинний або вторинний захист бетону, що твердіє або експлуатується [6,7].

Ряд досліджень показав, що при утворенні та подальшому розвитку таких тріщин від усадки та контракції деформації розтягування зростають, що призводить до збільшення ширини розкриття тріщин [8-11]. При розвитку повітряної усадки виділяють три етапи тріщиноутворення. Перший – від 1,25 до 2,5 діб – етап наростання кількості ушкоджень. Кількість пошкоджень сягає 1,5% площі. Другий етап – від 2,5 до 5 діб, коли деформації менші і кількість ушкоджень збільшується незначно (до 2,5 %). При цьому в роботах [10-11] це пов'язують із можливою релаксацією усадкових напруг у цей період. Третій етап – етап інтенсивного розвитку деформацій (понад 5 діб), коли кількість ушкоджень різко зростає до 5%.

Проте автори вважають, що контроль внутрішньої напруги від усадки за допомогою приладів навряд чи можливий.

В.Н.Вировой із співробітниками пропонує розглядати бетонні конструкції, до яких відносять і покриття, як відкриту складну динамічну систему (ВСДС) [12-13]. ВСДС утворюється у період підбору складу бетону, виготовлення та укладання суміші та подальшого твердіння цементобетону. У свою чергу вона складається з підсистем, які при різних впливах здатні проявляти самоорганізацію (структурну перебудову), що призводить до проявів адаптації. Адаптація проявляється у вигляді зміни кількісного та якісного складу підсистем. У цьому відбувається внутрішня структурна перебудова (приспосовування) під впливом дії комплексу зовнішніх впливів [14]. Одним із позитивних моментів самоорганізації є здатність до самовідновлення зруйнованої підсистеми.

Наприклад, це може виражатися у здатності зарощувати тріщини як усередині, так і на поверхні цементобетонної конструкції. Це може проявлятися як у початковий період твердіння монолітного бетону, так і у період його експлуатації. При цьому внутрішні напруги в структурі зменшуються, а бетон підвищує свою довговічність. Можна сказати, що з циклічністю впливів релаксація напруг також відбувається циклічно.

М.А.Саницький, проводячи аналіз швидкостей реакцій гідратації мінералів, показав, що можливе прискорення процесів гідратації за певних умов [15]. Розчинення кристалів мономінералів переважно відбувається на

певних ділянках поверхні, які характеризуються надмірною поверхневою енергією. Це ділянки на реакційноздатних центрах, що включають дефекти, дислокації та грані зерен. При цьому, аліт та алюмінат є найбільш реакційноздатними фазами, особливо в першу добу твердіння. Це створює реальні можливості для саморемонту дефектів структури та її самовідновлення.

Відносно термічної напруги, то дослідження показали, що найбільш небезпечним для монолітного цементного бетону є початковий період твердіння, коли напруги в ньому максимальні. Аналіз термонапруженого стану цементобетону в початкові терміни твердіння показав, що найбільш небезпечним для термічного тріщиноутворення є період твердіння від 10 до 17 годин, коли проявляється максимум градієнта температур на поверхні та в масиві бетону [16-17].

Наведені дані показують, що для монолітного бетону, в першу чергу дорожнього та аеродромного, який постійно перебуває у стані внутрішньої напруги, існує небезпека тріщиноутворення, як у початковий період твердіння, так і надалі. При цьому важливим є визначення та контроль самих внутрішніх напружень та наслідків їх впливу.

Мета роботи – аналіз внутрішньої напруги цементного бетону при твердінні.

Завдання досліджень. 1. Дослідити причини виникнення внутрішніх напруг у монолітному дорожньому цементобетоні.

2. Здійснити вимірювання внутрішніх напруг у бетоні, що твердіє.

3. Порівняти характер напруг із процесами структуроутворення.

Методика досліджень. Внутрішню напругу в піщаному цементному бетоні складу Ц:П = 1:3 вимірювали за допомогою п'єзокристаличного датчика, приєднаного до мілівольметра. Міцність бетону вимірювали на зразках-балочках розмірами 40x40x160 мм.

Результати досліджень. Проведені нами дослідження показали, що найбільш небезпечним періодом для монолітного дорожнього бетону, що твердіє, є початковий період [18]. Розрахунковим шляхом було встановлено, що критичний градієнт температур, при якому можливе утворення термічних тріщин на поверхні дорожнього бетону при товщині плити 26 см, дорівнює 26.3°C. Небезпека термічного тріщиноутворення зберігається як під час твердіння, так і при експлуатації протягом 8.3 години. Аналогічні дані отримано у роботі [16].

Зазвичай для вимірювання внутрішніх напруг використовували накладні тензодатчики, які дозволяли оцінити не напруги, а деформації зразка бетону цементного при впливі на нього зовнішнього навантаження. Фактично це дозволяло опосередковано визначити деформативність цементних бетонів при механічних навантаженнях. Тому для прямого вимірювання виникаючих у цементних бетонах внутрішніх напруг використовували п'єзокристаличні датчики, які занурювали в бетонну суміш

при формуванні зразків. Провід від цих датчиків підключали до мілівольметра. При тепло- і масообмінних явищах у цементному бетоні, що твердіє, відбувається рух потоків, які згинають пластини датчиків. При цьому генерується ЕРС, величина якої може бути виміряна (рис.1).

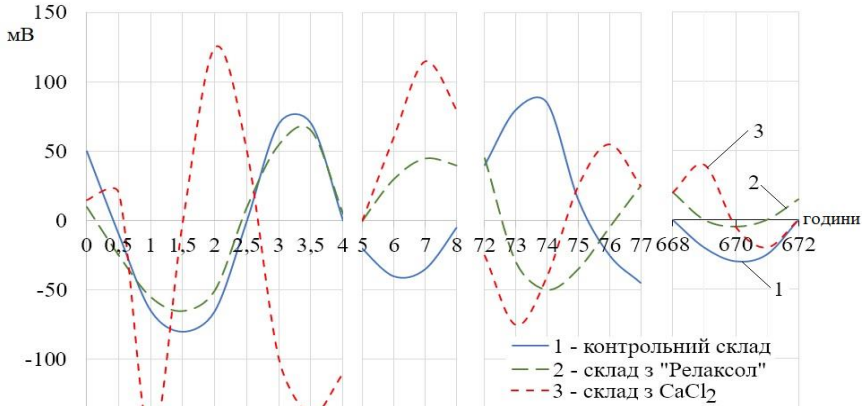


Рисунок 1 – Зміна внутрішніх напруг у бетоні, що твердіє

Такий спосіб вимірювання дозволяє кількісно оцінити величину внутрішніх напруг. Дослідження показали, що напрями масообмінних потоків з часом змінюються. При цьому змінюється знак заряду генерованої ЕРС. Це може свідчити про те, що крім руху вологи з глибини бетону до поверхні (масообмінні процеси) у цементних бетонах відбуваються інші явища, які також призводять до появи внутрішніх напруг. Якщо прийняти, що спочатку переважає розчинення і створюється пересичення (знак ЕРС негативний), далі починається схоплювання цементного тіста, яке супроводжується створенням стиснених умов і виникненням внутрішньої напруги, тиск від якого створює ЕРС протилежного знака. Причому характер кривих складу без добавок та складу із суперпластифікатором «Релаксол» однаковий. У той же час, крива складу з прискорювачем CaCl₂ зміщена до початку, що свідчить про швидше проходження процесів розчинення та пересичення. Крім того, амплітуда кривої складу з CaCl₂ значно більша, ніж інших складів, що кількісно підтверджує відомі висловлювання про те, що введення прискорювачів схоплювання і твердіння призводить до значної внутрішньої напруги в бетоні.

Значна внутрішня напруга виникає в бетоні до 3 годин і до 6 годин твердіння. Це відповідає періоду завершення схоплювання. І знову, найбільша амплітуда (за яку вважатимуться аналогічної величині напруги) відзначена кривою складу з прискорювачем (крива 3). У цей період

структура бетону дуже слабка і в ній можливе тріщиноутворення, викликане внутрішньою або повітряною усадкою.

До 3 діб твердіння, коли основні процеси структуроутворення та масопереносу завершені, величина внутрішніх напруг та амплітуда значно знижується та вирівнюється для всіх складів бетону. До цього часу міцність бетону може досягати 50-60% від марочної, що дозволяє структурі бетону релаксувати внутрішні напруги. У цей період усадкове тріщиноутворення малоімовірне. Ще більше знижуються внутрішні напруги до 28 діб твердіння, проте вони продовжують виникати.

Висновки. На основі аналізу літературних даних встановлені основні причини внутрішніх напруг і тріщиноутворення у монолітних дорожніх цементних бетонах, що твердіють. За допомогою п'єзокристалічних датчиків проведено пряме кількісне вимірювання внутрішньої напруги при твердінні цементних бетонів. Розрахунковим шляхом встановлено критичну величину градієнта температур, яка може призвести до термічного тріщиноутворення. Запропоновано інтерпретацію взаємозв'язку між величиною внутрішніх напружень і процесами структуроутворення.

References

1. Tsilosani Z.N. Usadka i polzuchest betona / Z.N.Tsilosani – Tbilisi: Mitsniereba. – 1979. – 188 s.
2. Semenov K.V. Termicheskay treshinostoykost v massivnih betonnih fundamentnih plitah i ii obespetenie v stroitelniy period zimoy / K.V.Semenov, U.G. Barabanchikov // Stroitelstvo unikalnih zdaniy i sooruzeniy. – 2014. – № 2. – s. 125 – 135.
3. Tolmachov D.S. Vliyanie usadki na strukturu i svoystva rastvorov / D.S. Tolmachov // Stroitelnye materialy. – 2013. – № 10. – С. 62 – 65
4. Lermi R. Problemi tehnologii betona / R. Lermi. – М.: LKI. – 2007. – 296 с.
5. Grushko I.M. Povishenie protnosti I vinoslivosty betona / I.M. Grushko., A.G.Ilyin, E.D.Tchihladze // Kharkov : Visha Shkola, 1987.- 152 s.
6. Zmina thishinostiykosty doroznyogo betony v expluataziynoi stadii / S.Y.Solodkiy, S.M. Tolmachov // Visnik ODABA, Odesa «Zovnishreclamservis», 2014. – Вип. 55. – s. 230 – 235.
7. Tolmachov S.N. Various stages of protection of concrete roads / S.N. Tolmachev, O.A. Belichenko & H.V. Brazhnyk // Proceedings of Concrete Solutions, 6-th International conference on concrete repair, Thessaloniki, Greece, 20 – 23 june 2016 // Taylor & Francis Group, London (UK), 2016 – P. 99 – 103.
8. Mauroux T. Study of cracking due to drying in coating mortars by digital image correlation / T. Mauroux, F. Benboudjema, P. Turcry, A. Ant-Mokhtar, O. Deves // Cement and Concrete Research. – 2012. – № 42 (2012). – P. 1014 – 1023.

9. Laurence O. La fissuration due au retrait restreint dans les ruperations minces en buton: apport combinu de l'expurimentation et de la modulisation / O. Laurence // PhD Thesis, ENPC-Laval University, 2001. – P. 235 – 246.
10. Colina H. Drying cracks: kinematics and scale laws / H. Colina, P. Acker // Mater. Struct. – 2000. – № 33 (2000). – P. 101 – 107.
11. De Sa C. Analysis of microcracking induced by differential drying shrinkage / C. De Sa, F. Benboudjema, M. Thiery, J. Sicard // Cem. Concr. Compos. – 2008. – № 30 (2008). – P. 947 – 956.
12. Suhanov V.G. Struktura materialu u structurі konstrukzii / V.G. Suhanov, V.M.Virovoy, O.O.Korobko // Odesa : ODABA, 2022.- 412 c.
13. Virovoy V. Структуроутворення та руйнування будівельних композитів / V.Virovoy, O.Korobko, V.Suhanov, N Kazmirtuk, S.Makarova // Odesa : ODABA, 2020.- 172 c.
14. Chernnavsky V.L. Adaptazia abioticheskikh system: beton i zelezobeton / V.L.Chernnavsky // Dnepropetrovsk : DNUZT, 2008.- 412 c.
15. Sanytsky M. Mechanisms of cement minerals dissolution / M. Sanytsky // 19 Internationale Baustofftagung, Deutschland: Tagungsbericht. - Weimar, 2015. - Band 1. - P. 1-607 – 1-614.
16. Solodkiy S.I. Ozinuvanniy termonapruzivannogo stanu doroznih pocrittiv na rannih stadiyah tverdnenniy cementnogo betonu / S.I.Solodkiy, R.Y.Livsha // Avtoshlahovic Ukrainy. – 2015. – № 1 – 2. – С. 71 – 74.
17. Sopov V.P. Raschet temperaturnih poley v betone / V.P.Sopov, E.V.Poclonskiy, I.M. Belih // Kharkiv. – HOTB ABU. – 2009. – № 54. – С. 374 – 378.
18. Tolmachov D.S. Розрахунок імовірності утворення температурних тріщин у монолітних дорожніх бетонах / D.S. Tolmachov, V.P.Sopov, S.M.Tolmachov // Вісник ODABA, Odesa «Zovnishreclamservis», 2017. – 66. – s. 113 – 117.

Література

1. Цилосани З.Н. Усадка и ползучесть бетона / З.Н. Цилосани. – Тбилиси: Мецниереба. – 1979. – 188 с.
2. Семенов К.В. Термическая трещиностойкость в массивных бетонных фундаментных плит и ее обеспечение в строительный период зимой / К.В. Семенов, Ю.Г. Барабанщиков // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 2. – С. 125 – 135.
3. Толмачев Д.С. Влияние усадки на структуру и свойства растворов / Д.С. Толмачев // Строительные материалы. – 2013. – № 10. – С. 62 – 65
4. Лермит Р. Проблемы технологии бетона / Р. Лермит. – М.: Изд-во ЛКИ. – 2007. – 296 с.
5. Грушко И.М. Повышение прочности и выносливости бетона / И.М.Грушко, А.Г.Ильин, Э.Д.Чихладзе // Харьков : Вища школа, 1987.- 152 с.

6. Солодкий С.Й. Зміна тріщиностійкості дорожнього бетону в експлуатаційній стадії / С.Й. Солодкий, С.М. Толмачов // Вісник ОДАБА, Одеса «Зовнішпрекламсервіс», 2014. – Вип. 55. – С. 230 – 235.
7. Tolmachev S.N. Various stages of protection of concrete roads / S.N. Tolmachev, O.A. Belichenko & H.V. Brazhnyk // Proceedings of Concrete Solutions, 6-th International conference on concrete repair, Thessaloniki, Greece, 20 – 23 June 2016 // Taylor & Francis Group, London (UK), 2016 – P. 99 – 103.
8. Mauroux T. Study of cracking due to drying in coating mortars by digital image correlation / T. Mauroux, F. Benboudjema, P. Turcry, A. Апт-Mokhtar, O. Deves // Cement and Concrete Research. – 2012. – № 42 (2012). – P. 1014 – 1023.
9. Laurence O. La fissuration due au retrait restreint dans les ruperations minces en buton: apport combinu de l'expurimentation et de la modulisation / O. Laurence // PhD Thesis, ENPC-Laval University, 2001. – P. 235 – 246.
10. Colina H. Drying cracks: kinematics and scale laws / H. Colina, P. Acker // Mater. Struct. – 2000. – № 33 (2000). – P. 101 – 107.
11. De Sa C. Analysis of microcracking induced by differential drying shrinkage / C. De Sa, F. Benboudjema, M. Thiery, J. Sicard // Cem. Concr. Compos. – 2008. – № 30 (2008). – P. 947 – 956.
12. Суханов В.Г. Структура матеріалу у структурі конструкції / В.Г.Суханов, В.М.Вировой, О.О.Коробко // Одеса : ОДАБА, 2022.- 412 с.
13. Вировой В. Структуроутворення та руйнування будівельних композитів / В.Вировой, О.Коробко, В.Суханов, Н.Казмірчук, С.Макарова // Одеса : ОДАБА, 2020.- 172 с.
14. Чернявский В.Л. Адаптация абиотических систем : бетон и железобетон / В.Л.Чернявский // Днепрпетровск : ДНУЖТ, 2008.- 412 с.
15. Sanytsky M. Mechanisms of cement minerals dissolution / M. Sanytsky // 19 Internationale Baustofftagung, Deutschland: Tagungsbericht. - Weimar, 2015. - Band 1. - P. 1-607 – 1-614.
16. Солодкий С.Й. Оцінювання термонапруженого стану дорожніх покриттів на ранніх стадіях тверднення цементного бетону / С.Й. Солодкий, Р.Я. Лівша // Автошляховик України. – 2015. – № 1 – 2. – С. 71 – 74.
17. Сопов В.П. Расчет температурных полей в бетоне / В.П. Сопов, Е.В. Поклонский, И.М. Белых // Харків. – ХОТВ АБУ. – 2009. – № 54. – С. 374 – 378.
18. Толмачов Д.С. Розрахунок імовірності утворення температурних тріщин у монолітних дорожніх бетонах / Д.С. Толмачов, В.П. Сопов, С.М. Толмачов // Вісник ОДАБА, Одеса «Зовнішпрекламсервіс», 2017. – 66. – С. 113 – 117.

УДК 528.8+711.4

ОГЛЯД СПЕКТРАЛЬНИХ ІНДЕКСІВ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

REVIEW OF SPECTRAL INDICES FOR REMOTE SENSING OF URBAN AREAS

Уль А.В., д.т.н., проф., Мельник О.В., к.т.н., доц. (Волинський національний університет ім. Лесі Українки, Луцьк), Мельник Ю.А., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк), Вакулюк Л.А., старший викладач (Волинський національний університет ім. Лесі Українки, Луцьк)

Uhl A.V., Dr.Tech in Engineering, Professor, Melnyk O.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk), Melnyk Y.A., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk), Vakulyuk L.A., Senior Lecturer (Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk)

Сьогодні світова тенденція урбанізації зробила часто оновлювані карти критично важливими. Карти землекористування та земного покриву є корисними для цілей державного планування, управління навколишнім середовищем, боротьби зі стихійними лихами та оперативного інформування широкої громадськості з тих чи інших потреб. Зв'язок між урбанізацією та впливом на довкілля можна проаналізувати шляхом картографування його масштабів і тяжкості у зв'язку з розширенням міст. Проблему створення таких карт у великому масштабі можна вирішити за допомогою супутникового дистанційного зондування.

Супутникові датчики дистанційного зондування мають кілька спектральних діапазонів для використання в аналізі, де кожен діапазон може мати переваги з огляду на властивості матеріалів, які можна ідентифікувати в різних частинах світлового спектру. Дослідження, представлені тут, зосереджені в основному на супутниках з помірною роздільною здатністю. Дані з середньою роздільною здатністю можуть бути достатніми для картографування міської території і, як правило, доступні безкоштовно у великих обсягах. Ця робота спрямована на систематизацію найбільш релевантних для міського середовища спектральних індексів, зокрема мультиспектральних, теплових та індексів нічної освітленості. Цей огляд допомагає краще зрозуміти можливості використання спектральних індексів в міських дослідженнях, вибір найбільш відповідних індексів для конкретних задач з урахуванням доступних спектральних діапазонів, а також їхні переваги та обмеження.

Today, the global trend of urbanization has made frequently updated maps critical. Land use and land cover maps are useful for government planning, environmental

management, disaster management, and for promptly informing the general public about certain needs. The relationship between urbanization and environmental impacts can be analyzed by mapping the extent and severity of environmental impacts as cities expand. Maps can serve as an emergency response tool for natural disasters such as fires, earthquakes, and floods, where the extent and severity of disasters can be mapped and analyzed to support response efforts. The problem of creating such maps on a large scale can be solved with the help of satellite remote sensing.

Satellite remote sensing sensors have several spectral bands for use in analysis, where each band can have advantages based on the properties of materials that can be identified in different parts of the light spectrum. Remote sensing data provides a bird's eye view of changes associated with urban growth. High-resolution remote sensing is very useful for mapping the extent of urbanization as well as for mapping individual objects, and the research presented here focuses mainly on moderate-resolution satellites. Medium-resolution data can be sufficient for mapping urban areas and are generally available for free in large time series volumes compared to high-resolution data, which are expensive to acquire, making them unsuitable for institutions with limited budgets. This paper aims to systematize the most relevant spectral indices for urban environments, including multispectral, thermal, and nighttime light indices. This review helps to better understand the possibilities of using spectral indices in urban research, the selection of the most appropriate indices for specific tasks, taking into account the available spectral bands, as well as their advantages and limitations.

Ключові слова: урбанізовані території, дистанційне зондування, мультиспектральні зображення, спектральні індекси, картографування.

Keywords: urbanized areas, remote sensing, multispectral images, spectral indices, mapping.

Вступ

У сфері дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у містах за останні два десятиліття з'явилося багато перспективних містобудівних спектральних індексів для дослідження міського землекористування та ґрунтового покриття (Land Use and Land Cover (LULC)). Застосування ДЗЗ зараз має фундаментальне значення, від міського планування до управління містом. Старі карти та польові дослідження застарівають і швидко замінюються зображеннями ДЗЗ для урбаністичних досліджень [1]. За допомогою даних ДЗЗ тепер можна складати карти від окремого міста [2], регіональні [3] до глобального картографування землекористування [4].

Постановка завдання

Набори мультиспектральних даних ДЗЗ користуються популярністю серед дослідників міст завдяки середній просторовій роздільній здатності, коротшій часовій роздільній здатності, спектральній роздільній здатності з видимим NIR, SWIR та тепловим діапазонами, глобальному охопленню, простоті доступу тощо. Серед основних джерел даних ДЗЗ місії Landsat мають найдовший стабільний історичний архів вільно доступних

інструментів дистанційного зондування (ДЗЗ) з глобальним покриттям серед усіх мультиспектральних датчиків, що приваблює дослідників для аналізу часових рядів. Sentinel-2A/B також має кращу просторову роздільну здатність, ніж Landsat, з деякими видимими діапазонами до 10 метрів. З іншого боку, спекторадіометр помірної роздільної здатності (MODIS) має широке покриття для регіональних досліджень, але дуже короткий часовий проміжок, що приваблює багато регіональних досліджень з низькими вимогами до просторової роздільної здатності. Інтелектуальний спектрометр видимого/інфрачервоного діапазону (VIRIS) має кращу спектральну роздільну здатність, але обмежений просторово-часовими рамками. Таким чином, кожен датчик ДЗЗ має свої переваги і недоліки.

Обчислювальні платформи ще більше розширюють можливості багатьох досліджень, у тому числі урбаністичних. Насамперед, Google Earth Engine (GEE), що дозволяє користувачам дуже швидко вивчати велику кількість даних ДЗЗ [5–7]. Крім того, ця платформа багаторазово збільшила обчислювальну потужність і можливості обміну даними між дослідниками.

Метою даної роботи є аналіз найпоширеніших спектральних індексів даних дистанційного зондування, що застосовуються в урбаністичних дослідженнях.

Виклад основного матеріалу

Спектральні індекси даних дистанційного зондування полегшують дослідження урбаністичних систем шляхом об'єднання декількох наборів даних, вилучення об'єктивної інформації, автоматизації обробки зображень, уникнення упередженості дослідників, полегшення операцій масштабування, підвищення надійності аналізу даних ДЗЗ та загального прискорення дослідження урбаністичних територій.

Раніше, на відміну від спектральних індексів рослинності та водних ресурсів, спектральні індекси для вивчення міст були рідкісним явищем. Майже всі індекси були розроблені після 2000 року. Спочатку урбаністичне індексування зосереджувалося на широких міських характеристиках, де поняття міста розглядалося як густонаселене місце. Згодом індекси зосередилися лише на інфраструктурних характеристиках міської території.

Зрештою, в індексації було зроблено акцент на непроникних характеристиках забудованої території як індикаторі міста. Як площа забудови, так і площа непроникної поверхні (impervious surface area (ISA)) мають спектральну схожість з відкритим ґрунтом. Тому більшість індексів із забудованими територіями розглядають її як обмеження. Багато уваги приділяли вирішенню проблеми класифікації між площею відкритого ґрунту та площі непроникної поверхні.

Існує багато методів виділення міських територій в області ДЗЗ. Спектральні індекси є одним з них у класифікаціях на рівні пікселів. Його легше застосовувати на широких масивах даних ДЗЗ, ніж традиційні алгоритми класифікації [8].

Спектральні індекси надають ймовірнісний вихід з безперервним значенням, тоді як класифікатори надають дискретні значення [9] при класифікації зображень. Тому в кількісних маніпуляціях індекси є популярними серед дослідників. Навіть у класифікаціях на рівні субпікселів індекси популярні при аналізі спектрального змішування для отримання кінцевих даних [10].

Контрольована класифікація зображень вимагає вибірки як навчальних даних і не може точно відтворювати географічні відмінності. На противагу цьому, класифікація на основі індексації є неконтрольованим методом, який легко відтворюється у глобальному масштабі, може працювати з великими джерелами даних і має надійні характеристики [11]. Тому класифікація зображень на основі спектральних індексів стає популярною в різних просторово-часових дослідженнях через їхню невибагливість щодо завіркових даних [7, 12].

Спектральні індекси корисні для вивчення даних ДЗЗ, визначення та виявлення змін землекористування та ґрунтового покриву у часі. По-перше, класи міського землекористування відрізняються від решти типів земного покриву тим, що це землекористування, створене людиною, на відміну від інших природних типів земного покриву. По-друге, міські території є дуже гетерогенними, фрагментованими і змішаними з іншими класами землекористування та ґрунтового покриву. По-третє, його спектральна сигнатура є заплутаною, де світлі пікселі мають схожість із сухим відкритим ґрунтом, а темні пікселі мають високу схожість із тінню, вологим відкритим ґрунтом та мілководними водоймами.

Просторова роздільна здатність в урбаністиці

Міське землекористування - це змішана територія, що включає в себе непроникні поверхні, рослинність, водні об'єкти та відкритий ґрунт. Дані ДЗЗ із середньою роздільною здатністю можуть бути ефективно класифіковані на обмежену кількість класів [13]. Зображення середнього рівня роздільної здатності 10-30 метрів є достатніми для картографування міських об'єктів, але недостатніми для картографування міських неоднорідностей. Таким чином, місії Landsat або Sentinel 2A/B є достатніми для дослідження міст із обмеженою точністю.

Поряд із картографуванням ґрунтового покриву [14], дані ДЗЗ з високою роздільною здатністю також використовуються для вивчення специфічних міських особливостей, таких як міська рослинність [15], міський водний стрес [16], евапотранспірація міського ландшафту [17], метод виявлення будівель [18], обвалення будівель після землетрусу [19] тощо.

Як правило, складність у формуванні спектральних індексів позитивно пов'язана з точністю і негативно - з надійністю. Прості індекси є надійними у використанні, але їм бракує точності, тоді як складні індекси є більш точними, але потребують більше інформації з ДЗЗ. Часто нестача інформації

про ДЗЗ (тобто спектральних смуг) робить складні індекси непридатними для використання.

Наприклад, вегетаційний температурно-світловий індекс (VTLI) [20] та модифікований нормалізований індекс різницевої поверхні (MNDISI_{Liu}) [21] забезпечують вищу точність порівняно з простим нормалізованим індексом забудованої різниці (NDBI), але для їхнього формулювання потрібна мультиспектральна, теплова інформація та дані про нічні вогні (NTL). Вивчаючи аналіз часових рядів, доцільно використовувати простіші індекси, щоб ці індекси можна було обчислити за допомогою наявних даних ДЗЗ [22].

Спектральні індекси для міст почали розроблятися з інфрачервоних спектральних діапазонів. Ці індекси були неефективними, оскільки забудовані території змішувалися з голим ґрунтом. Тому були розроблені нові індекси з використанням різних діапазонів, таких як панхроматичний, прибережний, тепловий тощо. Однак фокус змістився із забудованих територій на площу чистої поверхні. Крім того, для підвищення точності були розроблені комплексні та багатоджерельні індекси.

Існує багато активних датчиків ДЗЗ і ще більше наразі перебуває в стадії розробки. Для спрощення аналізу замість значень довжини хвилі сенсорів ДЗЗ ми використовували позначення, що відповідають назвам каналів з місії Landsat.

Спектральні індекси у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах

Датчики з довжиною хвилі від 400 до 900 нанометрів (нм) є найпоширенішими серед датчиків ДЗЗ для зйомки землі. (Табл. 1).

Таблиця 1 - Спектральні індекси із довжиною хвиль 400-800 нм

№ п/п	Формула	Джерело
1	$VrNIR - BI = (Red - NIR) / (Red + NIR)$	[23]
2	$VgNIR - BI = (Red - NIR) / (Red + NIR)$	
3	$BBI = NDBI_{Blue-Green,b} + NDBI_{Red-Green,b}$, де, $NDBI_{Blue-Green} = (Blue - Green) / (Blue + Green)$, $NDBI_{Red-Green} = (Red - Green) / (Red + Green)$	[24]
4	$CBCI = (A + 1) \times MBSI - OSAVI + A$, де, $MBSI = ((Red + Green) \times 2) / ((Red + Green) - 2)$, $OSAVI = (NIR - Red) / (NIR + Red + 0.16)$ при $A = 0,51$	[25]
5	$PISI = 0.8129 \times Blue - 0.5735 \times NIR + 0.0750$	[26]

Супутникові, повітряні і навіть безпілотні літальні апарати - майже всі

датчики ДЗЗ мають цей діапазон довжин хвиль.

У роботі [23] стверджується, що, окрім міських забудованих територій, суха рослинність також демонструє вищий коефіцієнт відбиття в області діапазону SWIR1. Тому вони запропонували два індекси забудови, що використовують лише видимі діапазони. Це видимий червоний індекс забудови в ближньому інфрачервоному діапазоні (VrNIR-BI) та видимий зелений індекс забудови в ближньому інфрачервоному діапазоні (VgNIR-BI).

Серед цих двох індексів VrNIR-BI працює краще, ніж VgNIR-BI, і він найкраще підходить для класифікації непроникних поверхонь та сухих рослинних ділянок, але не дуже добре підходить для класифікації непроникних поверхонь та відкритого ґрунту.

Різні версії NDBI були використані для створення нового бінарного індексу забудови (BBI), запропонованого з використанням видимого діапазону [24].

Інший мультиіндексний комбінований індекс біофізичного складу (CBCI) [25] використовує два індекси - модифікований індекс відкритого ґрунту (MBSI) та оптимізований індекс рослинності з поправкою на ґрунт (OSAVI) [27]. MBSI - це ґрунтовий індекс, а OSAVI - вегетаційний індекс, в якому A - це кореляційний фактор, який залежить від характеристик ґрунту, і його значення становить 0,51. Кореляційний фактор введено для того, щоб покращити MBSI порівняно з OSAVI. Сильна сторона CBCI полягає в тому, що він може розрізняти непроникні ділянки в суміші з ділянками рослинності, але не зовсім добре з ділянками ґрунту.

В роботі [26] використовували простори ознак синього та інфрачервоного діапазонів, щоб запропонувати рівняння опорної лінії, назване перпендикулярним індексом непроникної поверхні (PISI), яке відокремлює непроникні ділянки від відкритого ґрунту. Хоча він використовує лише два діапазони, він має вищу точність у відокремленні непроникної площі від площі голого ґрунту до цього моменту часу. PISI показав значно кращі результати, ніж індекси BCI та NDBI. Це стосується більшості оптичних датчиків, оскільки вони використовують лише синій та інфрачервоний діапазони. Приклад PISI може бути відтворений у багатьох інших застосуваннях ДЗЗ. Подібно до BBI, PISI збільшує роздільну здатність між непроникними ділянками і відкритим ґрунтом, а також між непроникними ділянками і ділянками рослинності.

Індекси з видимим, ближнім інфрачервоним та короткохвильовим інфрачервоним діапазонами

Ця частина включає міські спектральні індекси, що використовують видимий, ближній інфрачервоний (NIR) та короткохвильовий інфрачервоний (SWIR) діапазони (Табл. 2).

Перший міський спектральний індекс, що отримав назву UI, був запропонований [28]. Схожим найбільш використовуваним міським

індексом є NDBI, розроблений [29]. Тут автори спробували розробити бінарний індекс, використовуючи NDBI, де дані ДЗЗ класифікуються як міська та неміська територія. Всі позитивні значення NDBI вважалися міськими територіями.

У праці [30] працювали над новим індексом забудови (NBI), який посилював забудовані та незабудовані землі порівняно з NDBI. NBI дає повністю додатний індекс міст, але не в нормалізованій формі. У NBI порядок значень такий: незабудовані землі > забудовані > інші класи земель від високого до низького. Точність виділення забудованої території становила порядку 90%.

У пошуках подальшого розвитку NDBI, у роботі [31] запропонували два нових міських індекси. Це нормалізований індекс забудованої території (NBAI) та співвідношення смуг для забудованої території (BRBA). Тут NBAI використовує обидва діапазони SWIR, тоді як BRBA використовує лише один діапазон SWIR. У дослідженні стверджувалося, що він підвищує точність виділення забудованої території на 10-13% порівняно з NDBI та NBI.

У роботі [32] запропонували новий індекс виділення забудованих територій на основі Landsat 8 і додали арифметичну константу $L = 0,3$. З метою подальшого підвищення точності класифікації міського землекористування запропонували новий індекс забудови (BUI) [33]. Незважаючи на свою інноваційність, BUI страждав від помилки пропуску. При оцінці точності BUI класифікував забудовані та незабудовані території як один клас.

Таблиця 2 – Спектральні індекси з видимим, ближнім інфрачервоним та короткохвильовим інфрачервоним діапазонами

№ п/п	Формула	Джерело
1	$UI = ((SWIR2 - NIR) / (SWIR2 + NIR) + 1) \times 100$	[28]
2	$NDBI = (SWIR1 - NIR) / (SWIR1 + NIR)$	[29]
3	$NBI = (Red \times SWIR1) / NIR$	[30]
4	$NBAI = (SWIR2 - SWIR1 / Green) / (SWIR2 + SWIR1 / Green)$	[31]
5	$BRBA = Red / SWIR1$	
6	$BAEI = (Red + L) / (Green + SWIR1)$	[32]
7	$BUI = 2 \times \frac{(Red \times SWIR2) - (SWIR1 \times SWIR2)}{(Red + SWIR1) \times (SWIR1 + SWIR2)}$	[33]
8	$SwiRed = (SWIR1 - Red) / (SWIR1 + Red)$	[22]

А. Каполупо та ін. [22] використовували SWIR1 та червоні смуги для введення індексу SwiRed. Тут для класифікації забудованих територій використовується поріг $0 < \text{значення} < 0,22$. SwiRed застосовується для тимчасового застосування з усіма місіями Landsat з діапазонами SWIR.

Спектральні індекси з термальними діапазонами

Міський штучний ландшафт часто зберігає і випромінює більше тепла, ніж навколишні території, що називається феноменом теплових островів (УHI). Таким чином, існує просторова різниця в температурі між міськими та позаміськими територіями. Тому теплові дані ДЗЗ були використані для розробки нових спектральних індексів та підвищення точності класифікації. Нормалізована різниця індексу непроникної поверхні (NDISI) [34] був першим автоматизованим індексом для роботи з ISA, який не вимагав видалення водних об'єктів і ділянок ґрунту в якості попередньої обробки. Він також може бути застосований до ДЗЗ середньої роздільної здатності. Однак цей індекс має певні проблеми з водним шумом і часто змішується з непроникними ділянками (ISA). Щоб вирішити цю проблему, автори запропонували використовувати водний індекс замість видимих смуг.

Для цього в індексації міст використовували різні комбінації діапазонів. Наприклад, Ас-Сякур та ін. [35] включили тепловий, NIR і SWIR1 діапазони для розробки нового міського індексу. Покращений індекс забудованості та незабудованості збільшує відокремленість між забудованими та незабудованими землями і підвищує точність класифікації, заявлену в дослідженні.

Крім того, площі незабудованих земель також змінюються, і не всі з них можна виявити за допомогою індексу, індукованого тепловим діапазоном, оскільки в міських районах невеликі за розміром незабудовані землі не демонструють значних теплових змін (Табл. 3).

Ч. Сун та ін. [36] запропонували модифікований NDISI ($MNDISI_{Sun}$), який відрізняється від інших. Замість теплового інфрачервоного (TIR) діапазону автори використовували значення температури поверхні землі (LST). $MNDISI_{Sun}$ може використовуватися для місії Landsat TM, ETM+ і теплових інфрачервоних датчиків OLI (TIRS), але зображення, отримані влітку, дають кращі результати. Завдяки загальній точності 87% і загальному коефіцієнту $\kappa = 74\%$, $MNDISI_{Sun}$ придатний для аналізу часових рядів з декількох місій Landsat.

Інший індекс міст на основі теплових даних NDBI [37], розроблений на основі набору даних OLI Landsat і тому перейменований на $NDBI_{OLI}$, використовує PCA для формулювання. У цьому дослідженні порогове значення було обрано за допомогою пошуку у двох вікнах з гнучким темпом, що підвищило точність порівняно з традиційним NDBI. Пізніше $NDBI_{OLI}$ допоміг розробити ще один міський індекс, названий методом вилучення забудованої площі (BAEM), намагаючись підвищити точність картографування міст. Важливо зазначити, що $NDBI_{OLI}$ модифікований і

розраховується інакше, ніж запропонований [29]. ВАЕМ значно покращує точність класифікації за рахунок зменшення пропусків та помилок.

Таблиця 3 – Спектральні індекси із термальними діапазонами

№ п/п	Формула	Джерело
1	$NDISI = \frac{TIR - (VIS_1 + NIR + SWIR1) / 3}{TIR + (VIS_1 + NIR + SWIR1) / 3}$	[34]
2	$NDISI = \frac{TIR - (WI + NIR + SWIR1) / 3}{TIR + (WI + NIR + SWIR1) / 3}$	
3	$EBBI = \frac{SWIR1 + NIR}{10\sqrt{SWIR1 + TIR}}$	[35]
4	$MNDISI_{sum} = \frac{T_s - (MNDWI + NIR + SWIR1) / 3}{T_s + (MNDWI + NIR + SWIR1) / 3},$ <p>де $T_s = \frac{TIR}{1 + \left(\frac{\lambda \times TIR}{\rho}\right) \ln \varepsilon}$, $\rho = 1.438 \times 10^{-2}$</p> $\varepsilon = \begin{cases} 0.979 - 0.035Red & NDVI < NDVI_{min} \\ 0.986 + 0.004P_v & NDVI_{min} < NDVI < NDVI_{max} \\ 0.99 & NDVI > NDVI_{max} \end{cases}$ $P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2$	[36]
5	$NDBI_{OLI} = \frac{(PCA \text{ із } SWIR1, SWIR2 + PCA \text{ із } TIR1, TIR2) - NIR}{(PCA \text{ із } SWIR1, SWIR2 + PCA \text{ із } TIR1, TIR2) + NIR}$	[37]
6	$BAEM = NDBI_{OLI} - NDVI - MNDWI$	
7	$NDII = (Vis - TIR) / (Vis + TIR)$	[38]
8	$DBI = \frac{Blue - TIR1}{Blue + TIR1} - NDVI$	[39]

Першим NDBI-подібним індексом визначення непроникної поверхні був нормалізований різницевий індекс непроникності (NDII), розроблений з використанням візуального і теплового діапазонів супутника Landsat TM [38]. У NDII Vis означає видимий діапазон, а TIR - тепловий діапазон. Поєднання червоного та інфрачервоного діапазонів показало вищу точність при тестуванні на зображеннях з високою роздільною здатністю. NDII є простим індексом і може бути використаний для швидкого визначення непроникної поверхні в містах з використанням будь-яких мультиспектральних наборів даних з тепловим і видимим діапазонами.

Особливості міських непроникних поверхонь мають високу кореляцію з тепловими даними і, навпаки, рослинність має зворотну кореляцію.

Для підвищення точності класифікації можна використовувати набір теплових даних. Наприклад, Б. Адаму та А. Расул [39] запропонували індекс сухої забудови (DBI), використовуючи синій та тепловий діапазони з Landsat OLI. DBI припускає, що забудовані території мають менше рослинності і, відповідно, низькі значення NDVI. Таким чином, віднімання NDVI може ще більше покращити характеристики забудови. У дослідженні пропонується використовувати порогове значення 0,72. Застосований у сухому кліматі, DBI має загальну точність класифікації 93%. Міська територія з високою рослинністю не підходить для використання DBI. Теплові дані мають деякі обмеження, які слід враховувати перед використанням. Спектральна відмінність теплових діапазонів є незначною і часто демонструє фенологічні та денні відмінності між міськими та позаміськими територіями.

Спектральні індекси з нічним освітленням

NTL (Nighttime Lights) - це датчик нічного освітлення, що відображає діяльність людини вночі з космосу. Міський ландшафт відрізняється використанням світла на відміну від неміських територій. Таким чином, використовуючи спектральні дані NTL з денним часом, мультиспектральні датчики мають нове розуміння міських досліджень (Табл. 4).

У 2008 році багатоджерельний індекс населених пунктів (HIS) об'єднав Terra MODIS NDVI з набором даних NTL, операційною системою лінійного сканування (DMPS-OLS) [3]. Обидва джерела даних мають грубу просторову роздільну здатність, але вона добре служить для великомасштабного картографування поселень. $NDVI_m$ — це максимальний NDVI, отриманий від Terra MODIS, а NTLN має стандартизовані дані DMSP-OLS, встановлені від 0 до 1. Завдяки більшому розміру пікселя індекс населених пунктів (HSI) є швидким і економічно ефективним методом індексування, але він має проблему насиченості.

У роботі [40] запропонували урбаністичний індекс NTL (VANUI) з поправкою на рослинність для вирішення проблеми насичення. VANUI збільшує контрастність сигналу NTL і краще представляє міські характеристики, ніж попередні міські індекси, отримані від NTL. Це корисно для розширених міських досліджень, таких як споживання енергії, викиди вуглекислого газу, міські структури тощо.

LISI має загальну точність 0,13 і підходить для картографування великої території за міських і сільських районах. У той же час, аналогічно був запропонований [42] нормалізований індекс різниці в містах (NDUI). NDUI використовувала оперативну систему лінійного сканування оборонної метеорологічної програми (DMSP-OLS) і Landsat RSI. У цьому рівнянні NTL є нормалізованим зображенням DMSP-OLS. Тут передбачається, що вода має значення NDVI менше 0, а мета частини $NDVI \geq 0$ спрямована на

видалення пікселів води. З вихідним значенням від 0 до 1 NDUI може відокремити змішані міські райони від відкритих ґрунтів і сільськогосподарських угідь.

Таблиця 4 – Спектральні індекси з нічним освітленням

№ п/п	Формула	Джерело
1	$HSI = \frac{(1 - NDVI_m) - NTL_N}{(1 - NTL_N) + NDVI_m + (NDVI_m \times NTL_N)}$	[3]
2	$VANUI = (1 - NDVI_{nor}) \times NTL_{nor}$	[40]
3	$LISI = (1 - NDVI_{max}) \times \sqrt{NTL_{nor}}$	[41]
4	$NDUI = \frac{NTL - NDVI}{NTL + NDVI}, (NDVI \geq 0)$	[42]
5	$NUACI = \begin{cases} 0, d > r, d = \sqrt{(NDWI - \alpha)^2 + (EVI_{max} - b)^2} \\ \left(1 - \frac{d}{r}\right) \times NTL_{Norm}, d \leq r \end{cases}$	[43]
6	$NAISI = \left(\frac{NTL - PC1_{nor} + TC3_{nor}}{2}\right) - SAVI_{nor}$	[44]

LISI має загальну точність 0,13 і підходить для картографування великої території змішаних і сільських районів. У той же час, аналогічно був запропонований [42] нормалізований індекс різниці в містах (NDUI). NDUI використовувала оперативну систему лінійного сканування оборонної метеорологічної програми (DMSP-OLS) і Landsat RSІ. У цьому рівнянні NTL є нормалізованим зображенням DMSP-OLS. Тут передбачається, що вода має значення NDVI менше 0, а мета частини $NDVI \geq 0$ спрямована на видалення пікселів води. З вихідним значенням від 0 до 1 NDUI може відокремити змішані міські райони від відкритих ґрунтів і сільськогосподарських угідь.

Інший мультисенсорний міський індекс використовував розширений індекс рослинності MODIS (EVI), Landsat ETM+ і дані DMSP-OLS NTL, названі нормалізованим зведеним індексом міських територій (NUACI), завдяки підвищенню точності класифікації [20].

Він розраховується з використанням трьох незалежних наборів даних: EVI, отриманого від MODIS, NDWI, отриманого від Landsat, і нормалізованого зображення DMSP-OLS. Цей індекс також має позитивне вихідне значення від 0 до 1. Він усуває ефект розквіту та зменшує проблеми

насичення грубих наборів даних NTL. Замість грубого EVI на основі MODIS [43] для формування індексу непроникної поверхні (NAISI) з поправкою на нічне світло використовувався SAVI Landsat із середньою роздільною здатністю.

Розроблений у роботі [44] і супроводжуваний підходом базового віднімання, NAISI використовував NTL, перший компонент аналізу головних компонентів (PC1), третій компонент перетворення китиці (TC3), і SAVI. Тут уся первинна інформація RS нормалізується перед використанням. Завдяки вищій просторовій роздільній здатності NTL цей індекс може значно підвищити точність вилучення ISA.

Комплексні спектральні індекси з оптичними, NTL і тепловими діапазонами

Останнім часом кілька комплексних індексів поєднували денні та нічні дані ДЗЗ за допомогою оптичних, теплових і NTL наборів даних (Табл. 5).

Таблиця 5 – Комплексні спектральні індекси

№ п/п	Формула	Джерело
1	$MNDISI_{Liu} = \frac{T_{LST} + L_{LIT} - (SAVI + SWIR1)}{T_{LST} + L_{LIT} + (SAVI + SWIR1)}$	[21]
2	$VTLI = (1 - NDVI_{max}) \times Tem_{max} \times NTL_{nor}$	[45]
3	$TVANUI = \frac{\arctan(LST / NDVI)}{\pi / 2} \times NTL$	[40]

Термічні дані ДЗЗ широко використовувалися у дослідженні теплових островів міст (UHI). Автори роботи [21] модифікували алгоритм NDISI [34] і розробили MNDISI, який розглядає питання спектральної різниці в межах даних ДЗЗ і спектральної подібності з іншими класами земного покриття, особливо з відкритим ґрунтом. Тут T_{LST} – денна температура земної поверхні, L_{LIT} – яскравість, отримана із зображень нічного світла, SAVI – індекс рослинності, а SWIR1 – смуга 5 у Landsat TM/ETM+.

Подібним чином [45] також розробили індекс шляхом об'єднання оптичних, NTL та теплових даних. Вони використовували набір даних NTL з DMSP-OLS, даних NDVI на основі MODIS і даних LST на основі MODIS, пропонуючи VTLI. Тут $NDVI_{max}$ представляє максимальний річний NDVI, Tem_{max} представляє максимальну річну нічну температуру, а NTL_{nor} представляє нормалізовані дані DMSP-OLS про світло. Усі набори даних нормалізуються в межах від 0 до 1.

У 2018 році було запропоновано урбаністичний індекс NTL (TVANUI), скоригований температурою рослинності, використовуючи вегетативний індекс [40], NTL і даних температури земної поверхні. Він застосовувався як у Китаї, так і в США і показав кращі показники, ніж усі попередні міські

спектральні індекси.

Висновки

В даній роботі ми намагались узагальнити найбільш широковживані спектральні міські індекси з їхніми рівняннями, перевагами та недоліками та класифікували їх на основі вимог до діапазонів даних ДЗЗ.

Ми виявили, що на перевагу точності раніше розроблені міські спектральні індекси були простими, даними ДЗЗ з одного джерела та надійними у використанні. І навпаки, останні індекси є складними, мають багато джерел, складні, використовують рідкісні спектральні смуги та є більш точними. Насправді міське індексування почалося з картографування міської території в цілому, а пізніше стало більш конкретним для картографування міських характеристик. Однак нові джерела даних ДЗЗ стають доступними щороку з покращеною інформаційною ємністю та функціями.

Попит на кращі дослідження зараз змушує дослідників ДЗЗ шукати покращені індекси. Платформи хмарних обчислень, такі як GEE, і розширена обчислювальна потужність дозволили дослідникам створювати складні індекси. Крім того, подолання просторово-часових бар'єрів вимагає більш надійних індексів. Підсумовуючи, майбутнє створення спектральних індексів даних дистанційного зондування для завдань урбаністики визначатиме, наскільки ефективно ми зможемо відповісти на ці запитання та їх реалізувати.

References

1. Netzband, M., Stefanov, W. L., Redman, C. Applied remote sensing for urban planning, governance and sustainability: Springer Berlin Heidelberg, 2007.
2. Huang, W., Zeng, Y., Li, S. An analysis of urban expansion and its associated thermal characteristics using Landsat imagery. Geocarto International. 2015. Vol. 30. C. 93–103.
3. Lu, D., Tian, H., Zhou, G., та ін. Regional mapping of human settlements in southeastern China with multisensor remotely sensed data. Remote Sensing of Environment. 2008. Vol. 112. C. 3668–3679.
4. Liu, X., Hu, G., Chen, Y., та ін. High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform. Remote Sensing of Environment. 2018. Vol. 209. C. 227–239.
5. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., та ін. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment. 2017. Vol. 202. C. 18–27.
6. Uhl, A. V., Melnyk, O. V., Melnyk, Yu. A., та ін. Dystantsiyni monitorynh urbanizovanykh terytorii. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. 2022. No. 18. C. 162–173.
7. Melnyk, O., Manko, P., Brunn, A. Remote sensing methods for estimating tree species of forests in the Volyn region, Ukraine. Frontiers in Forests and Global Change. 2023. Vol. 6.

8. Pan, X., Uchida, S., Liang, Y., та ін. Discriminating different landuse types by using multitemporal NDVI in a rice planting area. *International Journal of Remote Sensing*. 2010. Vol. 31. C. 585–596.
9. He, C., Shi, P., Xie, D., та ін. Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sensing Letters*. 2010. Vol. 1. C. 213–221.
10. Li, W. Mapping Urban Impervious Surfaces by Using Spectral Mixture Analysis and Spectral Indices. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12, No. 1. C. 94.
11. Olaode, A., Naghdy, G., Todd, C. Unsupervised Classification of Images: A Review. *International Journal of Image Processing*. 2014. Vol. 8. C. 2014–325.
12. Melnyk, A., Manko, P. Classification of volyn forests according to data of multispectral satellite images. *ScienceRise*. 2018. Vol. 9. C. 25–30.
13. Ridd, M. K. Exploring a V-I-S (vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities†. *International Journal of Remote Sensing*. 1995. Vol. 16, No. 12. C. 2165–2185.
14. Parent, J., Volin, J., Civco, D. A fully-automated approach to land cover mapping with airborne LiDAR and high resolution multispectral imagery in a forested suburban landscape. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2015. Vol. 104.
15. Miloud, chikr el-mezouar, Taleb, N., Kpalma, K., та ін. Vegetation extraction from IKONOS imagery using high spatial resolution index. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2011. Vol. 5.
16. Wang, D., Hubacek, K., Shan, Y., та ін. A Review of Water Stress and Water Footprint Accounting. *Water*. 2021. Vol. 13, No. 2. C. 201.
17. Nouri, H., Beecham, S., Anderson, S., та ін. High Spatial Resolution WorldView-2 Imagery for Mapping NDVI and Its Relationship to Temporal Urban Landscape Evapotranspiration Factors. *Remote Sensing*. 2014. Vol. 6, No. 1. C. 580–602.
18. Qin, R., Fang, W. A Hierarchical Building Detection Method for Very High Resolution Remotely Sensed Images Combined with DSM Using Graph Cut Optimization. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2014. Vol. 80. C. 37–47.
19. Wang, X., Li, P. Extraction of earthquake-induced collapsed buildings using Very High Resolution imagery and airborne Lidar data. *International Journal of Remote Sensing*. 2015. Vol. 36. C. 2163–2183.
20. Ruifang, H., Yu, D., Sun, Y., та ін. Integrating Multiple Source Data to Enhance Variation and Weaken the Blooming Effect of DMSP-OLS Light. *Remote Sensing*. 2015. Vol. 7. C. 1422–1440.
21. Liu, C., Shao, Z., Chen, M., та ін. MNDISI: A multi-source composition index for impervious surface area estimation at the individual city scale. *Remote Sensing Letters*. 2013. Vol. 4.
22. Capolupo, A., Monterisi, C., Tarantino, E. Landsat Images Classification Algorithm (LICA) to Automatically Extract Land Cover Information in Google Earth Engine Environment. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12, No. 7. C. 1201.
23. Estoque, R. C., Murayama, Y. Classification and change detection of built-up lands from Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS imageries: A comparative assessment of various spectral indices. *Ecological Indicators*. 2015. Vol. 56. C. 205–217.
24. Bai, Y., He, G., Wang guizhou, W. guizhou, та ін. WE-NDBI-A new index for mapping urban built-up areas from GF-1 WFV images. *Remote Sensing Letters*. 2020. Vol. 11. C. 407–415.
25. Chen, J., Yang, K., Chen, S., та ін. Enhanced normalized difference index for

impervious surface area estimation at the plateau basin scale. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2019. Vol. 13. C. 1.

26. Tian, Y., Chen, H., Song, Q., та ін. A Novel Index for Impervious Surface Area Mapping: Development and Validation. *Remote Sensing*. 2018. Vol. 10, No. 10. C. 1521.

27. Moosavi, V., Talebi, A., Mokhtari, M. H., та ін. Estimation of spatially enhanced soil moisture combining remote sensing and artificial intelligence approaches. *International Journal of Remote Sensing*. 2016. Vol. 37, No. 23. C. 5605–5631.

28. Kawamura, M., Jayamanna, S., Tsujiko, Y. Quantitative Evaluation Of Urbanization In Developing Countries Using Satellite Data. *Doboku Gakkai Ronbunshu*. 1997. Vol. 1997, No. 580. C. 45–54.

29. Zha, Y., Gao, J., Ni, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2003. Vol. 24, No. 3. C. 583–594.

30. Jieli, C., Manchun, L., Liu, Y., та ін. Extract residential areas automatically by New Built-up Index: 2010. 1c.

31. Waqar, M., Mirza, J. F., Mumtaz, R., та ін. Development of new indices for extraction of built-up area and bare soil from landsat. *Data*. 2012. Vol. 1.

32. Bouzekri, S., Lasbet, A. A., Lachehab, A. A New Spectral Index for Extraction of Built-Up Area Using Landsat-8 Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2015. Vol. 43, No. 4. C. 867–873.

33. Kaimaris, D., Patias, P. Identification and Area Measurement of the Built-up Area with the Built-up Index (BUI). *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*. 2016. Vol. 5. C. 1844–1858.

34. Xu, H. Analysis of Impervious Surface and its Impact on Urban Heat Environment using the Normalized Difference Impervious Surface Index (NDISI). *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2010. Vol. 76. C. 557–565.

35. As-syakur, A. R., Adnyana, I. W. S., Arthana, I. W., та ін. Enhanced Built-Up and Bareness Index (EBBI) for Mapping Built-Up and Bare Land in an Urban Area. *Remote Sensing*. 2012. Vol. 4, No. 10. C. 2957–2970.

36. Sun, Z., Wang, C., Guo, H., та ін. A Modified Normalized Difference Impervious Surface Index (MNDISI) for Automatic Urban Mapping from Landsat Imagery. *Remote Sensing*. 2017. Vol. 9, No. 9. C. 1–18.

37. Bhatti, S. S., Tripathi, N. K. Built-up area extraction using Landsat 8 OLI imagery. *GIScience & Remote Sensing*. 2014. Vol. 51, No. 4. C. 445–467.

38. Zhaoqi, W., Gang, C., Li, X., та ін. Application of a normalized difference impervious index (NDII) to extract urban impervious surface features based on Landsat TM images. *International Journal of Remote Sensing*. 2015. Vol. 36. C. 1–15.

39. Adamu, B., Rasul, A. Applying Built-Up and Bare-Soil Indices from Landsat 8 to Cities in Dry Climates. *Land*. 2018. Vol. 7.

40. Zhang, X., Li, P. A temperature and vegetation adjusted NTL urban index for urban area mapping and analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2018. Vol. 135. C. 93–111.

41. Guo, W., Lu, D., Wu, Y., та ін. Mapping impervious surface distribution with integration of SNNP VIIRS-DNB and MODIS NDVI Data. *Remote Sensing*. 2015. Vol. 7. C. 12459–12477.

42. Zhang, Q., Li, B., Thau, D., та ін. Building a Better Urban Picture: Combining Day and Night Remote Sensing Imagery. *Remote Sensing*. 2015. Vol. 7, No. 9. C. 11887–11913.

43. Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K., та ін. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 1997. Vol. 59, No. 3. С. 440–451.
44. Chen, X., Jia, X., Pickering, M. A Nighttime Lights Adjusted Impervious Surface Index (NAISI) with Integration of Landsat Imagery and Nighttime Lights Data from International Space Station. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2019. Vol. 83. С. 101889.
45. Hao, R., Yu, D., Sun, Y., та ін. Integrating Multiple Source Data to Enhance Variation and Weaken the Blooming Effect of DMSP-OLS Light. *Remote Sensing*. 2015. Vol. 7, No. 2. С. 1422–1440.

Література

1. Netzband, M., Stefanov, W. L., Redman, C. *Applied remote sensing for urban planning, governance and sustainability*: Springer Berlin Heidelberg, 2007.
2. Huang, W., Zeng, Y., Li, S. An analysis of urban expansion and its associated thermal characteristics using Landsat imagery. *Geocarto International*. 2015. Vol. 30. С. 93–103.
3. Lu, D., Tian, H., Zhou, G., та ін. Regional mapping of human settlements in southeastern China with multisensor remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*. 2008. Vol. 112. С. 3668–3679.
4. Liu, X., Hu, G., Chen, Y., та ін. High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform. *Remote Sensing of Environment*. 2018. Vol. 209. С. 227–239.
5. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., та ін. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 202. С. 18–27.
6. Уль, А. В., Мельник, О. В., Мельник, Ю. А., та ін. Дистанційний моніторинг урбанізованих територій. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2022. No. 18. С. 162–173.
7. Melnyk, O., Manko, P., Brunn, A. Remote sensing methods for estimating tree species of forests in the Volyn region, Ukraine. *Frontiers in Forests and Global Change*. 2023. Vol. 6.
8. Pan, X., Uchida, S., Liang, Y., та ін. Discriminating different landuse types by using multitemporal NDXI in a rice planting area. *International Journal of Remote Sensing*. 2010. Vol. 31. С. 585–596.
9. He, C., Shi, P., Xie, D., та ін. Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sensing Letters*. 2010. Vol. 1. С. 213–221.
10. Li, W. Mapping Urban Impervious Surfaces by Using Spectral Mixture Analysis and Spectral Indices. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12, No. 1. С. 94.
11. Olaode, A., Naghdy, G., Todd, C. Unsupervised Classification of Images: A Review. *International Journal of Image Processing*. 2014. Vol. 8. С. 2014–325.
12. Melnyk, A., Manko, P. Classification of volyn forests according to data of multispectral satellite images. *ScienceRise*. 2018. Vol. 9. С. 25–30.
13. Ridd, M. K. Exploring a V-I-S (vegetation-impervious surface-soil) model for urban ecosystem analysis through remote sensing: comparative anatomy for cities†. *International Journal of Remote Sensing*. 1995. Vol. 16, No. 12. С. 2165–2185.

14. Parent, J., Volin, J., Civco, D. A fully-automated approach to land cover mapping with airborne LiDAR and high resolution multispectral imagery in a forested suburban landscape. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2015. Vol. 104.
15. Miloud, chikr el-mezouar, Taleb, N., Kpalma, K., та ін. Vegetation extraction from IKONOS imagery using high spatial resolution index. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2011. Vol. 5.
16. Wang, D., Hubacek, K., Shan, Y., та ін. A Review of Water Stress and Water Footprint Accounting. *Water*. 2021. Vol. 13, No. 2. C. 201.
17. Nouri, H., Beecham, S., Anderson, S., та ін. High Spatial Resolution WorldView-2 Imagery for Mapping NDVI and Its Relationship to Temporal Urban Landscape Evapotranspiration Factors. *Remote Sensing*. 2014. Vol. 6, No. 1. C. 580–602.
18. Qin, R., Fang, W. A Hierarchical Building Detection Method for Very High Resolution Remotely Sensed Images Combined with DSM Using Graph Cut Optimization. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2014. Vol. 80. C. 37–47.
19. Wang, X., Li, P. Extraction of earthquake-induced collapsed buildings using Very High Resolution imagery and airborne Lidar data. *International Journal of Remote Sensing*. 2015. Vol. 36. C. 2163–2183.
20. Ruifang, H., Yu, D., Sun, Y., та ін. Integrating Multiple Source Data to Enhance Variation and Weaken the Blooming Effect of DMSP-OLS Light. *Remote Sensing*. 2015. Vol. 7. C. 1422–1440.
21. Liu, C., Shao, Z., Chen, M., та ін. MNDISI: A multi-source composition index for impervious surface area estimation at the individual city scale. *Remote Sensing Letters*. 2013. Vol. 4.
22. Capolupo, A., Monterisi, C., Tarantino, E. Landsat Images Classification Algorithm (LICA) to Automatically Extract Land Cover Information in Google Earth Engine Environment. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12, No. 7. C. 1201.
23. Estoque, R. C., Murayama, Y. Classification and change detection of built-up lands from Landsat-7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS imageries: A comparative assessment of various spectral indices. *Ecological Indicators*. 2015. Vol. 56. C. 205–217.
24. Bai, Y., He, G., Wang guizhou, W. guizhou, та ін. WE-NDBI-A new index for mapping urban built-up areas from GF-1 WFV images. *Remote Sensing Letters*. 2020. Vol. 11. C. 407–415.
25. Chen, J., Yang, K., Chen, S., та ін. Enhanced normalized difference index for impervious surface area estimation at the plateau basin scale. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2019. Vol. 13. C. 1.
26. Tian, Y., Chen, H., Song, Q., та ін. A Novel Index for Impervious Surface Area Mapping: Development and Validation. *Remote Sensing*. 2018. Vol. 10, No. 10. C. 1521.
27. Moosavi, V., Talebi, A., Mokhtari, M. H., та ін. Estimation of spatially enhanced soil moisture combining remote sensing and artificial intelligence approaches. *International Journal of Remote Sensing*. 2016. Vol. 37, No. 23. C. 5605–5631.
28. Kawamura, M., Jayamanna, S., Tsujiko, Y. Quantitative Evaluation Of Urbanization In Developing Countries Using Satellite Data. *Doboku Gakkai Ronbunshu*. 1997. Vol. 1997, No. 580. C. 45–54.
29. Zha, Y., Gao, J., Ni, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2003. Vol. 24, No. 3. C. 583–594.
30. Jieli, C., Manchun, L., Liu, Y., та ін. Extract residential areas automatically by New Built-up Index: 2010. 1c.

31. Waqar, M., Mirza, J. F., Mumtaz, R., та ін. Development of new indices for extraction of built-up area and bare soil from landsat. Data. 2012. Vol. 1.
32. Bouzekri, S., Lasbet, A. A., Lachehab, A. A New Spectral Index for Extraction of Built-Up Area Using Landsat-8 Data. Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 2015. Vol. 43, No. 4. C. 867–873.
33. Kaimaris, D., Patias, P. Identification and Area Measurement of the Built-up Area with the Built-up Index (BUI). International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS. 2016. Vol. 5. C. 1844–1858.
34. Xu, H. Analysis of Impervious Surface and its Impact on Urban Heat Environment using the Normalized Difference Impervious Surface Index (NDISI). Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 2010. Vol. 76. C. 557–565.
35. As-syakur, A. R., Adnyana, I. W. S., Arthana, I. W., та ін. Enhanced Built-Up and Bareness Index (EBBI) for Mapping Built-Up and Bare Land in an Urban Area. Remote Sensing. 2012. Vol. 4, No. 10. C. 2957–2970.
36. Sun, Z., Wang, C., Guo, H., та ін. A Modified Normalized Difference Impervious Surface Index (MNDISI) for Automatic Urban Mapping from Landsat Imagery. Remote Sensing. 2017. Vol. 9, No. 9. C. 1–18.
37. Bhatti, S. S., Tripathi, N. K. Built-up area extraction using Landsat 8 OLI imagery. GIScience & Remote Sensing. 2014. Vol. 51, No. 4. C. 445–467.
38. Zhaoqi, W., Gang, C., Li, X., та ін. Application of a normalized difference impervious index (NDII) to extract urban impervious surface features based on Landsat TM images. International Journal of Remote Sensing. 2015. Vol. 36. C. 1–15.
39. Adamu, B., Rasul, A. Applying Built-Up and Bare-Soil Indices from Landsat 8 to Cities in Dry Climates. Land. 2018. Vol. 7.
40. Zhang, X., Li, P. A temperature and vegetation adjusted NTL urban index for urban area mapping and analysis. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2018. Vol. 135. C. 93–111.
41. Guo, W., Lu, D., Wu, Y., та ін. Mapping impervious surface distribution with integration of SNNP VIIRS-DNB and MODIS NDVI Data. Remote Sensing. 2015. Vol. 7. C. 12459–12477.
42. Zhang, Q., Li, B., Thau, D., та ін. Building a Better Urban Picture: Combining Day and Night Remote Sensing Imagery. Remote Sensing. 2015. Vol. 7, No. 9. C. 11887–11913.
43. Huete, A. R., Liu, H. Q., Batchily, K., та ін. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment. 1997. Vol. 59, No. 3. C. 440–451.
44. Chen, X., Jia, X., Pickering, M. A Nighttime Lights Adjusted Impervious Surface Index (NAISI) with Integration of Landsat Imagery and Nighttime Lights Data from International Space Station. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2019. Vol. 83. C. 101889.
45. Hao, R., Yu, D., Sun, Y., та ін. Integrating Multiple Source Data to Enhance Variation and Weaken the Blooming Effect of DMSP-OLS Light. Remote Sensing. 2015. Vol. 7, No. 2. C. 1422–1440.

УДК 691

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-28](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-28)

ПОРІВНЯННЯ ГРАНИЦІ МІЦНОСТІ НА РОЗТЯГ СКЛОКОМПОЗИТНОЇ ТА МЕТАЛЕВОЇ АРМАТУР

COMPARISON OF THE LIMIT OF TENSILE STRENGTH OF COMPOSITE AND METAL REINFORCEMENT GLASS

Чапук О.С., к.т.н., доц., Кислюк Д.Я., к.т.н., доц., Гришкова А.В., асп., Задорожнікова І.В., к.т.н., доц (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк), Савенко В.І. к.т.н., професор (Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ)

Chapiuk O., Ph.D., Assoc., Kysliuk D., Ph.D., Assoc., Grishkova A., Postgraduate Student, Zadorozhnikova I., Ph.D., Assoc. (Lutsk National Technical University, Lutsk), Savenko V.I. Ph.D., professor, (Kyiv National University of Construction and Architecture)

Однією з проблем будівництва на сьогодні є вибір виду арматури, яка б задовільняла вимоги надійності й міцності конструкції в цілому, а також збільшення терміну служби інфраструктурних об'єктів. Останнім часом почали широко використовувати композитну арматуру, тож ми провели дослідження та порівняли міцність склопластикових стержнів на розтяг з металевими. У роботі також наведено рекомендації щодо умовної заміни металевої арматури на склокомполитну для подальшого збільшення застосування композитної арматури в дорожньому, інфраструктурному й житловому будівництві.

The building materials market is currently saturated with products of various types and purposes. A non-standard approach to solving tasks together with the use of innovative products and technologies in the manufacture of building structures allow us to avoid the often ineffective conservatism in the construction industry. The result of technological progress with the cooperation of the industrial and scientific community is composite reinforcement. Although the creation and beginning of research into this kind of non-metallic reinforcement dates back to the 60s of the last century, composite reinforcement is a new material, the large-scale production and implementation of which is only now beginning.

Composite reinforcement is a building material consisting of fibrous threads connected in bundles with polymer glue. Thermosetting synthetic resins act as glue, the choice of which depends on the requirements for the fittings. Thus, the use of polyester resins allows to reduce electrical conductivity to a minimum, and the use of epoxyphenolic resins to increase the level of resistance to the influence of aggressive environments.

Composite reinforcement is an analogue of metal, which allows to expand the scope of application of concrete structures. Therefore, a qualitative analysis of its properties, depending on the type of fiber used during production, will be relevant.

One of the most promising building materials is the use of glass and basalt reinforcement in construction, which is gaining momentum due to its high strength, economy, corrosion resistance, dielectric properties, lack of interference with the operation of radio devices, and flexibility compared to steel reinforcement. Other advantages include: storage in wet places without loss of quality, the expansion coefficient is the same as in concrete, low thermal conductivity, there is no effect of "cold bridges", the use of steel reinforcement with a smaller diameter without loss of strength, any construction length.

Ключові слова: композитна, склокомпозитна, базальтопластиковая арматура

Keywords: FRP rebar, composite, glass-composite, basalt-plastic armature

Вступ. Ринок будматеріалів сьогодні насичений продукцією різного виду і призначення. Нестандартний підхід до вирішення наявних завдань спільно з використанням інноваційних продуктів і технологій у виготовленні будівельних конструкцій дозволяють нам уникнути часто неефективного консерватизму в будівельній галузі. Прикладом технологічного прогресу за співпраці промислового і наукового співтовариства є композитна арматура. Незважаючи на те, що створення та початок досліджень неметалевої арматури почався ще в 50-х роках минулого століття, композитна арматура - це досить новий матеріал, масштабне виробництво й впровадження якого починається тільки зараз.

Композитна арматура є будматеріалом, що складається із волокнистих ниток, що з'єднані в пучок полімерним клеєм (Рис. 1). У ролі клею виступають спеціальні термореактивні синтетичні смоли, залежно від вимог до арматури. Використання поліефірних смол зводить до мінімуму електропровідність, а епоксифенольних смол – до підвищення рівня стійкості до впливу різних агресивних середовищ.



Рисунок 1 – Композитна склопластиковая арматура

Композитна арматура є аналогом металевої і це дозволяє розширити сферу застосування бетонних конструкцій. Отже, якісний аналіз її властивостей залежно від виду волокна, що прийняте під час виготовлення, буде мати актуальний характер.

Дуже перспективними будівельними матеріалами є скло- та базальтова арматура. Їх використання набирає обертів через високу міцність, економічність, стійкість до корозії, діелектричні властивості та відсутність перешкод для роботи різних радіопристроїв, кращу гнучкість порівняно зі сталевую арматурою. Інші переваги: зберігання у сирих місцях без втрати своїх властивостей, коефіцієнт розширення близький до бетону, має низьку теплопровідність, відсутність ефекту «містків холоду».

Характеристики композитних стержнів та порівняння з металевими аналогами. Композитною арматурою є матеріал, який складається із основи у вигляді скляного чи базальтового ровінга, який являє собою з'єднані у пучок тонкі волокна (Рис.2) діаметром 13...15 мк та в'язучої термоактивної синтетичної смоли (пластик). Композитна арматура виготовляється спеціальним методом пультрузії, тобто протягуванням просочених в'язучим армуючих волокон крізь нагріту формуютьуючу фільтру або ж методом нідлтрузії, тобто без застосування фільтери. А безпосередньо періодичний профіль поперечного перерізу створюється шляхом вдавлювання джгута, яким обмотується сам стержень [1].



а) скловолокно б) базальтоволокно в) вуглеволокно

Рисунок 2 – Види волокон для виготовлення композитної арматури

Види композитної неметалевої арматури можна класифікувати так:

- арматура склопластикова (АСП);
- арматура базальтопластикова (АБП);
- арматура вуглепластикова (АВП).

Із цих трьох видів арматури найбільше використовується склопластикова арматура, оскільки вона є найдешевшою, адже виготовляється зі звичайного піску кварцового. Є чимало досліджень з визначення її міцнісних характеристик і зчеплення з бетоном [1-5]. Основними перевагами склопластикової арматури є:

- мала вага (у 4 рази легша металу), а це спрощує транспортування цього будівельного матеріалу;
- висока хімічна і корозійна стійкість, що дозволяє застосовувати цей вид арматури в різних агресивних середовищах;

- низька тепло- та електропровідність, що запобігає утворенню магнітного електричного поля;

- можливість випуску будь-якої будівельної довжини, а до діаметру 10 мм, як правило, вона скручується у бухти по 100 м, тобто, можна замовити довжину бухт під фактичні розміри об'єкта, а це дозволяє повністю уникнути напусків при вкладанні арматурних каркасів на об'єкті й заощадити до 4% арматури.

Основними недоліками АСП є:

- дуже низький модуль пружності, а це ускладнює застосування її для армування перекриттів, тож необхідні додаткові розрахунки;

- АСП не витримує значних температурних перепадів, а тому її використання обмежується лише тими районами, де температура навколишнього середовища є відносно стабільною;

- дуже низька теплостійкість, адже арматура втрачає свої несучі властивості вже при досягненні температури біля 110°C. А при перевищенні цієї температури полімерна матриця починає руйнуватися.

Визначення фізико-механічних властивостей склокомпозитної арматури та порівняння з металевою

В лабораторії ЛНТУ було виконано дослідження фізико-механічних властивостей склопластикової композитної арматури, а саме межі міцності при розтягу, і порівняння її з металевою класу А400С.

Для визначення фізико-механічних властивостей склопластикової арматури було відібрано стержні вітчизняного виробництва. Для дослідження було використано по три стержні діаметром 8мм та 10мм класу АКС довжиною 1000мм.

Аби уникнути прослизання і зминання арматури у захваті розривної машини було влаштовано анкерні муфти зі сталевий труби діаметром 28мм. Для анкерівки стержнів у муфті була використана епоксидна смола із додаванням піску (Рис 3).

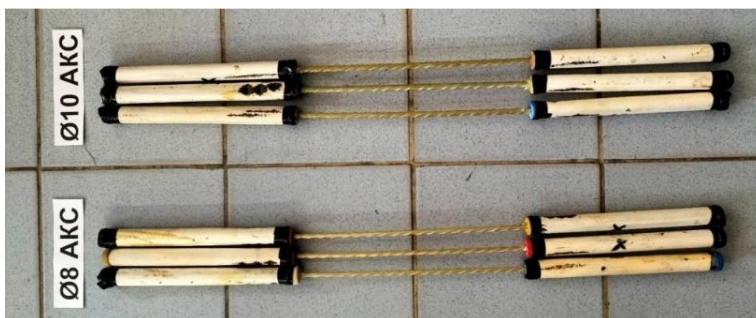


Рисунок 3 – Дослідні зразки АКС

Визначення максимальних розтягувальних навантажень проводилось з допомогою розривної машини УММ-50, а результати подано в таблиці 1.

Середнє граничне значення міцності на розтяг для стержнів Ø8АКС800 становить $\sigma_{\text{серед}} = 104,16 \text{ кгс/мм}^2$ (1020,83 МПа), Ø10АКС800 - $\sigma_{\text{серед}} = 101,1 \text{ кгс/мм}^2$ (990,5) МПа.

Таблиця 1 – Результати досліджень склопластикової арматури

№ з / п	Найменування матеріала	Номери зразків	Діаметр зразка, мм	Площа поперечного перерізу А, мм ²	Руйнівне розтягувальне навантаження, Р, кгс (кН)	Границя міцності на розтяг σ_p кгс/мм ² (МПа)
1	Ø8АКС	1	8	50,25	5000 (49,2)	99,51 (975,2)
		2			5200 (50,95)	103,50 (1014,2)
		3			5500 (53,8)	109,47 (1072,84)
		$\sigma_{\text{серед}}$				
2	Ø10АКС	1	10	78,50	8200 (80,35)	104,46 (1023,6)
		2			7900 (77,42)	100,64 (986,23)
		3			7700 (75,46)	98,1 (961,26)
		$\sigma_{\text{серед}}$				
3	Ø12А400С	1	12	113,04	7900 (77,42)	69,9 (684,8)
4	Ø14А400С	1	14	153,86	10260 (100,55)	66,7 (653,4)

Руйнування всіх арматурних стержнів було крихке з розривом упоперек волокон та поздовжнім розшаруванням в робочій зоні (рис. 4), що взагалі не властиво характеру руйнування металевої арматури.



Рисунок 4 – Зруйновані АСП

Залежність напруження-деформації має явно пропорційний (лінійний) вигляд. Отже, за результатами досліджень даній склопластиковій арматурі можемо попередньо присвоїти клас АКС1000 згідно з ДСТУ 9065:2021.

Згідно порівняльних таблиць по рівнозначній заміні (Рис. 5) відповідності діаметрів композитної та металевої арматури, наданих виробниками, ми прийняли відповідну металеву арматуру Ø8АКС1000 - Ø12А400С; Ø10АКС1000 - Ø14А400С.



Рисунок 5 – Умовна заміна металевої арматури на склокомпозитну по фізико-механічних властивостях виробників

Для випробування металевої арматури класу А400С було відібрано по одному зразку діаметром 12мм та 14мм довжиною 500мм. Визначення міцності на розтяг проводилось згідно з ГОСТ 12004. Границя міцності на розтяг для стержнів Ø12А400С становить $\sigma_{роз} = 69,8 \text{ кгс/мм}^2$ (684,7 МПа), а для Ø14А400С $\sigma_{роз} = 66,6 \text{ кгс/мм}^2$ (653,3 МПа).



Рисунок 6 – Зруйновані стержні металевої арматури

Отже, межа міцності при розтягуванні склопластикової композитної арматури, приблизно, в 1,5 рази переважає максимальні напруження в металевій арматурі. Руйнівні навантаження, які сприймає склопластиковою арматура не відповідають значенням в порівняльних таблицях, які надають виробники арматури. Згідно дослідження, відповідна металева арматура витримує на 50% більше навантаження відносно арматури Ø8АКС1000 і на 30% відносно Ø10АКС1000, що не відповідає таблицям виробників.

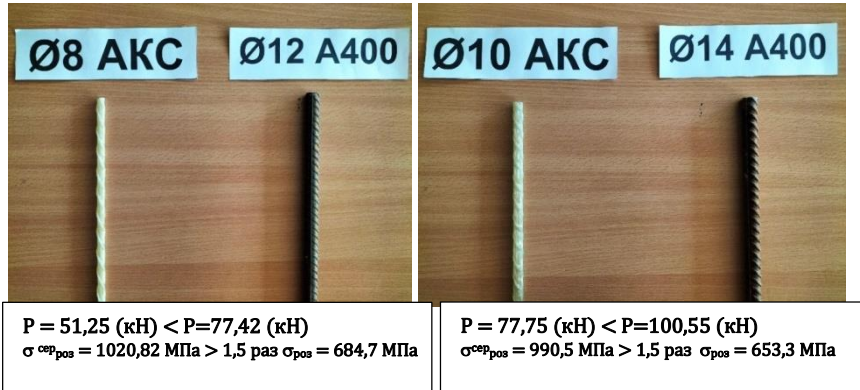


Рисунок 7 – Порівняння стержнів

Розрахункові значення опору неметалевої композитної арматури на розтяг за ДСТУ-Н Б В.2.6-185:2012 визначається з врахуванням коефіцієнта надійності для композитної арматури γ_{sf} , який дорівнює 1,5. Тоді для арматури АКС1000 розрахункове значення опору неметалевої композитної арматури становить $f_{f,d} = 666,67 \text{ МПа}$.

$$f_{f,d} = \frac{f_{f,k}}{\gamma_{sf}}$$

де $f_{f,k}$ – характеристичне значення опору на розтяг;

γ_{sf} – коефіцієнт надійності для неметалевої композитної арматури, який дорівнює 1,5.

Для сталеві арматури А400С прийнята межа текучості $f_{m,d} = 400 \text{ МПа}$. З врахуванням поперечного січення склопластикової та металеві арматури максимальна несуча здатність відповідних стержнів Ø8АКС1000 буде становити $P = 33,5 \text{ кН}$, що менше ніж арматура Ø12А400С $P = 45,2 \text{ кН}$; аналогічно для Ø10АКС1000 $P = 52,3 \text{ кН}$ – Ø14А400С $P = 61,5 \text{ кН}$. При

використанні арматури А500С різниця більш суттєвіша. Отже, таблиці умовної заміни металевої арматури на склокомпозитну по фізико-механічних властивостях виробників не відповідають дійсності.

Висновки

1. Головна перевага склопластикової композитної арматури над металевою – висока корозійна стійкість.
2. Міцність при розтягу склопластикової композитної арматури у 1,5 рази більша, ніж металевої.
3. Дані виробників щодо рівнозначної заміни сталевий арматури на композитну явно завищені. Несуча здатність відповідної металевої арматури на розтяг більша на 50% відносно арматури Ø8АКС та на 30% – відносно Ø10АКС
4. Таблиці умовної заміни діаметрів металевої арматури на склокомпозитну, які надані виробниками, не відповідають граничним та розрахунковим значенням міцності. Для орієнтовної заміни розтягнутої металевої арматури на склокомпозитну необхідно зменшити відповідність діаметрів арматури в перевірних таблицях.

References

1. Klimov Yu.A., Soldatchenko O.S., Orieshkin D.O. Eksperymentalni doslidzhennia zcheplennia kompozytnoi nemetalevoi armatury z betonom. 2010.
URL: http://www.frp-rebar.com/frp-rebar_test_adhesion_concrete.html.
2. O.S. Chapiuk, A.V. Hryshkova, O.A. Pakholiuk, D.O. Orieshkin, A.O. Solomoniuk, Vykorystannia kompozytnoi armatury v Ukraini ta sviti. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. 2021. 15. S. 100-107.
DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-5\(15\)-14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-5(15)-14)
3. Chapiuk O.S., Hryshkova A.V Kysliuk D.Ia. “Doslidzhennia dotychnykh napruzhen zcheplennia sklokompozytnykh ta metalevykh armaturnykh sterzhniv z vazhkyim betonom” // Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. Zbirnyk NUVHP. Vyp. 37. – Rivne, 2019. – S. 240-247.
http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2019_37_31
4. Chapiuk O.S., Hryshkova A.V Kysliuk D.Ia., Pakholiuk O.A., Zadorozhnikova I.V “Spilna robota kompozytnoi armatury z lehkym ta vazhkyim betonom” // Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. Zbirnyk NUVHP. Vyp. 40. – Rivne, 2021. – S. 217-223.
<https://doi.org/10.31713/budres.v0i40.25>
5. Chapiuk, O., Oreshkin, D., Hryshkova, A., Pakholiuk, O., Avramenko, Y. (2023). Adhesion of the Metal and Composite Fiberglass Rebar with the Heavyweight

Concrete. Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations. ICBI 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 299. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_5, pp 47–60

Література

1. Клімов Ю.А., Солдатченко О.С., Орешкін Д.О. Експериментальні дослідження зчеплення композитної неметалевої арматури з бетоном. 2010.
URL: http://www.frp-rebar.com/frp-rebar_test_adhesion_concrete.html.
2. О.С. Чапюк, А.В. Гришкова, О.А. Пахолук, Д.О. Орешкін, А.О. Соломонюк, Використання композитної арматури в Україні та світі. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2021. 15. С. 100-107.
DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-5\(15\)-14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-5(15)-14)
3. Чапюк О.С., Гришкова А.В Кислюк Д.Я. “Дослідження дотичних напружень зчеплення склокомпозитних та металевих арматурних стержнів з важким бетоном” // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник НУВГП. Вип. 37. – Рівне, 2019. – С. 240-247.
http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2019_37_31
4. Чапюк О.С., Гришкова А.В Кислюк Д.Я., Пахолук О.А., Задорожнікова І.В “Спільна робота композитної арматури з легким та важким бетоном” // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник НУВГП. Вип. 40. – Рівне, 2021. – С. 217-223.
<https://doi.org/10.31713/budres.v0i40.25>
5. Chapiuk, O., Oreshkin, D., Hryshkova, A., Pakholiuk, O., Avramenko, Y. (2023). Adhesion of the Metal and Composite Fiberglass Rebar with the Heavyweight Concrete. Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations. ICBI 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 299. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_5, pp 47–60

**ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ
ГІБРИДНИХ ГЕЛІОКОЛЕКТОРІВ**

**INNOVATIVE METHODS OF INCREASING THE ENERGY
EFFICIENCY OF BUILDINGS USING HYBRID SOLAR COLLECTORS**

Шаповал С.П., д.т.н., проф., Пришляк Ю.В., аспірант, Мисак С.Й., к.т.н., доцент, Касинець М.Є., к.т.н., доцент (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів), Кригуль Р.Є., к.т.н., доцент (Львівський національний університет природокористування, м. Дубляни)

Shapoval S.P., Doctor of Engineering, Professor, Pryshliak Y.V., Postgraduate, Mysak S.Y., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Kasynets M.E., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (National University "Lviv Polytechnic"), Krygul R.Y., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lviv national environmental university)

Дослідження, що представлені в цій статті, спрямовані на підвищення енергоефективності гібридних сонячних колекторів без прозорого покриття для систем теплозабезпечення будівель. Однією з найважливіших проблем у секторі сонячної енергетики є розробка нових технологій для досягнення високих показників збору сонячної енергії та їх інтеграції в традиційні системи опалення та гарячого водопостачання. Дані дослідження показують, що гібридний сонячний колектор з трубками циркуляції теплоносія, розташованими над теплопоглиначем, може досягати покращеного коефіцієнта теплової ефективності за певної зміни кута нахилу та інтенсивності сонячного випромінювання. На основі проведених досліджень та їх аналізу розроблено номограму для визначення залежності цього коефіцієнта від кута нахилу та інтенсивності сонячного випромінювання.

The use of new technologies in construction and the development of energy-saving properties of materials have prompted the development of effective methods for collecting solar energy and its further utilization in heating systems for buildings of various purposes. However, the collection and storage of obtained heat are accompanied by certain losses associated with climatic conditions, geographical location, structural features of solar system elements, and the correct choice of solar collector type. These issues are among the main challenges in solar energy.

These problems can be addressed through innovative integration methods by introducing new elements into the design of solar thermal converters. Experiments show that the use of hybrid solar thermal collectors is one way to increase the efficiency of widespread solar energy systems. This article examines the construction of a solar collector with circulation tubes placed on a heat-absorbing surface without transparent

covering. A solar system with natural circulation of the heat transfer fluid - water is analyzed.

Based on experiments, a nomogram of the dependence between the thermal efficiency coefficient K_{ef} , the inclination angles α and β of the hybrid solar collector, and the intensity of the radiant flux I_v has been developed. Using this nomogram, a functional dependence has been obtained, which allows for the precise determination of the thermal efficiency coefficient taking into account the input parameters. Calculations have shown that for a given inclination angle and corresponding solar radiation intensity, the value of K_{ef} increases and can reach 50%.

These studies indicate the necessity of using hybrid solar collectors to ensure efficient collection of solar energy in various climatic conditions and emphasize the importance of further research and improvement of the design of such systems to reduce environmental pollution and enhance the stability of heating systems.

Ключові слова: енергоефективність, сонячна енергетика, гібридний сонячний колектор, коефіцієнт теплової ефективності, інтенсивність сонячного випромінювання

Keywords: energy efficiency, solar energy, hybrid solar collector, thermal efficiency coefficient, solar radiation.

Вступ

Неконтрольовані викиди шкідливих речовин промислових підприємств, зростання кількості тваринницьких ферм, життєдіяльність людей призводить до забруднення навколишнього середовища, що вимагає інтенсифікації використання сонячної енергії, яка може ефективно та швидко трансформуватись в теплову або електричну і далі використовуватись на потреби систем опалення та гарячого водопостачання. На сьогодні важливим завданням для інженерів та дослідників є модернізувати існуючі геліоколектори та системи сонячного теплопостачання, щоб їх можна було легко інтегрувати в традиційні системи теплозабезпечення та широко використовувати на практиці. Більшість комбінованих геліоколекторів, які існують на ринку, не можуть забезпечити ефективний збір сонячної енергії протягом дня. Така особливість пояснюється відсутністю одночасно енергоефективних та недорогих конструкцій сонячних колекторів. Тому необхідний подальший аналіз останніх досліджень в сфері геліоенергетики для вдосконалення існуючих і розробки нових геліоколекторів.

Аналіз останніх досліджень

На сьогодні розвиток енергетичного обладнання потребує нових рішень [1]. Зокрема це стосується сфери альтернативних джерел енергії, де окреме місце займають системи теплозабезпечення будівель за допомогою сонячних колекторів [2], [3]. Досліджуючи такі системи, найперспективнішими являються заходи, які сприяють впровадженню сучасних енергоефективних гібридних сонячних колекторів, які можуть

одночасно виконувати роль захищення будівлі [4],[5]. Так як потенціал енергії сонця на місці встановлення геліоколекторів є різний [6], [7], потрібні подальші дослідження теплових характеристик для вдосконалення конструкції та елементів сонячних систем [8]. Для ефективної інтеграції в архітектуру будівель використовують елементи з полімерів або з металу [9], [10].

Постановка мети і задач досліджень

Головною метою даної роботи є визначення коефіцієнта теплової ефективності гібридного сонячного колектора, в якому відсутнє прозоре покриття, і в якому циркуляційні трубопроводи розміщені над теплопоглиначем у системі сонячного теплопостачання із природньою циркуляцією теплоносія залежно від кутів надходження та густини потоку випромінювання.

Методика проведення досліджень

Розглянувши та проаналізувавши конструкції існуючих гібридних та комбінованих систем сонячного теплопостачання було запропоновано нову конструкцію гібридного геліоколектора, що є частиною захищення будівлі. Тому потрібно провести наступні дослідження для встановлення його теплотехнічних характеристик.

Особливістю конструкції запропонованого гібридного сонячного колектора є відсутність прозорого покриття та розміщення циркуляційних трубопроводів над теплопоглиначем геліопокриття. Такі заходи зроблені для збільшення площі теплопоглинання сонячного випромінювання. Авторами розглянуто випадок, коли проводиться заміна елементів покрівлі або реконструюється дах будівлі.

Схема експериментальної установки для проведення досліджень теплових характеристик гібридного геліоколектора зображена на рисунку 1.

За допомогою експериментального стенда проводились вимірювання температури теплоносія – води у подавальному та зворотньому патрубках геліоколектора. Дослідження проводились для різної інтенсивності потоку випромінювання, так як вона змінюється протягом дня.

Наступним кроком було математичне планування експерименту. Як результат – складена матриця з трьома факторами впливу, де коефіцієнт теплової ефективності K_{ef} є функцією відгуку.

На основі отриманих даних досліджень побудовано графіки (рисунком 2).

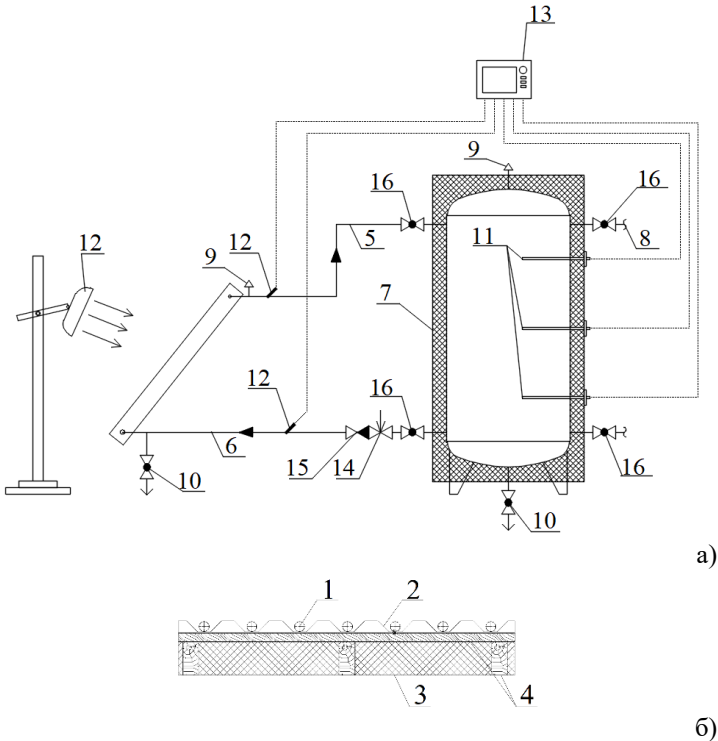


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки (а) та гібридного геліоколектора (б): 1 – трубопроводи циркуляції теплоносія; 2 – покрівля будівлі (теплопоглинач); 3 – теплоізоляція; 4 – елементи конструкції перекриття; 5 – подаючий трубопровід; 6 – зворотний трубопровід; 7 – бак-аккумулятор; 8 – патрубок подачі теплоносія споживачу; 9 – повітровипускник; 10 – кран для зливу теплоносія; 11 – датчики температури; 12 – джерело випромінювання; 13 – цифровий дисплей; 14 – балансувальний вентиль; 15 – зворотний клапан; 16 – запірні крани

З рисунка 2 видно, що температура теплоносія на виході з гібридного геліоколектора при густині інтенсивності сонячного випромінювання 300 Вт/м^2 , змінювалась від 13 до $30 \text{ }^\circ\text{C}$. При збільшенні величини до 600 Вт/м^2 , температура теплоносія зросла до $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Це вказує на те, що використання гібридних геліоколекторів, збільшує ефективність отримання теплової енергії за різних кліматичних умов і можна здійснювати теплозабезпечення в системах з високими температурами теплоносія.

Результати проведених експериментів

Дослідження показали, що коефіцієнт теплової ефективності гібридного сонячного колектора без прозорого покриття, в якому циркуляційні трубопроводи знаходяться над абсорбером при зміні кутів надходження сонячних променів α і β від 30° до 90° , збільшився на 50%.

На основі отриманих даних побудовано номограму, яка показує взаємозв'язок коефіцієнта теплової ефективності K_{ef} та кутів надходження сонячного випромінювання α і β на площину теплопоглинача геліоколектора (рисунок 3).

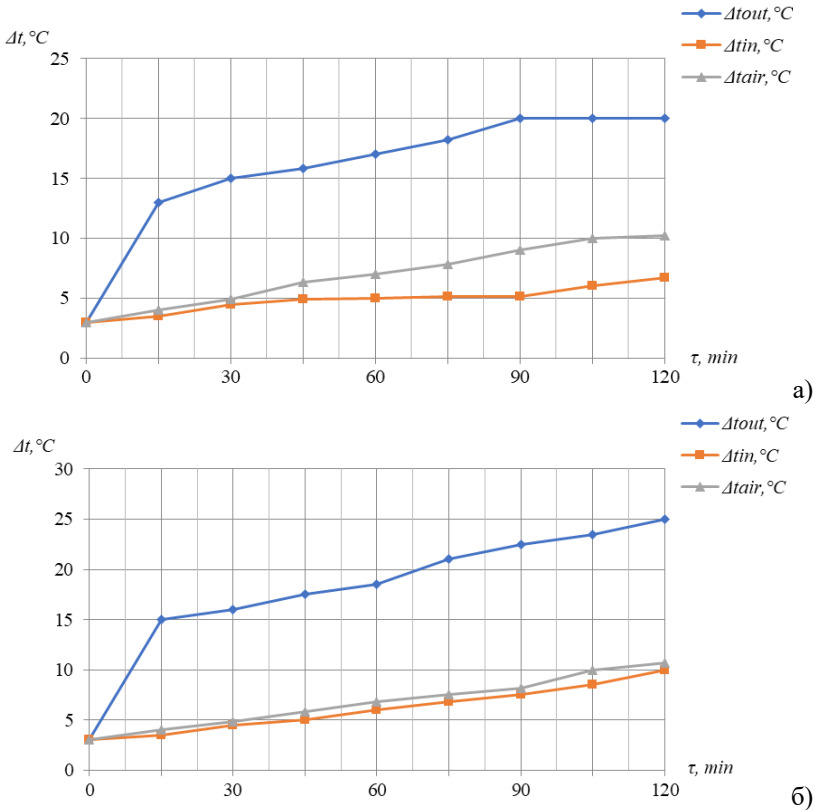


Рисунок 2 – Зміна температур теплоносія у вхідному Δt_{out} та вихідному Δt_{in} патрубках гібридного сонячного колектора без прозорого покриття з трубками контуру циркуляції теплоносія над теплопоглиначем у теплоаккумуляторі за кутів надходження потоку випромінювання $\alpha = 60^\circ$ і $\beta = 60^\circ$ та його густини $I_6 = 300 \text{ Вт/м}^2$ (а); $I_6 = 600 \text{ Вт/м}^2$ (б) при температурі зовнішнього середовища Δt_{air} .

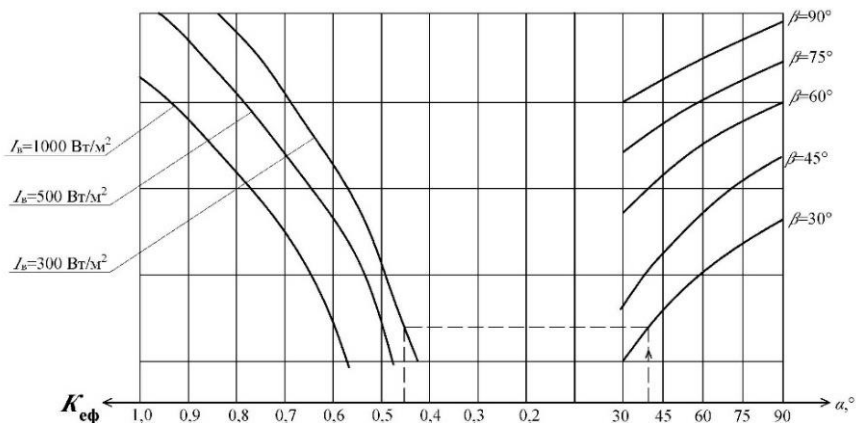


Рисунок 3 – Номограма взаємозв'язку K_{ef} геліопокриття і кутів надходження α і β та інтенсивності сонячного випромінювання I_0

За вищенаведеною номограмою взаємозв'язку коефіцієнта теплової ефективності і кутів нахилу сонячного випромінювання α і β , а також інтенсивності сонячного випромінювання I_0 , що дає можливість точно визначати коефіцієнт теплової ефективності для конкретних параметрів і вхідних даних, отримано таку функціональну залежність:

$$K_{ef} = (0,1108 + 0,0005 \cdot I_0) + (0,0003 + 3,5 \cdot 10^{-6} \cdot I_0) \cdot \alpha + (0,0082 - 1,7167 \cdot 10^{-5} \cdot I_0) \cdot \beta + (6,173 \cdot 10^{-6} - 2,778 \cdot 10^{-8} \cdot I_0) \cdot \alpha^2 + (4,1667 \cdot 10^{-5} - 4,6667 \cdot 10^{-8} \cdot I_0) \cdot \alpha \cdot \beta + (-5,679 \cdot 10^{-5} + 1,6667 \cdot 10^{-7} \cdot I_0) \cdot \beta^2$$

Користуючись вищенаведеною залежністю можна отримати значення коефіцієнта теплової ефективності гібридного сонячного колектора без прозорого покриття, в якому циркуляційні трубопроводи знаходяться над абсорбером у системі із природньою циркуляцією теплоносія – води в залежності від кутів надходження α і β та інтенсивності сонячного випромінювання I_0 .

Висновки

Згідно з результатами проведених експериментів, коефіцієнт теплової ефективності гібридних сонячних колекторів без прозорого покриття, де циркуляційні трубопроводи розміщені над теплопоглиначем збільшився на значну величину, а саме на 50%. Цей ефект був виявлений при зміні кутів нахилу α і β від 30° до 90° та інтенсивності сонячного випромінювання від 300 Вт/м² до 900 Вт/м².

References

1. О. Адамко, В. Височанський, В. Л'отко, М. Мухайлів. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії. Івано-Франківськ: Полум'я, 2000. – 208 с.
2. Belal Brahim. Sonjachni systemy teplo- i holodopostachannja : avtoref. dys. na zdobuttja nauk. stupenja kand. tehn. nauk: spec. 05.04.03. Holodylna ta kriogenna tehnik, systemy kondycijuvannja. – Odesa, 2002. – 17 s.

3. Dakovski M., S. Vjanckovski. Pro energetyku dlja spozhyvachyv ta skeptykiv. L'viv: EKOinform, 2007. – 212 s.
4. Davydenko Je. P. Pasyvne vykorystannja sonjachnoi' energii' v arhitekturnyh formah // Energoefektyvnist' v budivnytvi ta arhitekturi. – 2016. – Vyp.8. – S. 107–112.
5. Shapoval S., Kasynets M., Gulai B., Prishlyak Y. Building heat supply system based on hybrid solar collectors // Theory and Building Practice. – 2023. – Vol. 5, № 2. – P. 55–60. <https://doi.org/10.23939/jtbp2023.02.055>
6. Zhelyh V. M., Shapoval S. P., Vengryn I. I. Potencial sonjachnoi' energii' v Ukraini dlja vykorystannja nyz'kotemperaturnymy geliopaneljamy // Zahyst navkolnyshn'ogo seredovyshha. Energooshhadnist'. Zbalansovane pryrodokorystuvannja: 3-j Mizhnarodnyj kongres, L'viv, 17–19 veresnja 2014 r.: zbirnyk materialiv / L'vivs'ka obldierzhadministracija, Nacional'nyj universytet "L'vivs'ka politehnika", Zahidnyj naukovyj centr NAN Ukrainy i MON Ukrainy, Vseukrai'ns'ka ekologichna liga. – L'viv : Vyd–tvo L'vivs'koj politehniky, 2014. – S. 82.
7. Koronenko O. Svitovi tendencii' vykorystannja sonjachnoi' energii' // Zelena energetyka. – 2009. – №2 (34). – S. 6.
8. Zhelyh V. M., Lesyk H. R. Vyznachennja teplovyh charakterystyk termosifonного sonjachного kolektora // Visnyk Nacional'ного universytetu "L'vivs'ka politehnika". – 2012. – № 742 : Teoriya i praktyka budivnytva. – S. 75–78.
9. Kazakov G. V. Sonjachni budynky: typologichna klasyfikacija /G. V. Kazakov // Visnyk Nacional'ного universytetu "L'vivs'ka politehnika". – 2012. – № 728 : Arhitektura. – S. 235 – 240.
10. Doroshenko, A. V., & Khalak, V. F. (2018). Sonjachni polimerni ridynni kolektory. Analiz najavnyh rezul'tativ, novi rishennja. Refrigeration Engineering and Technology, 54(5), 44–52. <https://doi.org/10.15673/ret.v54i5.1250>

Література

1. О. Адаменко, В. Височанський, В. Лютко, М. Михайлів. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії. Івано-Франківськ: Полум'я, 2000. – 208 с.
2. Белал Брахим. *Сонячні системи тепло- і холодопостачання* : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.04.03. Холодильна та криогенна техніка, системи кондиціонування. – Одеса, 2002. – 17 с.
3. Даковські М., С. Вяницьковські. *Про енергетику для споживачів та скептиків*. Львів: ЕКОінформ, 2007. – 212 с.
4. Давиденко Є. П. *Пасивне використання сонячної енергії в архітектурних формах* // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – 2016. – Вип.8. – С. 107–112
5. Шаповал С., Гулай Б., Касинець М., Пришляк Ю. Система теплозабезпечення будівель на основі гібридних сонячних колекторів // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2023. – № 742 : Теорія і практика будівництва. – С. 75–78. <https://doi.org/10.23939/jtbp2023.02.055>
6. Желих В. М., Шаповал С. П., Венгрин І. І. *Потенціал сонячної енергії в Україні для використання низькотемпературними геліопанелями* // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: 3-й Міжнародний конгрес, Львів, 17–19 вересня 2014 р.: збірник матеріалів / Львівська облдержадміністрація, Національний університет "Львівська політехніка", Західний науковий центр НАН України і МОН України, Всеукраїнська екологічна ліга. – Львів : Вид–тво Львівської політехніки, 2014. – С. 82.
7. Короненко О. *Світові тенденції використання сонячної енергії* // Зелена енергетика. – 2009. – №2 (34). – С. 6.
8. Желих В. М., Лесик Х. Р. *Визначення теплових характеристик termosifонного сонячного колектора* // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2012. – 5(2) : Теорія і практика будівництва. – С. 55–60.
9. Казаков Г. В. *Сонячні будинки: типологічна класифікація* /Г. В. Казаков // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2012. – № 728 : Архітектура. – С. 235 – 240.
10. Doroshenko, A. V., & Khalak, V. F. (2018). *Сонячні полімерні рідинні колектори. Аналіз наявних результатів, нові рішення*. Refrigeration Engineering and Technology, 54(5), 44–52. <https://doi.org/10.15673/ret.v54i5.1250>

**ПРОГРАМА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ
ГРАНИЧНОГО СТАНУ ЗА НЕСУЧОЮ ЗДАТНІСТЮ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК У ПОХИЛИХ ПЕРЕРІЗАХ**

**PROGRAM OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF
LIMIT STATE FOR BEARING CAPACITY
OF REINFORCED CONCRETE BEAMS IN INCLINED SECTIONS**

**Швайковський В.Л., аспірант, Погрібний В.В., к.т.н., с.н.с.
(Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка»)**

**Shvaikovskiy v.l., Postgraduate Student, Pohribnyi V.V., Ph.D. of
Engineering, Senior Researcher (National University «Yuri Kondratyuk
Poltava Polytechnic»)**

Наведена програма експериментального дослідження несучої здатності за похилими перерізами залізобетонних балок. Передбачено встановлення впливу на несучу здатність кута нахилу небезпечної тріщини та висоти стиснутої зони бетону в місці зосередженого навантаження. Дія вказаних факторів досліджується за різної інтенсивності поперечного армування та відстані від опори до місця прикладання сили.

According to previously conducted research, the factors that affect the bearing capacity of reinforced concrete beams at inclined sections have been determined. In addition to the characteristics of the strength of concrete and reinforcement and the intensity of shear reinforcement, they include the distance from the support to the place of application of the load, the outline of a dangerous inclined crack, and the height of the compressed zone of concrete above it. The quantitative influence of the latter factors requires further research. The resistance of the wedge-shaped compressed zone depends on the inclination of the crack (angle of the wedge). To clarify the design schemes and dependencies for determining the resistance of the areas near the supports, testing of 6 reinforced concrete beams with the dimensions $b \times h(d) \times l=120 \times 190(160) \times 1500$ mm is planned. Two series of samples were made. They differ in the step of the shear reinforcement in the sections near the supports: 100 mm і 150 mm. The distance of application of the concentrated force from the support varies: $c = 225$ mm, 300 mm, 400 mm і 500 mm; its relation to the arm of the pair of internal forces z changed in the interval $c/z = 1,4 - 3,2$. Shear reinforcement of beams is a bar of 6 mm diameter, class A240C; longitudinal reinforcement 2Ø20 A400C provides reserves of bearing capacity for normal cross-sections. It is envisaged to transfer the load to the test samples by two concentrated forces (according to the scheme of pure bending) in steps of each 10% of the expected value of the ultimate load. During the first test of the sample, external clamps are installed

on the section from the support to the place of application of the load on one side of the beam. After the destruction of the unreinforced section, the clamps are transferred to it and the sample is retested. At each stage of loading, the strain value of the concrete of the compressed zone above the dangerous inclined crack and the shear reinforcement in the places where it intersects with the crack is measured by strain gauges with a base of 50 mm and 5 mm, respectively, the height of the compressed zone and the value of the angle of its wedge in the design (most dangerous) section are recorded.

*Ключові слова: зразок, опір, вплив, обрис, клин, висота, тензорезистор.
Keywords: sample, resistance, impact, outline, wedge, height, strain gauge.*

Вступ. У сучасному будівництві одне із найважливіших місць займають залізобетонні конструкції, що працюють на згин. Вони знайшли широке застосування як у збірному, так і монолітному виконанні та в значній мірі обумовлюють ресурсоефективність будівництва. Слід зазначити, що їх несуча здатність повинна бути забезпечена за нормальними та похилими перерізами. Якщо граничний стан за нормальними перерізами достатньо визначений, то розрахунок за похилими перерізами має певну неоднозначність. У чинних нормах [1] розглядаються елементи, на опір яких впливає або міцність стиснутого бетону, або інтенсивність поперечного армування. Так, для армованих хомутами конструкцій, виготовлених із бетонів низької міцності, їх несуча здатність за похилим перерізом у результаті розрахунків визначається зусиллям, що сприймає умовний стиснутий бетонний елемент, а при високоміцному бетоні – зусиллям у поперечній арматурі. Але в експериментальних дослідженнях руйнування стиснутого бетону в межах нахиленої смуги чи над похилою тріщиною відбувається при значних напруженнях у поперечній арматурі. Неврахування спільної роботи стиснутого бетону та розтягнутої арматури, а також невизначеність кута нахилу стиснутого розкошу призводить до зниження ефективності й ресурсозбереження конструктивних рішень. Вказане обумовлює необхідність удосконалення розрахунку, одним із шляхів реалізації якого є проведення додаткових експериментальних досліджень.

Аналіз останніх досліджень. Питанню визначення несучої здатності за похилими перерізами залізобетонних конструкцій, що згинаються, присвячена велика кількість експериментальних і теоретичних досліджень. На несучу здатність згідно чинних норм [1], котрі узагальнюють достовірні результати авторських досліджень та надають їх у зручній для використання формі, впливають міцність бетону й інтенсивність поперечного армування, ширина поперечного перерізу, плече внутрішньої пари сил z і кут нахилу підкошу θ . Але вказане спрощення приводить до певних неточностей оцінювання несучої здатності. Однак, аналіз сучасних розробок в області розрахунку за похилими перерізами свідчить, що вони не досягли рівня, котрий можливо запропонувати у якості пропозицій до норм. Розрахункові

моделі в більшості випадків мають емпіричний характер, зумовлений складністю напружено-деформованого стану композитного матеріалу (яким, по суті, є залізобетон) у зоні поперечного згину. Останнім часом виділено цілий ряд додаткових факторів, які впливають на несучу здатність за похилими перерізами [2 – 7]. Серед них слід відмітити: нагельний ефект у поздовжній арматурі; зачеплення у берегах похилої тріщини. У результаті теоретичних і експериментальних досліджень, проведених в НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» [8 – 10], встановлено безпосередній вплив на несучу здатність за похилими перерізами залізобетонних конструкцій, що згинаються, клиноподібності стиснутої зони над небезпечною похилою тріщиною: кута нахилу тріщини в місці прикладання зосередженого навантаження та висоти стиснутої зони бетону в кінці розрахункового перерізу, котрі залежать від величини проекції похилої тріщини c_0 на поздовжню вісь конструкції, що визначається відстанню від опори до сили.

Постановка мети та задачі дослідження: розроблення програми проведення експериментального визначення несучої здатності і характеру руйнування залізобетонних балок та уточнення й отримання нових даних щодо впливу параметрів похилого перерізу: клиноподібності стиснутої зони; її висоти; проекції небезпечної тріщини.

Етапи реалізації програми досліджень. Для отримання експериментальних даних, які дозволять перевірити достовірність теоретичних розробок [11 – 13] і підготувати пропозиції щодо змін в [1], розроблена програма досліджень з урахуванням силового обладнання та вимірювальної апаратури лабораторії кафедри будівельних конструкцій.

Програмою дослідження передбачено:

- визначення очікуваної несучої здатності дослідних зразків за похилими перерізами й уникнення руйнування у нормальному перерізі при випробуваннях за схемою «чистого згину»;

- виготовлення 6-ти дослідних зразків: залізобетонних балок прямокутного поперечного перерізу з розмірами $b \times h = 120 \times 190$ мм, довжиною 1500 мм. Зразки армовані просторовими каркасами, для яких поздовжнє армування – $2\varnothing 20 A400C$, поперечне – $2\varnothing 6 A240C$;

- дві серії дослідних зразків з різною інтенсивністю поперечного армування: з кроком 100 мм для першої серії (рис. 1, а) і 150 мм – для другої (рис. 1, б);

- визначення міцності бетону на стиск і розтяг та міцності поперечної арматури за результатами випробування стандартних зразків;

- варіювання відстані від опори до місця прикладання навантаження та розрахункових параметрів похилого перерізу: кута нахиленої грані стиснутої зони та її висоти в місці прикладання сили. У межах кожної серії значення відстані від опори до лінії прикладання навантаження складають:

$c = 225$ мм, 300 мм, 400 мм і 500 мм, при цьому відносний проліт зрізу c/z змінювався в межах 1,4 – 3,2;

- вимірювання відносної деформації стиснутого бетону над похилою тріщиною та поперечної арматури на кожній ступені навантаження.

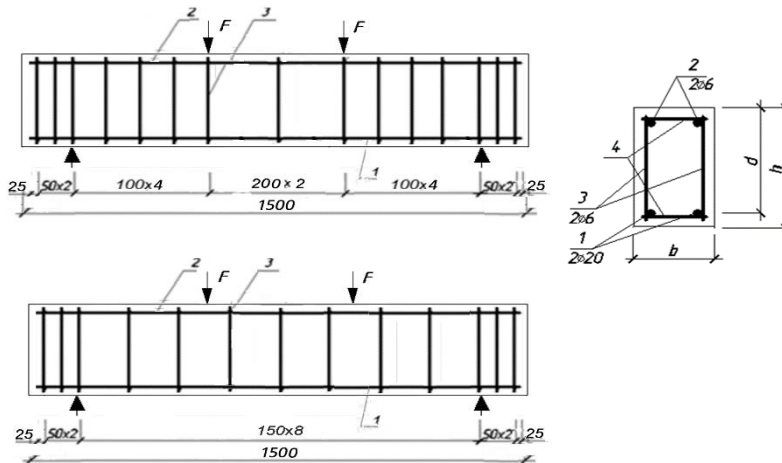


Рисунок 1 – Дослідні зразки: першої та другої серії: 1 – поздовжня робоча арматура класу А400С; 3 – поперечна робоча арматура класу А240С; 2, 4 монтажна й з'єднувальна арматура класу А240С

Фото каркасів дослідних зразків із тензорезисторами на поперечній арматурі представлені на рис. 2 і 3.

Прийняте таке маркування дослідних балок: балка – номер серії – крок поперечної арматури – відстань від опори до сили.

Розміщення датчиків опору на поперечній арматурі відповідає очікуваному обрисові тріщини. Деформації арматури вимірюються за допомогою тензорезисторів типу ПКБ базою 5 мм (датчики виготовлені із константанового дроту на паперовій основі, мають опір $R=100,0$ Ом, коефіцієнт тензочутливості $K=2,16$ і розташовані у місці можливого руйнування) й автоматичного вимірювача деформацій.



Б1-100-500



Б1-100-400



Б1-100-300 (250)

Рисунок 2 – Каркаси дослідних зразків 1-ої серії з тензорезисторами на поперечній арматурі



Б2-150-500



Б2-150-400



Б2-150-300 (250)

Рисунок 3 – Каркаси дослідних зразків 2-ої серії з тензорезисторами на поперечній арматурі

Тензорезистори наклеювалися у такій технологічній послідовності (рис. 4): поверхня гладкої арматури класу А240С зачищалася наждачним папером № 100; потім промивалася технічним ацетоном до повного очищення; шар клею БФ-2 в якості ґрунтовки наносився пензликом на підготовлену поверхню арматури; на наступному етапі тонкий шар клею наносився на арматуру й датчик, протягом 30 – 40 секунд клей підсушувався феном; тензорезистор розміщувався на арматурі поздовжньо (співвісно); потім на датчик укладалася поліетиленова плівка, котра притискалася

гумовим валиком для видалення надлишку клею; проводилося просушування клею феном протягом 10 – 15 хвилин, після чого каркаси зберігалися в лабораторії протягом 5 діб. Потім омметром із вимірювальною напругою 4 – 5 В перевірялася суцільність електричного кола та відсутність замикання тензорезисторів. Перед наклеюванням виводи датчиків були припаяні до з'єднувального дроту й ізольовані термозбіжною трубкою діаметром 2 мм, яка при нагріванні відкритим полум'ям зменшується в розмірі в кілька разів, тим самим відскаючи можливий доступ вологи до тензорезистора. Крім того, кожен тензорезистор був захищений ізоляційною стрічкою та епоксидною смолою, котра після додавання затверджувача перетворилася на міцний полімер. З'єднання тензодатчика з кабелем автоматичного вимірювача деформацій виконується за допомогою клеми у пластиковій оболонці.

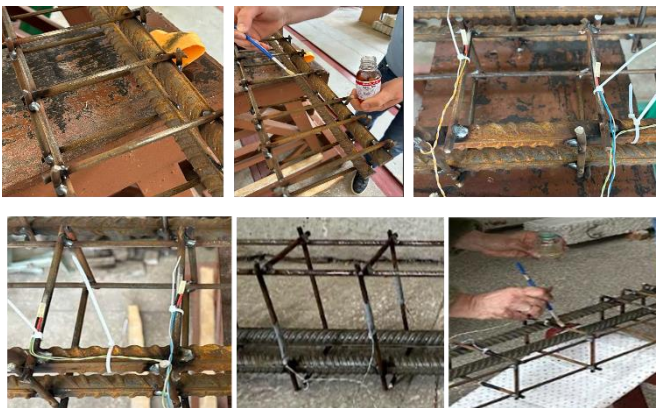


Рисунок 4 – Технологічна послідовність наклеювання тензорезисторів на поперечну арматуру

Відносні деформації бетону вимірюються тензорезисторами базою 50 мм у стиснутій зоні над небезпечною похилою тріщиною в області, наближеній до місця прикладання сили (рис. 5).

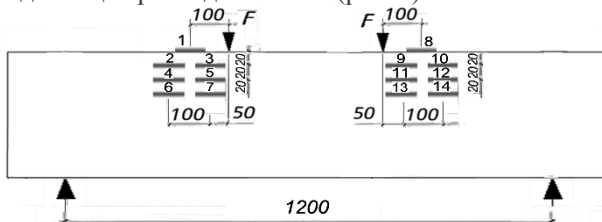


Рисунок 5 – Схема розміщення тензорезисторів на бетоні стиснутої зони

Навантаження на дослідні зразки передається ступенями, які складають 10% від очікуваної величини граничного навантаження. На кожній ступені навантаження вимірюється величина деформації стиснутого бетону та поперечної арматури, фіксується висота стиснутої зони та величина кута її клину в розрахунковому (найбільш небезпечному) перерізі, встановлюється картина втрати монолітності та руйнування.

Випробування планується здійснювати в установці лабораторії кафедри будівельних конструкцій (рис. 6).

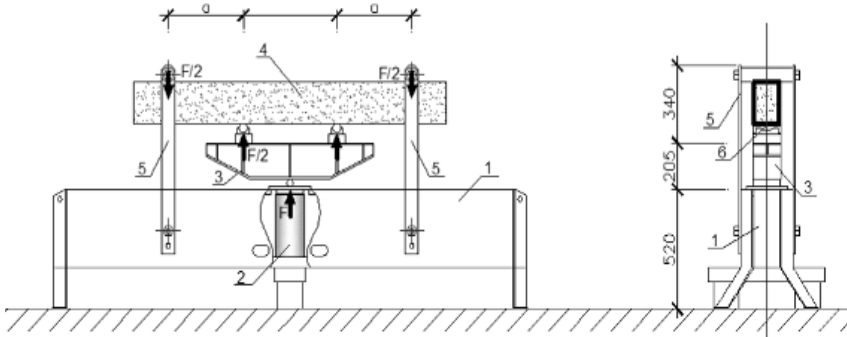


Рисунок 6 – Схема установки для випробування балок: 1 – жорстка база; 2 – гідравлічний домкрат; 3 – передавальна траверса; 4 – досліджувана балка; 5 – тяжі; 6 – циліндричні котки

Передбачалася можливість повторного випробування кожної балки. Задля збільшення кількості результатів випробування, всі балки з однієї сторони в зоні біля опори підсилюються зовнішніми хомутами (рис. 7). Після першого випробування хомути переставляються на зруйновану сторону та випробування здійснюється вдруге. Таким чином, для кожної конструкції можуть бути отримані два результати (всього 12 випробувань).



Рисунок 7 – Підсилення ділянок дослідних балок біля опор зовнішніми хомутами

Висновок. Передбачена програма експериментальних досліджень дозволить отримати нові дані для уточнення розрахунку балкових конструкцій за похилими перерізами з урахуванням впливу клиноподібності стиснутої зони та її висоти в місці прикладання зосередженого навантаження, а також обрису небезпечної тріщини.

References

1. DSTU B V.2.6-156:2010. Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Design rules. – K.: Ministry of Regional Development of Ukraine, State Enterprise "Ukrakhbudinform", 2011. – 118 p. – (National Standard of Ukraine).
2. Yang Y. Shear behavior of reinforced concrete beams without transverse reinforcement based on critical shear displacement / Y. Yang, J. Walraven, J. den Uijl // Journal of Structural Engineering. – 2016. – Vol. 143 (1), 04016146.
3. Cavagnis F. Shear failures in reinforced concrete members without transverse reinforcement: an analysis of the critical shear crack development on the basis of test results / F. Cavagnis, M. Fernández Ruiz, A. Muttoni // Engineering structures. – 2015. – Vol. 103. – Pp. 157–173.
4. Mohammed A.O.I. Experimental studies of strength inclined sections bent elements from autoclaved aerated concrete / A.O.I. Mohammed // IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1079. – Chapter 1, 022062.
5. Kuo W.W. Shear strength of reinforced concrete beams / W.W. Kuo, T.C.H. Thomas, S.J. Hwang // ACI Structural Journal. – 2014. – Vol. 111. – Pp. 809–818.
6. Dorofeev B.S. Strength, deformability and crack resistance of supporting sections of eccentrically tensiled and compressed reinforced concrete beams / V.S. Dorofeev, V.M. Karpuk, N.N. Petrov. – Odessa: Publishing House "Vneshreklamservis", 2011. – 184 p.
7. Klimov Yu.A. To calculate the strength of reinforced concrete elements in inclined sections / Yu.A. Klymov // Tavrii Scientific Bulletin: Collection of Scientific Articles. – 1999. – Iss. 11, Part 3. – Pp. 11–17.
8. Mitrofanov V.P. Optimization strength theory of reinforced concrete bar elements and structures with practical aspects of its use / V.P. Mitrofanov // Building static notice. – 2000. – Vol. 71 – № 4. – Pp. 73–125.
9. Mitrofanov V.P. Consideration of brittleness, pseudoplasticity and plasticity of concrete in strength calculations under complex non-homogeneous stress-strain states / V.P. Mitrofanov, N.M. Pinchuk // Scientific Bulletin of Construction. – 2016. – № 1. – Pp. 101–107.
10. Patent 62865/ Ukraine, (51) IPC (2011.01) G01N 3/00. A method of investigating the strength of concrete in the compressed zone above a dangerous inclined crack in flexural elements / O.O. Dovzhenko, V.V. Pogribnyi, T.Yu. Kachan; the applicant and owner of Poltava. national technical University named after Yuriy Kondratyuk. – № u201011002; statement 13.09.2010; published 26.09.11, Bul. №. 18.
11. Dovzhenko O.O. Strength calculation method in inclined sections of beam-reinforced concrete elements / O.O. Dovzhenko, V.V. Pogribnyi, O.O. Malyovana, O.M. Shitova // "Resource-economic materials, constructions, buildings and structures": Collection of scientific works. – 2021. – Iss. 40. – Pp. 129–136.

12. Pohribnyi V.V. Methodology for calculating the bearing capacity of reinforced concrete and masonry structures using extreme deformation conditions: monograph / V.V. Pohribnyi. – Poltava: PP "Astraya", 2022. – 388 p.

13. Pohribnyi V. Concrete and reinforced concrete shear: an improved strength calculation method/ V. Pohribnyi, O. Dovzhenko, Ye. Klymenko, O. Fenko // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2678 (1), 020014.

Література

1. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2011. – 118 с. – (Національний стандарт України).

2. Yang Y. Shear behavior of reinforced concrete beams without transverse reinforcement based on critical shear displacement / Y. Yang, J. Walraven, J. den Uijl // Journal of Structural Engineering. – 2016. – Vol. 143 (1), 04016146.

3. Cavagnis F. Shear failures in reinforced concrete members without transverse reinforcement: an analysis of the critical shear crack development on the basis of test results / F. Cavagnis, M. Fernández Ruiz, A. Muttoni // Engineering structures. – 2015. – Vol. 103. – Pp. 157–173.

4. Mohammed A.O.I. Experimental studies of strength inclined sections bent elements from autoclaved aerated concrete / A.O.I. Mohammed // IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1079. – Chapter 1, 022062.

5. Kuo W.W. Shear strength of reinforced concrete beams / W.W. Kuo, T.C.H. Thomas, S.J. Hwang // ACI Structural Journal. – 2014. – Vol. 111. – Pp. 809–818.

6. Дорофеев В.С. Прочность, деформативность и трещиностойкость приопорных участков внецентренно растянутых и сжатых железобетонных балок / В.С. Дорофеев, В.М. Карпюк, Н.Н. Петров. – Одесса: Издательство «Внешрекламсервис», 2011. – 184 с.

7. Климов Ю.А. До розрахунку міцності залізобетонних елементів в похилих перерізах / Ю.А. Климов // Таврійський науковий вісник: збірник наукових статей. – 1999. – Вип. 11, Ч. 3. – С. 11–17.

8. Mitrofanov V.P. Optimization strength theory of reinforced concrete bar elements and structures with practical aspects of its use / V.P. Mitrofanov // Building static notice. – 2000. – Vol. 71 – № 4. – Pp. 73–125.

9. Митрофанов В.П. Врахування крихкості, псевдопластичності та пластичності бетону в розрахунках міцності при складних неоднорідних напружено-деформованих станах / В.П. Митрофанов, Н.М. Пінчук // Науковий вісник будівництва. – 2016. – № 1. – С. 101–107.

10. Патент 62865/ Україна, (51)МПК (2011.01) G01N 3/00. Спосіб дослідження міцності бетону стиснутої зони над небезпечною похилою тріщиною в згинальних елементах / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, Т.Ю. Качан; заявник та власник Полтава. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – № u201011002 ; заявл. 13.09.2010 ; опубл. 26.09.11, Бюл. № 18.

11. Довженко О.О. Методика розрахунку міцності у похилих перерізах балкових залізобетонних елементів / О.О. Довженко, В.В. Погрібний, О.О. Мальована, О.М. Шитова // «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди»: Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 40. – С. 129–136.

12. Погрібний В.В. Методологія розрахунку несучої здатності залізобетонних і кам'яних конструкцій з використанням умов екстремуму деформування: монографія / В.В. Погрібний. – Полтава: ПП «Астрая», 2022. – 388 с.

13. Pohribnyi V. Concrete and reinforced concrete shear: an improved strength calculation method/ V. Pohribnyi, O. Dovzhenko, Ye. Klymenko and O. Fenko // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2678 (1), 020014

УДК 691.32

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-31](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-31)

ОСОБЛИВОСТІ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОДИФІКОВАНОГО БЕТОНУ НА ОСНОВІ КОМПОЗИЦІЙНОГО ЦЕМЕНТУ

FEATURES OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MODIFIED CONCRETE BASED ON PORTLAND-COMPOSITE CEMENT

Шишкіна О.О., к.т.н., доц. (Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг), Домнічев А.О., аспірант (Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг)

Shyshkina O.O., Ph.D. of Engineering, Associate Professor (Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih), Domnichev A.O., Postgraduate Student (Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih)

У статті показані особливості фізико-механічних, зокрема, водопоглинання, властивостей модифікованого бетону на основі композиційного портландцементу. Проаналізований вплив зміни структури води шляхом застосування надмалих концентрацій поверхнево-активних речовин при виготовленні дрібнозернистого бетону на його фізико-механічні властивості. Показано, що модифікація води, призначеної для виготовлення дрібнозернистого бетону на композиційному цементі, сприяє підвищенню його ранньої міцності та зниженню пористості.

Joining the European Green Deal implies a change in the course of construction to energy-efficient and resource-saving. Therefore, in the manufacture of concrete, as the most common building material, it is advisable to use such types of cement as Portland-composite cement. However, it should be borne in mind that such cements have reduced strength formation kinetics in the early stages of curing. The use of a limestone component, in particular calcium carbonate, in Portland-composite cement helps to increase their activity and improve their properties. However, this does not solve the problem in full. At the same time, it is known that the use of surfactants in ultra-low concentrations to change the structure of water for the manufacture of fine-grained concrete can significantly increase strength at an early age. However, no studies of physical properties have been presented for such nanomodified fine-grained concretes. Therefore, in this study, the physical and mechanical properties of nanomodified fine-grained concrete made on Portland-composite cement were investigated. To change the structure of water, a superplasticizer was used in ultra-low concentrations. To evaluate the porosity of concrete as an indicator that directly affects the durability of concrete, studies of the water

absorption of fine-grained concrete on Portland-composite cement were conducted. As a result, it was found that the degree of volumetric water absorption of fine-grained concrete depends on the content of calcium carbonate in the composition of Portland-composite cement. It was determined that the water absorption by volume of fine-grained concrete, which was modified by the use of ultra-low concentrations of superplasticizer to change the water structure, depends on the content of the modifier. The analysis of the relationship between the physical and mechanical properties of modified fine-grained concrete on Portland-composite cement showed that there is a certain optimal content of the water structure modifier, at which the greatest increase in early concrete strength is observed with the lowest water absorption by volume.

Ключові слова: композиційний портландцемент, дрібнозернистий бетон, модифікація води, поверхнево-активні речовини, надмалі концентрації, водопоглинання бетону, міцність бетону.

Keywords: Portland-composite cement, fine-grained concrete, water modification, surfactants, ultra-low concentrations, water absorption of concrete, concrete strength.

Вступ. Наразі в Україні значна частина територій потребує відбудови та відновлення, обсяги будівельних проєктів починають зростати. Зважаючи на те, що у 2020 році наша країна долучилася до Європейського Зеленого Курсу, процес будівництва має бути енергоефективним та екологічним [1]. До того ж, зараз тим більш гостро постає питання виваженого використання енергетичних та матеріальних ресурсів.

Тому виготовлення бетону, як найбільш поширеного будівельного матеріалу, з використанням композиційних портландцементів є одним з ефективних рішень в технології енерго- та ресурсозберігаючого будівництва [2, 3].

Однак неоліком композиційних портландцементів є знижена кінетика твердіння та набору міцності у ранні терміни.

Аналіз актуальних досліджень. До сучасних високоякісних бетонів висуваються високі вимоги їх фізико-механічних та технологічних властивостей [4]. Одна з важливих властивостей бетону, яка здійснює безпосередній вплив на його довговічність – це його пористість, яка може оцінюватися за ступенем водопоглинання.

Для забезпечення приросту міцності бетону на композиційному портландцементі пропонується використання наномодифікаторів та лужних активаторів у поєднанні з суперпластифікатором [5]. Проте в дослідженні не вказано, як впливає дана наномодифікація лужноактивованого композиційного цементу на величину пористості та водопоглинання бетону.

Відомо, що введення до складу композиційних портландцементів вапнякового компоненту сприяє збільшенню їх активності та покращенню властивостей [6].

У роботі [7] описаний вплив використання добавки високодисперсної крейди та суперплатифікатора на фізико-механічні властивості бетону. Наслідком застосування вказаних модифікаторів стало підвищення міцності бетону, в тому числі і в ранньому віці та підвищення марки за водонепроникністю. Але в дослідженнях застосовано суперпластифікатор у значній кількості, що призводить до зменшення довговічності бетону.

Значний інтерес представляють дослідження у напрямі застосування поверхнево-активних речовин (ПАР) у надмалих концентраціях для зміни структури води [8, 9]. В результаті такі модифіковані бетони володіють скороченими термінами формування структури та міцності. Але в якості в'язучої речовини для виготовлення бетону при проведенні досліджень був застосований портландцемент. А отже, визначення фізико-механічних властивостей дрібнозернистих наномодифікованих бетонів на композиційному портландцементі із застосуванням надмалих концентрацій ПАР є актуальною задачею.

Постановка мети і задач дослідження. Метою даної роботи є визначення впливу на фізико-механічні властивості дрібнозернистого бетону на композиційному портландцементі наномодифікації шляхом застосування поверхнево-активних речовин у надмалих концентраціях.

Для досягнення поставленої мети потрібне вирішення наступних задач:

- визначити вплив зміни структури води шляхом застосування надмалих концентрацій ПАР при виготовленні дрібнозернистого бетону на композиційному портландцементі на його пористість;
- встановити взаємозв'язок фізико-механічних властивостей наномодифікованого дрібнозернистого бетону, виготовленого на композиційному портландцементі.

Методика досліджень. В якості в'язучої речовини були застосовані портландцемент марки 400 та композиційний портландцемент марки 400 з різним вмістом вапнякового компонента. Як дрібний заповнювач використовувався річковий дніпровський пісок. Для модифікації структури води для виготовлення бетону був застосований гіперпластифікатор Sika Plast-520. Водоцементне відношення становило 0,5.

Пористість бетону оцінювали через визначення водопоглинання за об'ємом. Визначення об'ємного водопоглинання проводили згідно з ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Міцність дрібнозернистого бетону визначали при випробуванні зразків із розміром сторін 40×40×160 мм за стандартною методикою.

Результати досліджень. На першому етапі був визначений вплив вмісту вапнякового компонента – карбонату кальцію у складі композиційного портландцементу на об'ємне водопоглинання. Зразки бетону були виготовлені на портландцементі та композиційному портландцементі з вмістом карбонату кальцію 10%, 20% та 30%. В

результаті було виявлено, що при вмісті карбонату кальцію 10% та 20% водопоглинання за об'ємом збільшується у порівнянні із контрольним зразком. Збільшення вмісту вапнякового компонента призводить до різкого зниження водопоглинання (рис. 1).

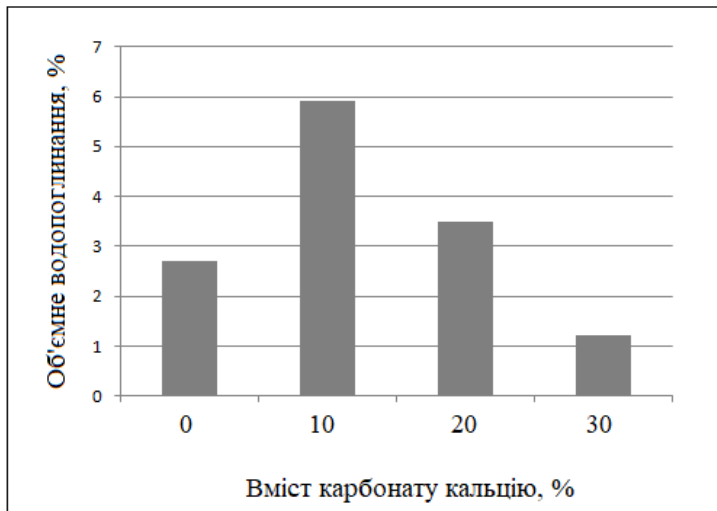


Рисунок 1 – Вплив вмісту карбонату кальцію у складі композиційного портландцементу на об'ємне водопоглинання дрібнозернистого бетону

Наступна група експериментів була виконана з метою встановлення впливу зміни структури води шляхом застосування надмалих концентрацій ПАР при виготовленні дрібнозернистого бетону на композиційному портландцементі на його об'ємне водопоглинання. Використовувався цемент із масовою часткою карбонату кальцію 20%. Аналіз результатів досліджень виявив, що об'ємне водопоглинання наномодифікованого бетону змінюється залежно від кількості використаного модифікатора води (рис. 2).

Як видно з результатів дослідів, оптимальний вміст ПАР, як модифікатора води – 0,0004%. За цієї кількості поверхнево-активної речовини в системі відбувається зниження об'ємного водопоглинання дрібнозернистого бетону на 11,4%.

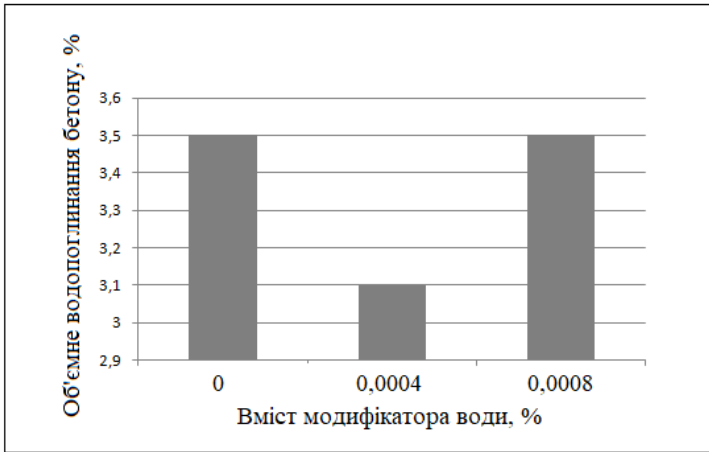


Рисунок 2 – Вплив вмісту модифікатора води (ПАР) на водопоглинання за об'ємом бетону

Зв'язок між об'ємним водопоглинанням модифікованого бетону та його міцністю в ранньому віці представлений на рисунку 3.

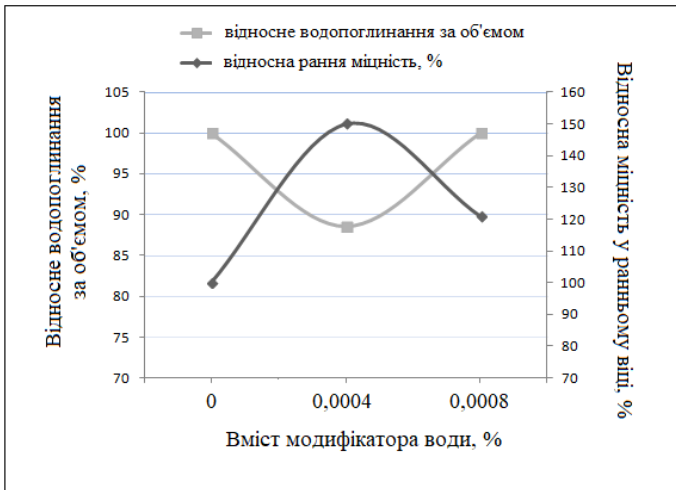


Рисунок 3 – Взаємозв'язок фізико-механічних властивостей наномодифікованого дрібнозернистого бетону

Як бачимо, за даних умов, при вмісті поверхнево-активної речовини 0,0004%, спостерігається найбільший приріст міцності у ранньому віці та одночасно – найбільше зниження об'ємного водопоглинання дрібнозернистого бетону. Тож можна зробити висновок, що за цієї оптимальної концентрації модифікатора води відбувається або зниження загальної пористості бетону, або зменшення кількості відкритих пор.

Висновки. Отримані результати проведених досліджень дають підставу зробити такі висновки:

1) зміна структури води шляхом застосування надмалих концентрацій поверхнево-активної речовини при виготовленні дрібнозернистого бетону на композиційному портландцементі здійснює вплив на його пористість, що виражається у зміні об'ємного водопоглинання;

2) при оптимальному вмісті модифікатора води – 0,0004%, при якому об'ємне водопоглинання найнижче, одночасно спостерігається найбільший приріст ранньої міцності бетону.

Зважаючи на викладене, вбачається доцільним проведення подальших досліджень в цьому напрямку.

References

1. EUROPEAN COMMISSION. The European Green Deal : Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels : European Commission, 2019. 24 p.
2. Sanytskyi M.A., Kropyvnytska T.P., Kruts T.M., Heviuk I.M. Modyfikovani shvydkotverdnuchi klinker-efektyvni betony. Budivelnii materialy ta vyroby, Kyiv : DP «Ukrainskyi naukovo-doslidnyi i proektno-konstruktorskyi instytut budivelnnykh materialiv ta vyrobiv», 2019. №1-2(101). S. 24–28.
3. Schneider M. Innovation and technical trends in cement production. 20. *Internationale Baustofftagung, Weimar*. Germany, 12–14 September, 2018. Band 1. P. 75–80.
4. Dvorkin L. Y., Zhytkovskiy V. V., Makarenko R. M.. Vysokomitsni betony : navch. posib. Rivne : NUVHP, 2022. 216 s.
5. Kropyvnytska T.P. Kontseptsiiia eko-efektyvnykh nanomodyfikovanykh luzhnoaktyvovanykh kompozytsiynykh tsementiv z vysokoiu rannoio mitsnistiu. Visnyk NU «Lvivska politehnika». Teoriia i praktyka budivnytstva. Lviv : LUNP, 2019. № 912. S. 18-23.
6. Kropyvnytska T.P., Sanytskyi M.A., Heviuk I.M. Vplyv karbonatnykh dobavok na vlastyvoli portlandtsementu kompozytsiinoho. Visnyk Natsionalnogo universytetu "Lvivska politehnika". Teoriia i praktyka budivnytstva. Lviv : LUNP, 2013. № 755. S. 214–220.
7. Cherpurna S. M. Beton pidvyshchenoi vodonepronyknosti ta koroziinoi stiikosti z dobavkoiu vysokodispersnoi kreidy : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.05. Kharkiv, 2018. 26 s.
8. Shyshkina A, Shyshkin A. Fine-Grained Concrete for Repair and Restoration of Building Structures. *Materials Science Forum Submitted*. Switzerland : Trans Tech

Publications Ltd, 2021. Vol. 1038. P. 317-322.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.317>

9. Shishkina, A. Optimization of Water Activation Technology for the Production of Fine-Grained Concrete. *Key Engineering Materials*. Switzerland : Trans Tech Publications Ltd, 2023. Vol. 953, P. 63–68. <https://doi.org/10.4028/p-6ZEB89>

Література

1. EUROPEAN COMMISSION. The European Green Deal : Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels : European Commission, 2019. 24 p.

2. Саницький М.А., Кропивницька Т.П., Круць Т.М., Гев'юк І.М. Модифіковані швидкотверднучі клінкер-ефективні бетони. *Будівельні матеріали та виробу*, Київ : ДП «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів», 2019. №1-2(101). С. 24–28. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2020-101-04>.

3. Schneider M. Innovation and technical trends in cement production. *20. Internationale Baustofftagung, Weimar*. Germany, 12–14 September, 2018. Band 1. P. 75–80.

4. Дворкін Л. Й., Житковський В. В., Макаренко Р. М.. Високоміцні бетони : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2022. 216 с.

5. Кропивницька Т.П. Концепція еко-ефективних наномодифікованих лужноактивованих композиційних цементів з високою ранньою міцністю. *Вісник НУ «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва*. Львів : ЛУНП, 2019. № 912. С. 18-23.

6. Кропивницька Т.П., Саницький М.А., Гев'юк І.М. Вплив карбонатних добавок на властивості портландцементу композиційного. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва*. Львів : ЛУНП, 2013. № 755. С. 214–220.

7. Чепурна С. М. Бетон підвищеної водонепроникності та корозійної стійкості з добавкою високодисперсної крейди : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Харків, 2018. 26 с.

8. Shyshkina A, Shyshkin A. Fine-Grained Concrete for Repair and Restoration of Building Structures. *Materials Science Forum Submitted*. Switzerland : Trans Tech Publications Ltd, 2021. Vol. 1038. P. 317-322.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.317>

9. Shishkina, A. Optimization of Water Activation Technology for the Production of Fine-Grained Concrete. *Key Engineering Materials*. Switzerland : Trans Tech Publications Ltd, 2023. Vol. 953, P. 63–68. <https://doi.org/10.4028/p-6ZEB89>

**ВПЛИВ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОМОДИФІКАТОРІВ ВОДИ
ЗАМІШУВАННЯ НА ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ДРІБНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНУ НА ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТІ**

**EFFECT OF THE USE OF NANOMODIFIERS OF MIXING WATER
ON THE QUALITY CHARACTERISTICS OF FINE-GRAINED
CONCRETE ON BLAST FURNACE CEMENT**

**Шишкіна О.О., к.т.н., доц. (Криворізький національний
університет, м. Кривий Ріг), Піскун І.О., аспірант (Криворізький
національний університет, м. Кривий Ріг)**

**Shyshkina O.O., PhD. of Engineering, Associate Professor (Kryvyi Rih
National University, Kryvyi Rih), Piskun I.O., Postgraduate Student (Kryvyi
Rih National University, Kryvyi Rih)**

Здійснено дослідження якісних характеристик дрібнозернистого бетону, який був модифікований шляхом застосування води замішування, структурованої поверхнево-активними речовинами у надмалих концентраціях. Встановлено, що використання структурованої води в складі дрібнозернистого бетону на шлакопортландцементі сприяє підвищенню міцності у ранньому віці та покращенню показників однорідності міцності.

Portland cement is a highly energy-intensive and unecological material. In contrast, blast furnace cement does not require the consumption of significant energy resources and is more environmentally friendly. Therefore, the use of blast furnace cement in fine-grained concrete seems reasonable. However, its widespread use is constrained by the fact that compared to Portland cement, it has a slower rate of structure formation and, consequently, strength gain. Of the currently known methods of accelerating the curing rate of concrete and increasing its strength, the use of structured water by applying surfactants in ultra-low concentrations is of considerable interest. However, such studies have not paid attention to the issue of concrete strength uniformity. This is an important issue, because when assessing the quality of concrete, not only its strength is important, but also the coefficient of variation, which characterizes the uniformity of the strength distribution. Therefore, the aim of this study is to determine the effect of surfactants used in ultra-low concentrations to structure the water of fine-grained concrete mixing on blast furnace cement on the stability of its quality characteristics. As a result of the studies, it was found that the use of ultra-low concentrations of surfactants to structure the water of fine-grained concrete mixing on blast furnace cement leads to a significant increase in concrete strength at an early age. It was determined that simultaneously with the increase in the strength of fine-grained concrete on blast furnace cement, there is a decrease in the coefficient of variation of strength. This indicates an increase in the homogeneity of the concrete strength distribution. Therefore, the modification of fine-grained concrete on

blast furnace cement by structuring the mixing water with ultra-low concentrations of surfactants improves the quality characteristics of such modified concrete.

Ключові слова: шлакопортландцемент, дрібнозернистий бетон, структурована вода, надмалі концентрації, міцність бетону, коефіцієнт варіації міцності.

Keywords: blast furnace cement, fine-grained concrete, structured water, ultra-low concentrations, concrete strength, coefficient of variation of strength.

Вступ. Як відомо, з основних компонентів бетону портландцемент відрізняється найбільшою вартістю. До того ж, його виробництво супроводжується значними викидами двоокису вуглецю. Враховуючи, що наразі зберігається світова тенденція до скорочення витрат (як матеріальних, так і енергетичних) та вживання заходів щодо зменшення викидів CO₂ при виробництві цементів [1, 2], доцільним вбачається застосування шлакопортландцементів, виготовлення яких не потребує споживання значних ресурсів і є більш екологічним. Проте використання таких малоенергомісних шлакопортландцементів певним чином стримується тим фактором, що вони у порівнянні із портландцементом володіють сповільненою швидкістю формування структури, а отже, і набуття міцності.

Аналіз актуальних досліджень. Одним із добре відомих методів прискорення твердіння та отримання більш високих показників міцності бетонів є механічна та механо-хімічна активація цементів [3]. У дослідженні [4] описано використання механоактивації та модифікації органічно-мінеральною добавкою портландцементу задля підвищення ефективності його застосування у високоміцних бетонах. Та в той же час цей метод не дає можливості знизити використання енергетичних ресурсів.

У роботі [9] подані результати досліджень міцнісних характеристик сучасного виду бетону – реакційно-порошкового фібробетону з композиційним дисперсним армуванням. Відмічається, що одночасне використання різного виду волокон для дисперсного армування сприяє збільшенню міцності при стиску та на розтяг фібробетону у ранньому віці.

При оцінці якості бетону важливим є не тільки показник його міцності, але й коефіцієнт варіації, який характеризує однорідність розподілу міцності [7]. Адже в нормативних документах вказано, що при виготовленні як збірних конструкцій, так і монолітних, приймання бетону здійснюється обов'язково з урахуванням його однорідності за міцністю [8].

Проте в дослідженнях, присвячених вивченню проблеми підвищення показника міцності бетону, а також швидкості її формування, недостатньо уваги приділено питанню забезпечення стабільності міцності.

Пропозиція заміни традиційного портландцементу в якості в'язучого на шлаковий композит із застосуванням активатора, який є в більшому

ступені низькоенергоємним та екологічним, але також не враховує розподілу міцності отриманого дрібнозернистого бетону [10].

В той же час з метою прискорення формування структури бетону та збільшення його міцності запропоновано використання надмалих концентрацій поверхнево-активних речовин для модифікації води замішування [5, 6]. Тож подальші дослідження в цьому напрямку із застосуванням шлакопортландцементів вбачаються доцільними.

Постановка мети і задач дослідження. Оскільки дослідження в напрямку використання води для виготовлення дрібнозернистих бетонів, структурованої надмалими концентраціями поверхнево-активних речовин (ПАР), представляються перспективними, доцільно дослідити однорідність міцності модифікованого бетону на шлакопортландцементі із застосуванням поверхнево-активних речовин у надмалих дозах.

Тож мета даного дослідження – визначити вплив дії ПАР, використаних у надмалих концентраціях, для структурування води замішування дрібнозернистого бетону на шлакопортландцементі на стабільність його якісних характеристик.

Задачами дослідження є

- встановлення впливу структурованої води на швидкість формування структури та міцності дрібнозернистого бетону із використанням шлакопортландцементу;

- визначення впливу дії ПАР, використаних у надмалих концентраціях, для структурування води замішування на характер однорідності міцності дрібнозернистого бетону із використанням шлакопортландцементу.

Методика досліджень. Для виготовлення зразків дрібнозернистого бетону був використаний шлакопортландцемент ШПЦ Ш/Б-400 та поліфракційний річковий дніпровський пісок в якості дрібного заповнювача. Структурування води замішування здійснювалося використанням вуглеводню. Зразки виготовлялися із значенням водоцементного відношення (В/Ц) 0,45 та 0,5.

Дослідження міцності бетону та визначення коефіцієнта варіації здійснювалося за стандартними методиками.

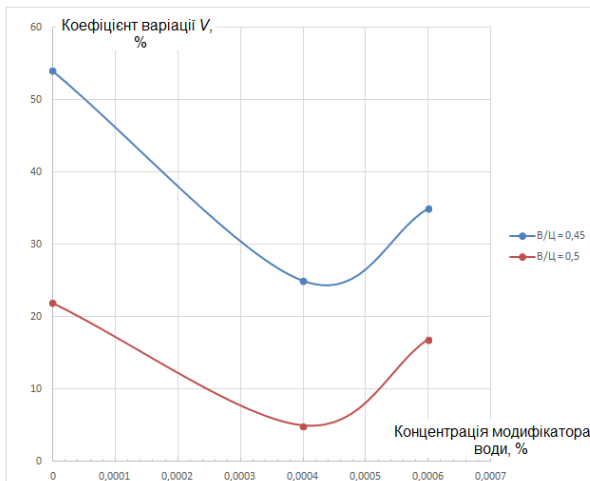
Результати досліджень. У таблиці 1 наведені результати визначення міцності дрібнозернистого модифікованого бетону для зразків з різним значенням В/Ц та різною концентрацією поверхнево-активної речовини у ранньому віці.

Таблиця 1 – Міцність зразків модифікованого дрібнозернистого бетону у віці 7 діб

В/Ц	Концентрація ПАР, %	Міцність при стиску, МПа
0,45	0	4,6
	0,0004	13
	0,0006	10
0,5	0	11,4
	0,0004	11,3
	0,0006	12,4

Як показують результати досліджень (табл. 1), структурування води замішування поверхнево-активною речовиною, яку використано у надмалих концентраціях, призводить до підвищення міцності дрібнозернистого бетону на шлакопортландцементі. При цьому оптимальний вміст ПАР дещо відрізняється, залежно від прийнятого водоцементного відношення. Для В/Ц 0,45 найбільший приріст міцності спостерігається при вмісті модифікатора води 0,0004%. Для В/Ц 0,5 оптимальний вміст ПАР становить 0,0006%.

Для оцінки впливу дії ПАР, використаних у надмалих концентраціях, для структурування води замішування на характер однорідності міцності дрібнозернистого бетону із використанням шлакопортландцементу проводилися визначення коефіцієнту варіації міцності бетону у ранньому віці. Результати досліджень представлені на рисунку 1.



Рисунки 1 – Вплив дії модифікатора води замішування (ПАР) на величину коефіцієнту варіації міцності бетону

Як видно з результатів дослідів, при використанні структурованої води поверхнево-активними речовинами у надмалих концентраціях призводить до зменшення коефіцієнта варіації. Тобто, однорідність міцності підвищується. При цьому оптимальний вміст модифікатора води становить 0,0004%. Для В/Ц 0,45 коефіцієнт варіації зменшується майже на 54% у порівнянні з контрольними зразками, а для В/Ц 0,5 – на 77%. Це підтверджує доцільність застосування структурованої води замішування для отримання дрібнозернистого бетону на основі шлакопортландцементу підвищеної якості.

Висновки. Аналіз отриманих даних дозволяє зробити наступні висновки:

- 1) використання поверхнево-активних речовин у надмалих концентраціях для структурування води замішування здійснює вплив на швидкість формування структури дрібнозернистого бетону на шлакопортландцементі та призводить до збільшення міцності бетону у ранньому віці;
- 2) одночасно з підвищенням міцності бетону спостерігається збільшення однорідності його структури (тобто підвищення якості), про що свідчить зменшення коефіцієнта варіації міцності.

References

1. Кропуньська Т. П. Концепції екоефективних наномодифікованих лужноактивних композиційних цементів із високою ранньою міцністю. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. Львів: Вид-во Львів. політехн., 2019. № 912. С. 99-107.
2. Demchenko K.V. Suchasni tekhnologii yak instrument pidvyshchennia efektyvnosti ekolohichnoi modernizatsii vyrobnytstva tsementu. Biznes-navihator. Odesa : Vydavnychii dim «Helvetyka», 2024. №1. S. 127-132.
3. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L., Harnitskyi Yu.V., Stepasiuk Yu. O. Mekhanokhimichna aktyvatsiia maloklinkernykh kompozytsiinykh tsementiv. Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. Rivne : NUVHP, 2014. Vyp. 28. S. 22-30.
4. Barabash Y.V., Harashchenko D.P., Ksenschkevych L.N. Mekhanoaktyvatsiia portlandtsementa – sposob aktyvnogo upravleniya prochnostiua betona. Visnyk ODABA, Odesa : ODABA, 2016. Vyp. 65. S. 120–124.
5. Borduzhenko O.M., Savytskyi V.V., Hnatyshyn B.I., Vykhovskiy D.O. Reaktsiino-poroshkovyi fibrobeton iz kompozytsiinykh dyspersnym armuvanniam. Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. Rivne : NUVHP, 2019. Vyp. 37. S. 11–17.
6. Semko O.V., Voskobiinyk O.P., Hukasian O.M. Do pytannia vrakhuvannia neodnorodnosti mitsnosti betonu konstruktyvnykh elementiv, shcho maiut uskladnenni umovy betonuvannia. Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Innovatsionnye tekhnologii zhiznennogo cikla obektov zhilishno-grazhdanskogo, promyshlennogo i transportnogo naznacheniya. Dnipro : PDABA, 2017. Vyp. 100. S. 154-163.

7. DSTU B V.2.7-224:2009. Betony pravyla kontroliu mitsnosti. Chynnyi vid 2010-09-01. Vyd. ofits. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy, 2010. 23 s.

8. Kostyuk T., Vinnichenko V., Plugin A., Borziak O., Iefimenko A. Physicochemical studies of the structure of energy-saving compositions based on slags. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Kharkiv, 2021. Vol.1021 (1). 012016. DOI 10.1088/1757-899X/1021/1/012016

9. Shyshkina O.O. Teoretychni osnovy nanomodyfikatsii dribnozernystykh betoniv strukturovanymy vodnymy systemamy. *Perspective trajectory of scientific research in technical sciences : Collective monograph*. Riga, Latvia : "Baltija Publishing", 2021. S. 624-642.

10. Shyshkin O.O. Keruvannia strukturoutvorenniam betonu zastosuvanniam sumishi poverkhnevo-aktyvnykh rehovyn. Visnyk Lvivskoho natsionalnogo universytetu pryrodokorystuvannia. Seriiia Arkhitektura ta budivnytstvo, Lviv : LNUP, 2023. №24. S. 22-30.

Література

1. Кропивницька Т. П. Концепція екоефективних наномодифікованих лужноактивованих композиційних цементів із високою ранньою міцністю. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва*. Львів: Вид-во Львів. політехн., 2019. № 912. С. 99-107.

2. Демченко К.В. Сучасні технології як інструмент підвищення ефективності екологічної модернізації виробництва цементу. *Бізнес-навігатор*. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2024. № 1. С. 127-132.

3. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Гарніцький Ю.В., Степасюк Ю. О. Механохімічна активація малоклінкерних композиційних цементів. *Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне : НУВГП, 2014. Вип. 28. С. 22-30.

4. Барабаш І.В., Гаращенко Д.П., Ксеншкевич Л.Н. Механоактивація портландцементу – спосіб активного управління прочністю бетону. *Вісник ОДАБА*, Одеса : ОДАБА, 2016. Вип. 65. С. 120–124.

5. Бордюженко О.М., Савицький В.В., Гнатишин Б.І., Виховський Д.О. Реакційно-порошковий фібробетон із композиційним дисперсним армуванням. *Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне : НУВГП, 2019. Вип. 37. С. 11–17.

6. Семко О.В., Воскобійник О.П., Гукасян О.М. До питання врахування неоднорідності міцності бетону конструктивних елементів, що мають ускладненні умови бетонування. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения*. Дніпро : ПДАБА, 2017. Вип. 100. С. 154-163.

7. ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Бетони правила контролю міцності. Чинний від 2010-09-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 23 с.

8. Kostyuk T., Vinnichenko V., Plugin A., Borziak O., Iefimenko A. Physicochemical studies of the structure of energy-saving compositions based on slags. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Kharkiv, 2021. Vol.1021 (1). 012016. DOI 10.1088/1757-899X/1021/1/012016

9. Шишкіна О.О. Теоретичні основи наномодифікації дрібнозернистих бетонів структурованими водними системами *Perspective trajectory of scientific research in*

technical sciences : Collective monograph. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2021. С. 624-642.

10. Шишкін О.О. Керування структуроутворенням бетону застосуванням суміші поверхнево-активних речовин. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Архітектура та будівництво*, Львів : ЛНУП, 2023. №24. С. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.31734/architecture2023.24.085>.

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-33](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-33)

УДК 629.113:072

ДИНАМІКА РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

DYNAMICS OF CALCULATED CHARACTERISTICS ON MOTOR ROADS

**Ярещенко Н.В., к.т.н., доц. (Харківський національний
автомобільно-дорожній університет)**

**Yareshchenko N.V., Ph.D., Associate Professor (Kharkiv National
Automobile and Road University)**

В еволюції системи Людина – Автомобіль – Дорога - Середовище є три етапи перетворення. Кожна система має свої замкнуті та розімкнені етапи розвитку. Кожний етап включає в себе три періоди замкнутого та три періоди розімкненого стану системи. Теж саме ми можемо спостерігати у будь якій системі, зокрема і в динаміці розрахункових характеристик транспортного потоку. Пропонується розглянути динаміку зміни розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах.

There are three stages of transformation in the evolution of the Human - Car - Road - Environment system. Each system has its closed and open stages of development. Each stage includes three periods of the closed and three periods of the open state of the system. We can observe the same in any system, in particular, in the dynamics of the calculated characteristics of the traffic flow. It is proposed to consider the dynamics of changes in the calculated characteristics of traffic flow on highways.

Estimated traffic speeds are used to justify the plan and longitudinal profile of the road. Road elements are determined from the conditions for ensuring the safe movement of single passenger cars at the calculated speed. The higher the calculated speed, the higher the level of operational quality of the road. Therefore, the dynamics of the estimated speed can be used to judge the patterns of the evolution of highways.

The calculated speeds for roads of the 1st category in terms of absolute values are close to the weighted average speeds of production cars. This can be especially clearly traced in the second and third periods of the open state of the considered stage of evolution.

This makes it possible to use the laws of the dynamics of the design speed of passenger cars for the forecast of the estimated speeds.

Economic factors can lead to change. The increment in the calculated speed cannot be extended to subsequent stages of evolution, since this period had significant disruptions. It is advisable to take the coefficient of increase in the design speed of a given period for subsequent forecasts based on the design speed of passenger cars in the first stabilization period

Since standards for the construction of highways are introduced by decree, during the period of their validity the design speeds do not change. Consequently, during periods of stabilization of design speeds, the coefficient of their increase does not change and remains equal to unity.

Analysis of this dynamics shows that the change in the design speeds of cars over time is wave-like. Periods of steady growth in speeds are followed by periods of stabilization. During periods of stabilization, design changes to vehicles are carried out. In subsequent periods of steady growth in speeds, the possibilities of these changes are realized.

The duration of periods of a closed state within each cycle of the system's evolution decreases, and the periods of an open state increases in accordance with an arithmetic progression.

The duration of periods of the closed state within each stage decreases, and the periods of the open state increases in accordance with an arithmetic progression.

Each subsequent period of the closed state is two times less than the previous one, each subsequent period of the open state is twice as long as the previous one.

The first periods of closed and open states during the transition from stage to stage are also halved.

Ключові слова: розрахункові характеристики, математична модель, автомобіль, система, автомобільна дорога.

Key words: calculated characteristics, automobile, highway, mathematical model, system.

В еволюції системи Людина – Автомобіль – Дорога - Середовище є три етапи перетворення. Кожна система має свої замкнені та розімкнені етапи розвитку. Кожний етап включає в себе три періоди замкнутого та три періоди розімкнутого стану системи. Теж саме ми можемо спостерігати у будь якій системі, зокрема і в динаміці розрахункових характеристик транспортного потоку на автомобільних дорогах.

Розрахункові швидкості руху використовуються для обґрунтування плану та повздовжнього профілю дороги. Елементи доріг визначаються з умов забезпечення безпечного руху одиночних легкових автомобілів з розрахунковою швидкістю. Чим вище розрахункова швидкість, тим вище рівень експлуатаційної якості дороги. Тому за динамікою розрахункової швидкості можна судити про закономірності еволюції автомобільних доріг.

На рис. 1 показано зміну значень розрахункових швидкостей за результатами досліджень.

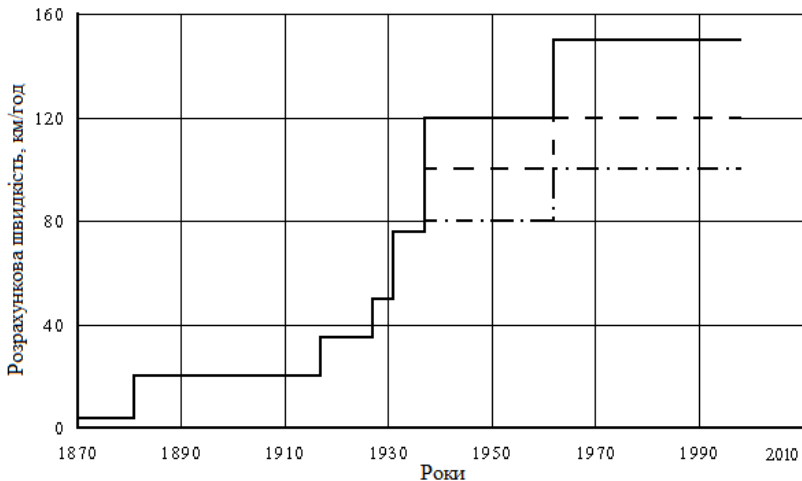


Рисунок 1 - Динаміка розрахункових швидкостей:

- дороги I категорії;
- - - дороги II категорії;
- . - . дороги III категорії

Дані рис. 1 отримані на основі діючих технічних норм та правил [1].

Аналіз цих даних показує, що періоди стабілізації розрахункових швидкостей руху співпадають з такими ж періодами у динаміці конструктивних швидкостей серійних та рекордних автомобілів.

Розрахункові швидкості для доріг I-ї категорії за абсолютними значеннями наближаються до середньозважених швидкостей серійних автомобілів. Особливо чітко це можна прослідкувати у другому та третьому періодах розімкнутого стану етапу еволюції, що розглядається. Це дозволяє використовувати закономірності динаміки конструктивних швидкостей руху легкових автомобілів для прогнозу розрахункових швидкостей руху.

Економічні фактори можуть призвести до змін. Приріст розрахункової швидкості не може поширюватися на наступні етапи еволюції, так як даний період має значні збої. Коефіцієнт приросту розрахункової швидкості даного періоду для наступного прогнозу приймають з конструктивної швидкості легкових автомобілів у перший період стабілізації

$$k_{pa} = 120/75 = 1,5.$$

Тоді емпіричний зв'язок коефіцієнта приросту розрахункової швидкості з номером замкненого періоду на даному етапі еволюції системи може бути представленим у такому вигляді (рис. 2)

$$k_{pa} = 3 - 2,125213(n-1) + 0,6251012(n-1)^2 \quad (1)$$

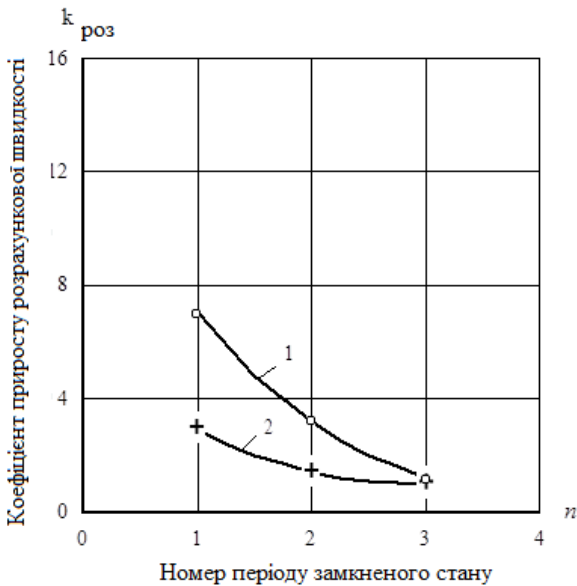


Рисунок 2 - Зв'язок коефіцієнта приросту розрахункової швидкості з номером замкнутого періоду:
 1 – фактичний; 2 – для наступного прогнозу

Так як нормативи на будівництво автомобільних доріг вводяться декретно, то в період їх дії розрахункові швидкості не змінюються. Відповідно, в періоди стабілізації розрахункових швидкостей коефіцієнт їх приросту не змінюється та залишається рівним одиниці.

При досягненні стану автомобільної дороги, який забезпечує виконання умови

$$V_{\Sigma H} = V_{H1} = V_{H2},$$

подальший ріст швидкостей руху можливий лише у випадку зміни максимально можливої конструктивної швидкості автомобіля $V_{шт}$. Дійсно, в такому стані стосовно дослідженням Е.В.Гаврилова [2]:

$$V_{H1} \cong 2/3(V_{шт}),$$

$$V_{II} = V_{шт}. \quad (2)$$

Закономірності зміни конструктивних швидкостей руху автомобілів є можливим вивчити на прикладі історії росту абсолютних рекордів швидкостей за даними FIA (Federation International de L'Automobile). Ці дані отримані з WEB-сторінки Internet [3].

Динаміка конструктивних швидкостей руху автомобілів представлена на рис.3

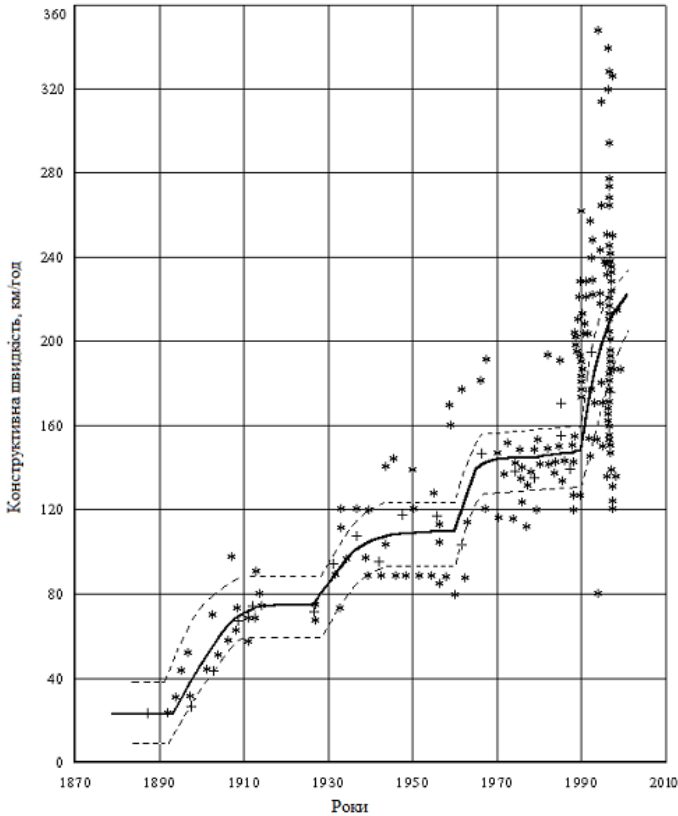


Рис. 3 - Динаміка конструктивних швидкостей легкових автомобілів на дорогах :

- * - конструктивна швидкість в рік появи в складі транспортних потоків;
- + - середня конструктивна швидкість за 5-ти річний період;
- - вирівнюючи крива за методом ковзної середньої;
- - межі довірчого коридору.

Аналіз даної динаміки показує, що зміни конструктивних швидкостей автомобілів у часі носять хвилеподібний характер [4].

Періоди стійкого росту швидкостей змінюються періодами їх стабілізації.

У періоди стабілізації здійснюються конструктивні зміни автомобілів. У наступні періоди стійкого росту швидкостей реалізуються можливості цих змін.

Тривалість періодів замкненого стану у межах кожного циклу еволюції системи зменшується, а періодів розімкненого стану збільшується відповідно до арифметичної прогресії, [5]

$$\begin{aligned}T_{n+1} &= T_n/2, \\ T_{m+1} &= 2t_m,\end{aligned}\tag{3}$$

де T - тривалість періоду стійкого росту конструктивної швидкості автомобіля, роки;

t - тривалість періоду стабілізації конструктивної швидкості, роки;

n - номер періоду стійкого росту швидкостей в циклі еволюції системи;

m - номер періоду стабілізації швидкостей в циклі еволюції системи.

Аналогічно змінюються перші періоди замкненого стану системи при переході від циклу до циклу [6]

$$T_{k+1(1)} = T_k(1)/2,\tag{4}$$

де k - номер циклу еволюції;

(1) - індекс.

Перші періоди розімкненого стану системи при переході від циклу до циклу еволюції також зменшуються:

$$t_{k+1(1)} = t_k(1)/2.\tag{5}$$

Приріст рекордних швидкостей у періоди розімкненого стану системи зростає при переході до замкненого періоду. Коефіцієнт приросту рекордної швидкості за період розімкненого стану пов'язаний з лінійною залежністю з номером періоду розімкненого стану еволюції системи.

$$k_p = 1 + 0,0135 m,\tag{6}$$

де k - коефіцієнт приросту рекордної швидкості руху автомобіля у період розімкненого стану,

$$k_p = V_{mk}/V_{m0},\tag{7}$$

де V_{m0}, V_{mk} - рекордні швидкості руху в першій та останній роки m -ного періоду розімкненого стану.

Приріст швидкостей руху у періоди замкнутого стану зменшується при переході з етапу на етап.

Коефіцієнт приросту швидкості руху в перші періоди замкнутого стану зменшується при переході до послідовних циклів еволюції системи відповідно до залежності

$$k_p(1) = 21 - 6a, \quad (8)$$

де $k_p(1)$ - коефіцієнт приросту швидкості в першому періоді замкнутого стану.

Коефіцієнт приросту конструктивної швидкості легкових автомобілів зменшується при переході до послідовних періодів замкнутого стану на кожному етапі еволюції системи ЛАДС відповідно до формул:

1-й етап

$$K_k = 6 - 3,321425(n-1) + 0,5357195(n-1)^2$$

2-й етап

$$K_k = 3 - 2,125213(n-1) + 0,6251012(n-1)^2 \quad (9)$$

Аналіз формул (9) показує, що при переході з етапу на етап величина ($K_k - 1$) зменшується у два рази. Тому можна припустити, що на третьому етапі еволюції системи ЛАДС коефіцієнт приросту конструктивної швидкості у періоди замкнутого стану будуть змінюватися відповідно до формули

$$K_k = 1,5 - 0,3125076(n-1) + 0,06250393(n-1)^2 \quad (10)$$

де n - номер періоду замкнутого стану в межах даного етапу еволюції.

Коефіцієнт приросту конструктивної швидкості у періоди розімкненого стану системи ЛАДС зростає відповідно до формули

$$K_k = 1 + 0,0075 m, \quad (11)$$

де m - номер періоду розімкненого стану в межах даного етапу еволюції.

Закономірність (11) зберігається на всіх етапах еволюції системи ЛАДС.

Аналіз родословної розвитку автомобілебудування підтверджує думку про те, що в періоди розвитку розімкненого стану системи здійснюються основні винаходи, відкриття, конструктивні зміни автомобіля, що визначає

прогрес у динаміці рекордних швидкостей руху в наступні періоди замкненого стану. Проведені дослідження дозволили припустити, що за динамікою розрахункових характеристик можна судити про закономірності еволюції автомобільних доріг.

References

1. DBN V. 2.3 - 4. – 20000. Avtomobilni dorogi. Dergkom budivnitstva, architekturu ta gutlovoyi politiku Ukrainu. Kuiv. OOO Alefa, 2000, -117 s.
2. Gavrilov E.V., Dmutrichenko M.F., Sistemologiya na transporti. Organizaciya doroznogo ruju. Vud-vo Znanny Ukrainu.2007.-450 s.
3. https://uk.wikipedia.org/wiki/_/Rekordy_shvidkosti_na_avtomobili.
4. Polischuk V.P., Dzuba O.P. Teoraya transportnogo potoku. Metodu I modeli organizacii doroznogo ruju. Vud-vo Znanny Ukrainu. 2008. -175 s.
5. Klepenko V.U., Golez V.L., Vischa matematika v prikladaj I zadachaj. Navchalnij posibnik. Vidavnitvo Zentr uchbovoy literature. 2021. 594 s.
6. Gavrilov E. V., Gridin A.M., Rypujin V.M. Sistemne proektuvania avtomobilnij dorog. Vid. ASB. 1998. -138 s.

Список використаної літератури

1. ДБН В.2.3-4-20000. Автомобільні дороги. Держком будівництва, архітектури та житлової політики України.- Київ, ООО, Алефа, 2000. – 117 с.
2. Гаврилов Е.В., Дмитриченко М.Ф. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху. Вид-во Знання України, 2007. -450 с.
3. https://uk.wikipedia.org/wiki/_/Rekordy_shvidkosti_na_avtomobili.
4. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку. Методи і моделі організації дорожнього руху. Вид-во Знання України. 2008. -175 с.
5. Клепенко В.Ю., Голець В.Л., Вища математика в прикладах і задачах. Навчальний посібник. Видавництво Центр учбової літератури. 2021. 594 с.
6. Гаврилов Е.В., Грідін А.М., Ряпухін В.М. Системне проектування автомобільних доріг. Вид. АСБ, 1998 р., - 138 с.

З М І С Т

Азізов Т.Н., Майстренко О.Ф., Ель Амарі Амін	Інженерний метод розрахунку підвісних будівель на сейсмічне навантаження.....	5
Андрусак А.В., Сільчук Д.В., Величкович А.С.	Оцінка ефективності проектування складу бетонних сумішей на альтернативних заповнювачах з природних ресурсів Прикарпатського регіону.....	15
Бондарський О.Г., Ужегова О.А.	Моделювання та аналіз термопружного стану оболонкової системи.....	29
Верешко О.В., Король П.П., Пугач С.О.	Історичні аспекти розвитку геодезичного приладобудування: прилади для виконання геометричного нівелювання.....	35
Гарькава О.В.	Огляд збірних каркасних конструктивних систем будівель.....	44
Добровольська О.Г., Фосташенко О.М., Чудновський П.Б.	Реконструкція інженерних об'єктів нежитлового фонду в контексті відновлення України.....	57
Довженко О.О., Погрібний В.В., Пенц М.В., Мищенко М.О.	Опір камяних і залізобетонних елементів діагональному розколюванню.....	66
Зеленська В.В., Шевченко Я.О., Тригуб Р.М.	Торгово-розважальні центри. Класифікація. Етепи проектування та норми будівництва.....	76
Карюк А.М., Коба Б.Р.	Імовірнісний аналіз рівня теплової надійності покриттів житлових будівель на території України.....	87
Кислюк Д.Я., Нінічук М.В., Костюк Т.О., Савенко В.І.	Дослідження фізико-механічних показників застосування комплексної модифікуючої добавки КМД «Навікон» у бетонних сумішах...	95

Козак О.В., Андрусак А.В., Артим В.І., Палійчук І.І.	Експериментальні дослідження тріщиностійкості вузлів монолітних рам нерозрізних балок із криволінійною арматурою, напруженою на бетон.....	104
Кравчук А.М., Кочетов Г.М., Кравчук О.А., Самченко Д.М.	Розрахунок горизонтальних розподільчих дренажних трубопроводів, які працюють за наявності похилу рівня ґрунтових вод.....	113
Mikulich O.A., Zaiakin D.K.	Porous Material Software Analysis.....	121
Мудрий І.Б.	Перспективи використання інформаційних технологій при розміщенні кранів на будівельному майданчику	128
Нужний В.В.	Вихрове вітрове збудження у баштових спорудах суцільного перерізу.....	138
Парфентьева І.О., Мельник Ю.А., Задорожнікова І.В., Степанюк В.О.	Дослідження інклюзивності громадських будівель Луцька.....	152
Пахолюк О.А., Задорожнікова І.В., Чапюк О.С., Хомик С.М.	Розвиток європейських норм NZEV та їх імплементация в будівельні норми України.....	161
Пиріг Я.І.	Оцінювання термостабільності адгезійних добавок.....	170
Самчук В.П., Пустолюга С.І., Кислюк Д.Я., Пахолюк О.А., Савенко В.І.	Використання сучасних інформаційних технологій у задачах організації дорожнього руху.....	178
Сєдов А.В., Фоменко О.О.	Профілактична обробка дорожніх покриттів хімічними протижелезними матеріалами для боротьби із зимовою слизькістю.....	188

Синій С.В., Крантовська О.М., Ксьоншкевич Л.М., Ксьоншкевич А.С., Сунак П.О.	Роль інформаційно-комунікаційних технологій у методології досліджень об'єктів будівництва	198
Синій С.В., Ксьоншкевич Л.М., Крантовська О.М., Крантовський І.О., Орешкович М.	Роль інформаційно-комунікаційних технологій у методології досліджень інженерних мереж....	207
Смоляр А.М., Мірошкіна І.В., Юрченко С.В., Романченко В.Р.	Комп'ютерне моделювання впливу умов закріплення кінців балки з будівельним вигином на перерозподіл нормальних напружень.....	216
Сморкалов Д.В., Затилюк Г.А., Винокур В.С.	Підсилення монолітних залізобетонних конструкцій з використанням попередньо напружених арматурних канатів.....	224
Stolevich I.A., , Posternak O.O., Petrash S.V., Kovtunenکو O.V., Urazmanova N.F.	Research and Analysis of the Influence of Recipe and Technological Factors on the Strength of Expanded Clay Concrete on Quartz Sand.....	235
Толмачов Д.С., Толмачов С.М.	Структурутворення та внутрішні напруження в монолітному цементобетоні, що твердіє.....	244
Уль А.В., Мельник О.В., Мельник Ю.А., Вакулюк Л.А.	Огляд спектральних індексів для дистанційних досліджень урбанізованих територій.....	253
Чапюк О.С., Кислюк Д.Я., Гришкова А.В., Задорожнікова І.В., Савенко В.І.	Порівняння границі міцності на розтяг склокомпозитної та металеві арматур.....	271

Шаповал С.П., Пришляк Ю.В., Мисак С.Й., Касинець М.Є., Кригуль Р.Є.	Інноваційні методи підвищення енергоефективності будівель із застосуванням гібридних геліоколекторів.....	280
Швайковський В.Л., Погрібний В.В.	Програма експериментального дослідження граничного стану за несучою здатністю залізобетонних балок у похилих перерізах.....	287
Шишкіна О.О., Домнічев А.О.	Особливості фізико-механічних властивостей модифікованого бетону на основі композиційного цементу.....	296
Шишкіна О.О., Піскун І.О.	Вплив застосування наномодифікаторів води замішування на якісні характеристики дрібнозернистого бетону на шлакопортландцементі.....	303
Ярещенко Н.В.	Динаміка розрахункових характеристик на автомобільних дорогах.....	309

Наукове видання

Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 21

Видається двічі на рік

Верстка С.В. Ротко

Матеріали друкуються в авторській редакції. За стилістику та орфографію статей відповідальність несуть автори

Підписано до друку 4 червня 2024 р.

Формат 60 × 84 1/16. Папір офсетний

Умовн.друк.арк. 20,06. Обл. вид. арк. 19,75. Тираж 100 пр. Зам. №85

Відділ іміджу та промоції Луцького національного технічного
університету, 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75

Друк – Вежа-Друк. Зам. № 85

(м. Луцьк, вул. Шопена, 12, тел. (+380) 66 936 25 49.

Свідоцтво Держ. комітету телебачення та радіомовлення України

ДК № 4607 від 30.08.2013 р.