

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Сучасні технології
та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 22

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 22

Lutsk – 2024

**Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк, ЛНТУ. 2024,
Випуск 22, 276 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 проєктних рішень у будівництві; енергоефективних технологій у міському будівництві та господарстві.

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

Редакційна колегія:

Головний редактор – **Мікуліч О.А.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, Луцьк)

Заступник редактора – **Пустолюга С.І.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, 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., професор (ЛНТУ, Луцьк); **Абрамюк І.Г.**, к. арх. (Університет Зеленогурський, Польща); **Бліхарський З.Я.**, д.т.н., професор (НУ «Львівська політехніка», Львів); **Бондарський О.Г.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Богаткевич Януш**, доктор інженерії (Львівська політехніка, Польща); **Борзяк О.С.**, д.т.н., професор (Західнопоморський технологічний університет, м. Щецин, Польща); **Верешко О.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Голодинос О.І.**, д.т.н., професор (НАУ, Київ); **Гомон С.С.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Дзюбинська О.В.**, к.е.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Дробишинець С.Я.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Задорожнікова І.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Іванченко Г.М.**, д.т.н., професор (КНУБА, Київ); **Ільчук Н.І.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Карась Славомір**, доктор інженерії (Львівська політехніка, Польща); **Кислюк Д.Я.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Клименко Є.В.**, д.т.н., професор (ОДАБА, Одеса); **Кочкарьов Д.В.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Кундрат М.М.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Максимович О.В.**, д.т.н., професор (НУ «Львівська політехніка», Львів); **Мельник Ю.А.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Наумов В.С.**, д.т.н., професор (Краківська політехніка, Польща); **Павліков А.М.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, Полтава); **Парфентьєва І.О.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Пасічник О.С.**, к.арх., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Пасічник Р.В.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Пахолок О.А.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Пашинський В.А.**, д.т.н., професор (ЦНТУ, Кропивницький); **Пічугін С.Ф.**, д.т.н., професор (ЛНТУ, Полтава); **Процюк В.О.**, к.т.н., доцент (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); **Смаль М.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); **Ужегов С.О.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Ужегова О.А.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Чашук О.С.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Шимчук О.П.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк); **Шишкін О.О.**, д.т.н., професор (КНУ, Кривий Ріг); **Ясюк І.М.**, к.т.н., доцент (ЛНТУ, Луцьк)

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 № 4 від 3 грудня 2024 р.)

Адреса редакції: 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, Луцький національний технічний університет, кафедра будівництва та цивільної інженерії

e-mail: Zbirnukfbd@gmail.com

сайт: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/>

Modern technologies and methods of calculations in construction. Lutsk, LNTU. 2024, Volume 22, 276 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 – **Mikulich O.A.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (LNTU, Lutsk)

Deputy Editor – **Pustyulga S.I.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (LNTU, 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., Prof. (LNTU, Lutsk); **Abramyuk I.G.**, Ph.D., As. Prof. (University of Zelenogorsk, Poland); **Blikharsky Z.Ya.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (LPNU, Lviv); **Bondarsky O.G.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Bogatkevych Janusz**, Dr of Techn. Sc., Prof. (Lublin Polytechnic, Poland); **Borzyak O.S.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland); **Vereshko O.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Golodnov O.I.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (NAU, Kyiv); **Gomon S.S.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (NUWEE, Rivne); **Dzyubynska O.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Drobyshynets S.Ya.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Zadorozhnikova I.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Ivanchenko G.M.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (KNUBA, Kyiv); **Ilichuk N.I.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Karaś Slawomir**, 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., Prof. (NUWEE, Rivne); **Kundrat M.M.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (NUWEE, Rivne); **Maksymovych O.V.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (LPNU, Lviv); **Melnyk Yu.A.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Naumov V.S.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (Cracow University of Technology, Cracow, Poland); **Pavlikov A.M.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (PNTU, Poltava); **Parfentyeva I.O.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Pasichnyk O.S.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Pasichnyk R.V.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Pakholiuk O.A.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Pashinsky V.A.**, Dr of Techn. Sc., As. Prof. (CNTU, Kropyvnytskyi); **Pichugin S.F.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (PNTU, Poltava); **Protsyuk V.O.**, Ph.D., As. 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); **Smal M.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); **Uzhehov S.O.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Uzhehova O.A.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Chapyuk O.S.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Shymchuk O.P.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk); **Shishkin O.O.**, Dr of Techn. Sc., Prof. (KNU, Kryvyi Rih); **Yasyuk I.M.**, Ph.D., As. Prof. (LNTU, Lutsk).

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 theses 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. 4 of December 3, 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: Zbirnikufbd@gmail.com , сайт: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/>

© *Lutsk National*

Technical University, 2024

ISSN 2410-6208

**Базальтовий утеплювач – природний «зелений матеріал»
для сучасних конструкцій**

**Basalt insulation is a natural «green material»
for modern constructions**

Бакулін Є.А., к.т.н., доцент, Русецька М.В., аспірантка (Київський національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ)

Bakulin Ye.A., Ph.D., Associate Professor, Rusetska M.V., Ph.D. Student (National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv)

У сучасному будівництві все більшого значення набуває енергоефективність будівель, тому велика увага приділяється пошуку ефективних та екологічно чистих матеріалів для створення конструкцій. Український ринок будівельних матеріалів активно розвивається, пропонуючи широкий вибір стінових панелей із базальтовим утеплювачем. Їх популярність зростає завдяки високій енергоефективності, простоті монтажу та відповідності сучасним екологічним стандартам. Однак різні виробники пропонують продукцію з відмінними технічними характеристиками, що вимагає детального аналізу для визначення найкращих рішень.

Modern economic conditions require materials not only with high-performance characteristics but also with accessibility and relatively low cost. Thus, significant potential for improving composite materials' characteristics lies in using inexpensive and effective fillers, among which basalt and its derivatives undoubtedly stand out.

Basalt insulation materials, widely used for external insulation of wall panels, are materials made of basalt fiber, which, in turn, is obtained from basalt. Although this is not a new breed, its research is important for the development of new and innovative materials not only in construction but also in other industries. Research into the natural origin of basalt, as well as the chemical and mechanical properties of basalt fiber will help to identify its strengths and weaknesses and compare it with existing basalt materials on the market. Therefore, the development of new insulation materials with improved properties compared to their predecessors remains a pressing problem.

Given the growing demand for energy-efficient and environmentally friendly building materials, basalt insulation has great potential for further development and application. Innovative production technologies and continuous improvement of material properties contribute to their widespread implementation in the construction of new buildings and the reconstruction of existing ones.

In the process of further research, it is necessary to analyze the technological processes of production of modern insulation, which is key to identifying possible ways of optimization and cost reduction. Studying production lines, their impact on product

quality, and the possibility of introducing new technologies, such as automation and the use of new types of raw materials, can significantly increase production efficiency.

Ключові слова: базальт, базальтове волокно, базальтовий утеплювач, характеристики та властивості утеплювачів.

Keywords: basalt, basalt fiber, basalt insulation, characteristics and properties of insulation materials.

Енергоефективність та екологічність є ключовими напрямками розвитку будівельної галузі у XXI столітті. Сучасні матеріали повинні забезпечувати високу теплоізоляцію, довговічність, а також відповідати екологічним стандартам. Базальтовий утеплювач є прикладом такого матеріалу, що поєднує природне походження, мінімальний вплив на екологію та високі технічні характеристики.

1. Основні характеристики базальтових утеплювачів

Базальтовий утеплювач – це ізоляційний матеріал, виготовлений з базальтового волокна. Процес його виробництва включає розплавлення гірських порід базальтової групи при температурі понад 1400°C та перетворення їх на тонкі волокна [3, 4]. Ці волокна потім з'єднуються у вигляді матів, плит або рулонів. Базальтовий утеплювач відомий своєю ефективністю і застосовуються у різних сферах будівництва та промисловості [5, 6]:

- Зовнішнє утеплення стін: для підвищення енергоефективності будівель.
- Утеплення покрівель: для зниження тепловтрат через дах.
- Звукоізоляція приміщень: у житлових та комерційних будівлях.
- Промислові утеплювачі: для ізоляції трубопроводів, котлів та іншого обладнання.

Базальтовий утеплювач є унікальним матеріалом із природного каменю, який поєднує високу ефективність і екологічність. Розглянувши його ключові властивості, важливо проаналізувати, як цей матеріал співвідноситься з іншими популярними утеплювачами, зокрема, такими як пінополістирол, мінеральна вата та поліуретанова піна.

Ключові властивості базальтового утеплювача:

- 1) Високі теплоізоляційні властивості – базальтові утеплювачі мають низьку теплопровідність, що забезпечує ефективне збереження тепла всередині будівлі.
- 2) Паропроникність – матеріал дозволяє волозі виходити з приміщення, що запобігає утворенню конденсату та розвитку цвілі.
- 3) Вогнестійкість – базальтові волокна витримують високі температури і не горять, що підвищує пожежну безпеку будівель.
- 4) Механічна міцність – утеплювач стійкий до деформацій і зберігає свої властивості протягом усього терміну експлуатації.

5) Екологічність – базальтові утеплювачі виготовляються з природних матеріалів, не містять і не виділяють шкідливих речовин, тому залишаються екологічно безпечними протягом усього терміну служби. Це забезпечує їхню тривалу експлуатацію без шкоди для довкілля та здоров'я людини.

6) Довговічність – базальтові утеплювачі можуть ефективно виконувати свої функції протягом 50 і більше років, у зв'язку з низкою унікальних властивостей, які забезпечують стабільність характеристик протягом тривалого періоду експлуатації. У багатьох випадках їх термін служби співпадає з терміном служби будівлі, що робить їх вигідним і надійним вибором для довгострокових проектів. Вимоги до довговічності будівельних виробів були включені до відповідних нормативних документів згідно з ДБН В.1.2.-11:2021 [7]. Застосування цих вимог реалізоване в системі норм, що містять ДБН В.2.6-31:2021 [8], ДБН В.2.6-33:2018 [9], а також у ДСТУ Б.В.2.6-34:2008 [10], ДСТУ Б.В.2.6-35:2008 [11] і ДСТУ Б.В.2.6-36:2008 [12].

2. Методологія дослідження

Для детальнішого аналізу наводимо порівняльну таблицю властивостей базальтового утеплювача з альтернативними матеріалами. Вибір утеплювача у стінових панелях значно впливає на теплоізоляційні властивості конструкції, її довговічність і вартість. Українські виробники пропонують широкий асортимент стінових панелей, серед яких переважають конструкції з базальтовим утеплювачем, пінополістиролом, мінеральною ватою та поліуретановою піною.

Порівняльний аналіз матеріалів

Для порівняння були відібрані зразки стінових панелей, виготовлених українськими виробниками, що мають найбільший попит на ринку. Аналіз проведено за такими критеріями: теплотехнічні характеристики, механічна міцність, вогнестійкість, екологічність, вартість виробництва та експлуатації.

Базальтовий утеплювач – має оптимальне поєднання властивостей, таких як висока теплоізоляція, паропроникність, вогнестійкість та механічна міцність [13]. Вони є відмінним вибором для зовнішнього утеплення будинків, забезпечуючи високу енергоефективність та комфорт мешканців. У порівнянні з іншими утеплювачами, базальтові утеплювачі мають вищу екологічність та довговічність, що робить їх перспективним матеріалом для сучасного будівництва (табл. 1).

Мінеральна вата – це загальна група теплоізоляційних матеріалів, до якої входять базальтова вата, скловата та шлаковата і виготовляються з природних матеріалів. Попри спільне призначення, ці матеріали мають відмінності в складі, властивостях і сферах застосування. Базальтова вата є одним із продуктів базальтових утеплювачів. Скловата виготовляється з

розплавленого скла або кварцового піску, має добрі теплоізоляційні властивості, але може бути менш міцною і подразнювати шкіру під час монтажу. Шлаковата виробляється з доменних шлаків, менш довговічна і стійка до вологи, ніж інші типи, але є бюджетним варіантом (табл.1).

Таблиця 1

Порівняльна таблиця властивостей та характеристик базальтових утеплювачів з іншими утеплювачами

Характеристика	Базальтовий утеплювач	Мінеральна вата	Екструдований пінополістирол (XPS)	Пінополіуретан (PUR/PIR)
Теплопровідність (λ), Вт/м·К	0,032-0,040	0,035-0,045	0,036-0,045	0,020-0,025
Паропроникність	висока	висока	низька	низька
Звукоізоляція (Rw), дБ	50-55	45-50	30-35	25-30
Водопоглинання	низьке	середнє	визьке	низьке
Вогнестійкість	негорючий	негорючий	горючий	самозатухаючий
Механічна міцність	висока	низька	висока	висока
Довговічність	30-50	25-35	20-30	25-40
Екологічність	висока	середня	низька	низька
Вартість грн/м ²	120-150	100-120	80-100	130-170

Екструдований пінополістирол (XPS) – має вищу механічну міцність і менше водопоглинання порівняно з EPS. Він також забезпечує добру теплоізоляцію. Однак, як і пінопласт, XPS має низьку паропроникність і є горючим матеріалом. Це робить його менш придатним для використання в умовах високої вологості та підвищених вимог до пожежної безпеки (табл. 1).

Пінополіуретан (PUR/PIR) – забезпечує відмінну теплоізоляцію і має високу стійкість до вологи та механічних пошкоджень. Завдяки особливій монолітній структурі забезпечується високий рівень теплоізоляції та шумоізоляції (коефіцієнт теплопровідності становить всього лише 0,02 Вт/м · К), що дає змогу знизити товщину утеплюючого шару. Серед недоліків виокремлюють займистість і виділення токсичних речовин під час горіння, необхідність захисту від сонячного світла та розчинників, а також вміст потенційно небезпечних речовин [13]. Він також може мати самозатухаючі властивості, що підвищує його пожежну безпеку. Проте пінополіуретан є значно дорожчим матеріалом, а його виробництво може мати негативний вплив на довкілля через використання хімічних компонентів (табл. 1).

Аналіз порівняльної таблиці

1. Енергоефективність – поліуретанова піна має найнижчу теплопровідність, але базальтовий утеплювач виграє за рахунок довговічності та стабільності показників у різних умовах (рис. 1).

2. Безпека – базальтовий утеплювач є єдиним абсолютно негорючим матеріалом, що робить його оптимальним вибором для об'єктів із підвищеними протипожежними вимогами (рис. 1).

3. Екологічність – матеріали на основі базальту мають найнижчий вуглецевий слід, оскільки виготовляються із природної сировини (рис. 1).

4. Вартість – пінополістирол і мінеральна вата є економічно вигідними, але значно поступаються базальтовому утеплювачу в термінах експлуатації, вогнестійкості та екологічності (рис. 1).



Рис. 1. Порівняльні графіки характеристик стінових панелей українських виробників

Базальтовий утеплювач є оптимальним вибором для проєктів, де важливі довговічність, екологічність і безпека. Альтернативні матеріали можуть бути доцільними для бюджетного будівництва або короткострокових об'єктів. Для сучасних конструкцій, орієнтованих на стандарти енергоефективності та екології, базальтовий утеплювач залишається найкращим рішенням.

Таблиця 2

Характеристика українських виробників стінових панелей

Тип утеплювача	Виробники	Переваги	Недоліки
Базальтовий утеплювач	"Термопанель Україна", "БазальтПро"	- Висока теплоізоляція - Екологічність - Стійкість до вогню та вологи	- Вища вартість у порівнянні з пінополістирольними панелями
Мінеральна вата	"МінералБуд"	- Доступна ціна - Добра теплоізоляція	- Нестійкість до вологи без додаткової гідроізоляції
Пінополістирол	"Укр-Панель"	- Низька вартість - Простота монтажу	- Низька вогнестійкість - Виділення токсичних речовин при нагріванні
Поліуретанова піна	"ПП-Ізолюкс"	- Найнижча теплопровідність - Стійкість до деформацій	- Висока вартість - Проблеми з утилізацією

Результати порівняння

1. Для регіонів із холодним кліматом

Панелі з базальтовим утеплювачем та поліуретановою піною забезпечують найкращу теплоізоляцію, проте базальтовий утеплювач має перевагу у вогнестійкості.

2. Для економічного будівництва

Панелі з пінополістиролом залишаються найвигіднішими за ціною, проте їхній вибір можливий лише за умов мінімальних ризиків пожежі.

3. Для комерційних і промислових об'єктів

Панелі з мінеральною ватою є оптимальним вибором через баланс між ціною, екологічністю та теплоізоляцією.

Переваги та недоліки використання базальтових утеплювачів для зовнішнього утеплення

Після аналізу порівняльної таблиці, в якій розглянуто властивості базальтового утеплювача в порівнянні з іншими матеріалами, доцільно виділити його ключові переваги та можливі недоліки. Це дозволить повніше

оцінити доцільність використання базальтового утеплювача у сучасному будівництві.

Переваги базальтового утеплювача

Енергоефективність – зовнішнє утеплення стінових панелей за допомогою базальтових утеплювачів значно підвищує енергоефективність будівлі. Завдяки високій теплоізоляційній здатності, базальтові волокна дозволяють зменшити втрати тепла взимку і зберігати прохолоду влітку. Це сприяє зниженню витрат на опалення та кондиціонування, що, у свою чергу, зменшує споживання енергії та викиди вуглекислого газу.

Довговічність – базальтові утеплювачі відомі своєю довговічністю та стійкістю до зовнішніх впливів, не піддаються впливу ультрафіолетових променів, не втрачають своїх властивостей з часом і стійкі до механічних пошкоджень. Це забезпечує тривалий термін експлуатації утеплювальних систем без необхідності частого ремонту чи заміни.

Екологічна безпека – виробництво та використання базальтових утеплювачів є екологічно безпечними процесами. Матеріал виготовляється з природних компонентів і не виділяє шкідливих речовин під час експлуатації. Це робить базальтові утеплювачі відмінним вибором для людей, які дбають про навколишнє середовище та здоров'я своїх близьких.

Комфорт і здоров'я – використання базальтових утеплювачів забезпечує комфортний мікроклімат у приміщеннях. Паропроникність матеріалу дозволяє уникнути утворення надлишкової вологи, що сприяє запобіганню розвитку цвілі та грибків. Це особливо важливо для здоров'я мешканців будинку, адже вологість і цвіль можуть викликати алергії та респіраторні захворювання.

Недоліки базальтового утеплювача

Незважаючи на численні переваги, базальтові утеплювачі також мають деякі недоліки.

Вища вартість – порівняно з іншими теплоізоляційними матеріалами, такими як пінопласт або скловата, мають вищу ціну. Це може зробити їх менш привабливим варіантом для тих, хто шукає бюджетних рішень. Проте, з урахуванням довговічності та високої ефективності, ці початкові витрати окуповуються протягом експлуатаційного періоду будівлі.

Вага матеріалу – базальтові утеплювачі мають вищу щільність і, відповідно, більшу вагу порівняно з деякими іншими утеплювачами, такими як пінопласт. Це може створити додаткове навантаження на конструкцію будівлі і вимагати міцнішого кріплення та спеціальних методів монтажу.

Складність монтажу – через більшу вагу і жорсткість базальтових плит їх встановлення може бути складнішим, ніж монтаж легших утеплювачів. Це вимагає додаткового часу і зусиль, а також може збільшити вартість робіт.

Можливість подразнення шкіри та дихальних шляхів – під час роботи з базальтовими утеплювачами, особливо при різанні або монтажі, може виділятися дрібний пил, який може подразнювати шкіру та дихальні шляхи. Це вимагає використання захисного одягу, рукавичок і масок, щоб запобігти можливим негативним наслідкам для здоров'я.

Погане звукоізоляційне співвідношення – хоча базальтові утеплювачі мають добрі звукоізоляційні властивості, вони можуть поступатися спеціалізованим звукоізоляційним матеріалам. Якщо звукоізоляція є пріоритетом, можуть знадобитися додаткові матеріали або заходи.

Обмежена доступність у деяких регіонах – у деяких регіонах доступність базальтових утеплювачів може бути обмеженою через відсутність місцевого виробництва або недостатньо розвинену логістику. Це може збільшити терміни постачання і вартість матеріалів.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на аналіз та вдосконалення виробничих технологій для зменшення вартості базальтового утеплювача, підвищення екологічності виробництва, оптимізації теплотехнічних характеристик матеріалу.

Висновок

Базальтові утеплювачі для стінових панелей є вельми актуальними у сучасному будівництві завдяки своїм винятковим теплоізоляційним властивостям, екологічності та довговічності. Використання цього матеріалу у зовнішньому утепленні будинків забезпечує високу енергоефективність, комфорт і здоров'я мешканців, а також тривалий термін експлуатації будівельних конструкцій. Перспективи розвитку базальтових утеплювачів спонукають до подальшого вдосконалення технологій та розширення сфер їхнього застосування, що робить їх незамінним елементом енергоефективного та екологічного будівництва.

У статті розглянуто основні властивості та характеристики базальтових волокон, а також їх вплив на енергоефективність і екологічність будівельних конструкцій. Однак для подальшого вдосконалення та оптимізації матеріалів для утеплення є необхідність у глибшому аналізі конструктивних елементів сучасних утеплювачів та технологій їх виробництва [14, 15].

У процесі подальших досліджень необхідно провести аналіз технологічних процесів виробництва сучасних утеплювачів, що є ключовим для виявлення можливих шляхів оптимізації та зниження витрат. Вивчення виробничих ліній, їхнього впливу на якість продукту та можливості впровадження нових технологій, таких як автоматизація та використання нових видів сировини, можуть суттєво підвищити ефективність виробництва. Розробка і впровадження нових технологій, які дозволять покращити характеристики утеплювачів, таких як термічна і звукоізоляція,

а також їхню стійкість до впливу навколишнього середовища, є важливим напрямком досліджень. Впровадження інноваційних матеріалів та методів їх обробки може забезпечити створення утеплювачів із ще кращими експлуатаційними властивостями [16, 17].

Подальші дослідження повинні сприяти розвитку нових, більш ефективних і екологічних рішень для утеплення будівель, що відповідатимуть сучасним вимогам до енергоефективності і стійкості.

References

1. Mikroporysta struktura hrubyykh bazaltovykh volokon i yikh strukturni kharakterystyky - Hots V.I., d.t.n., prof., Palchyk P.P., k.t.n., dots., Maistrenko A.A. k.t.n., dots., Berdnyk O.Iu., ass. VI Mizhnarodna konferentsiia. Aktualni problemy inzhenernoi mekhaniky. – Kyiv: KNUBA, 2019.
2. Morkovska, N. «ANALIZ ZASTOSUVANNIA BAZALTU U BUDIVNYTSTVI». InterConf, vyp. 41, 2021, <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/8857>.
3. Malanchuk Z.R., Malanchuk Ye.Z., Korniienko V.Ia. Spetsialni tekhnolohii vydobutku korysnykh kopalyn. Navchalnyi posibnyk. – Rivne : NUVHP, 2017. – 266 s. ISBN 978-966-327-352-5
4. Tekhnolohii uteplennia fasadiv budivel: pidruchnyk. Haiduk O. V., Herliand T. M., Kulalaieva N. V., Pivtoratska N. V., Piatnychuk T. V. – Zhytomyr: «Polissia», 2021. – 362 s.
5. Kinh, M. F. L., Srinivasan, V., & Purushottaman, T. (2014). Volokno bazaltu: Davnii material dlia innovatsiynykh ta suchasnykh zastosovan. Seredno-Skhidnyi zhurnal naukovykh doslidzhen, 22(2), 308-312. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2014.22.02.21872>
6. Di Ruokko, H. (2016). «Volokna bazaltu: zeleni material XXI stolittia dlia stiikoho vidnovlennia istorychnykh budivel», VITRUVIO - Mizhnarodnyi zhurnal arkhitekturnykh tekhnolohii ta staloho rozvytku, 1(2), s. 25–39. <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2016.6984>
7. DBN V.1.2-11:2021 Osnovni vymohy do budivel i sporud. Enerhozberezhennia ta enerhoefektyvnist. – K.: Minrehion Ukrainy, 2022. – 21 s.
8. DBN V.2.6-31:2021. Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel. – K.: Minrehion Ukrainy, 2022. – 27 s.
9. DBN V.2.6-33:2018. Konstruktsii zovnishnykh stin iz fasadnoiu teploizoliatsiieiu. Vymohy do proektuvannia. – K.: Minrehion Ukrainy, 2018. – 25 s.
10. DSTU B V.2.6-34:2008. Konstruktsii budynkiv ta sporud. Konstruktsii zovnishnykh stin z fasadnoiu teploizoliatsiieiu. Klasyfikatsiia y zahalni tekhnichni vymohy. – K.: Minrehion Ukrainy, 2009. – 44 s.
11. DSTU B V.2.6-35:2008. Konstruktsii budynkiv ta sporud. Konstruktsii zovnishnykh stin z fasadnoiu teploizoliatsiieiu ta oporiadzhenniam industrialnymy elementamy z ventylovanym povitrianysh prosharkom. Zahalni tekhnichni umovy. – K.: Minrehion Ukrainy, 2009. – 29 s.
12. DSTU B V.2.6-36:2008. Konstruktsii budynkiv ta sporud. Konstruktsii zovnishnykh stin z fasadnoiu teploizoliatsiieiu ta oporiadzhenniam shtukaturkamy. Zahalni tekhnichni umovy. – K.: Minrehion Ukrainy, 2009. – 35 s.

13. Materialoznavchi rishennia pry zvedenni i rekonstruksii budivel ta sporud : navch. posibnyk / O. V. Kondrashchenko, N. H. Morkovska, S. V. Shapoval, O.V. Yakymenko; Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va im. O. M. Beketova. – Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2019. – 202 s.

14. Yakovenko I.A. Napriamy naukovykh doslidzhen kafedry budivnytstva NUBiP Ukrainy / I.A. Yakovenko, Ye.A. Bakulin // Zb. tez dop. Kh Mizhn. nauk.-tekhn. konf. «Kramarovski chytannia» z nahody 116-yi richnytsi vid dnia narodzhennia d.t.n., prof., chl.-kor. VASHNIL, vitseprez. UASHN V.S. Kramarova (1906–1987) ta 125 richnytsi NUBiP Ukrainy (24–25 liutoho 2023 r., m. Kyiv). – K. : NUBiP Ukrainy, 2023. – S. 488–491.

15. Bakulin Ye.A. Inzhenernyi zakhyst i pidhotovka terytorii: navchalnyi posibnyk; pid redaktsieiu kand. tekhn. nauk Ye.A. Bakulina / Ye.A. Bakulin, I.A. Yakovenko, V.M. Bakulina. – Kyiv : NUBiP Ukrainy, 2022. – 205 s.

16. Bakulin Ye.A. Vyznachennia parametriv napruzhenno-deformovanoho stanu sporudy bashty sylosu ta yii konstruktyvnykh elementiv za naslidkamy ruinuvannia / Ye.A. Bakulin, I.A. Yakovenko, V.M. Bakulina // Achievements of Ukraine and EU countries in technological innovations and invention: collective monograph. – Riga: Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2022. – R. 1–43. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-254-8-1>

17. Bakulin Ye.A. Rezultaty analizu prychnyn ruinuvannia stalevykh ferm pokryttia konvertornoho tsekhu / Ye.A. Bakulin, I.A. Yakovenko, Ye.A. Dmytrenko, V.M. Bakulina // Zbirnyk tez dopovidei 9-oi Mizhnarodnoi nauково-tekhnichnoi konferentsii «Problemy nadiinosti ta dovhovichnosti inzhenernykh sporud ta budivel na zaliznychnomu transporti» (17–19 lystopada, 2021 r., m. Kharkiv). – Kharkiv, UkrDUZT, 2021. – S. 87–88.

Література

1. Мікропориста структура грубих базальтових волокон і їх структурні характеристики - Гоц В.І., д.т.н., проф., Пальчик П.П., к.т.н., доц., Майстренко А.А. к.т.н., доц., Бердник О.Ю., ас. VI Міжнародна конференція. Актуальні проблеми інженерної механіки. – Київ: КНУБА, 2019.

2. Морковська, Н. «АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ БАЗАЛЬТУ У БУДІВНИЦТВІ». InterConf, вип. 41, 2021, <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/8857>.

3. Маланчук З.Р., Маланчук Є.З., Корнієнко В.Я. Спеціальні технології видобутку корисних копалин: навч. посібн. – Рівне: НУВГП, 2017. – 266 с. ISBN 978-966-327-352-5

4. Технології утеплення фасадів будівель: підручник. Гайдук О. В., Герлянд Т. М., Кулалаєва Н. В., Півторацька Н. В., Пятничук Т. В. – Житомир: «Полісся», 2021. – 362 с.: ілюстр. ISBN 978-617-8117-00-9

5. Кінг, М. Ф. Л., Срінівасан, В., & Пурушоттаман, Т. (2014). Волокно базальту: Давній матеріал для інноваційних та сучасних застосувань. Середньо-Східний журнал наукових досліджень, 22(2), 308-312. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2014.22.02.21872>

6. Ді Руокко, Г. (2016). «Волокна базальту: зелений матеріал XXI століття для стійкого відновлення історичних будівель», VITRUVIO - Міжнародний журнал архітектурних технологій та сталого розвитку, 1(2), с. 25–39. DOI: 10.4995/vitruvio-ijats.2016.6984.

7. ДБН В.1.2-11:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність. – К.: Мінрегіон України, 2022. – 21 с.
8. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – К.: Мінрегіон України, 2022. – 27 с.
9. ДБН В.2.6-33:2018. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування. – К.: Мінрегіон України, 2018. – 25 с.
10. ДСТУ Б В.2.6-34:2008. Конструкції будинків та споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Класифікація й загальні технічні вимоги. – К.: Мінрегіон України, 2009. – 44 с.
11. ДСТУ Б В.2.6-35:2008. Конструкції будинків та споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентиляваним повітряним прошарком. Загальні технічні умови. – К.: Мінрегіон України, 2009. – 29 с.
12. ДСТУ Б В.2.6-36:2008. Конструкції будинків та споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови. – К.: Мінрегіон України, 2009. – 35 с.
13. Матеріалознавчі рішення при зведенні і реконструкції будівель та споруд : навч. посібник / О. В. Кондрашенко, Н. Г. Морковська, С. В. Шаповал, О. В. Якименко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 202 с.
14. Яковенко І.А. Напрями наукових досліджень кафедри будівництва НУБіП України / І.А. Яковенко, Є.А. Бакулін // 36. тез доп. X Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віцепрез. УАСГН В.С. Крамарова (1906–1987) та 125 річниці НУБіП України (24–25 лютого 2023 р., м. Київ). – К. : НУБіП України, 2023. – С. 488–491.
15. Бакулін Є.А. Інженерний захист і підготовка території: навчальний посібник; під редакцією канд. техн. наук Є.А. Бакуліна / Є.А. Бакулін, І.А. Яковенко, В.М. Бакуліна. – Київ : НУБіП України, 2022. – 205 с.
16. Бакулін Є.А. Визначення параметрів напружено-деформованого стану споруди башти силосу та її конструктивних елементів за наслідками руйнування / Є.А. Бакулін, І.А. Яковенко, В.М. Бакуліна // Achievements of Ukraine and EU countries in technological innovations and invention: collective monograph. – Riga: Izdevniecība “Baltija Publishing”, 2022. – P. 1–43. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-254-8-1>
17. Бакулін Є.А. Результати аналізу причин руйнування сталевих ферм покриття конверторного цеху / Є.А. Бакулін, І.А. Яковенко, Є.А. Дмитренко, В.М. Бакуліна // Збірник тез доповідей 9-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (17–19 листопада, 2021 р., м. Харків). – Харків, УкрДУЗТ, 2021. – С. 87–88.

Сучасні технології фотограмметрії для перетворення об'єкта на 3D-модель

Modern photogrammetry technologies for object transformation on a 3D model

Гапонова Л.В., к.т.н, доцент, Іванов Є.М. к.т.н., доцент (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків)

Haponova L.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Ivanov E.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Kharkiv national automobile-highway university, Kharkiv)

Сучасні технології фотограмметрії для перетворення об'єкта на 3D– модель, збереження форми об'єкта, його автентичності набувають особливої актуальності під час військової агресії на державу. Проведено вивчення, дослідження об'єктів з використанням сучасних методів візуалізації з метою впровадження у навчальний процес.

The task of preserving architectural monuments, urban planning objects, and engineering structures is prescribed in the Law of Ukraine on the Protection of Cultural Heritage. Within the framework of the modern state of engineering structures and the capabilities of modern software complexes, methods of preservation, visualization, and maximum reproduction of objects in Ukraine are being developed. The model of the bridge was chosen for the visualization studies of the structures. The available and accurate method proposed in the work, which is easy to apply in practice, is the reverse engineering digital photogrammetry method. The process is based on creating a three-dimensional model from two-dimensional photographs using software. With its help, the user uploads a set of photos to Autodesk servers and receives as a result a triangulated model of the object with preservation of all real dimensions and with high-quality textures. The obtained data was subsequently imported for further processing into another program of this family - the Autodesk Inventor package. The Autodesk Inventor package has a convenient interface and a large set of tools for modeling products. To demonstrate the scope and level of processing of ReCap Photo, the options included in the application are demonstrated in the work. The purpose of the article is to develop a sequence of scientific research using digital photogrammetry. Setting the task. Based on the stage of evaluation of priority processes, it is necessary to determine the key directions of research into the digitization of objects and, based on the results of the evaluation, to propose a rational model for the use of the reverse engineering method in the educational and scientific activities of the Department of Computer Graphics. Highlighting previously unsolved parts of the general problem. The Autodesk ReCap application processes DEM data. The

obtained DEM can be used in Autodesk Revit, etc. Autodesk packages for: the design and reconstruction of bridges; reconstruction of damaged housing stock; restoration of damaged infrastructure and much more. The application supports almost all laser scanning file formats. Clouds of points, in addition, can be edited arbitrarily - delete them, copy, highlight, or even add survey points. As a result, it demonstrated the possibility not only of creating technical documentation but also of reconstructing objects with millimeter accuracy. Visualization and design make it possible to exclude possible errors. Due to the identity of the spatial virtual model and the real physical object, the accuracy and quality of the design increase. Digitization of monuments of architecture and cultural heritage of Ukraine, establishment of a legislative framework, and preservation of UNESCO monuments are important scientific and practical tasks. Conclusions and prospects for further developments in this direction. The proposed algorithm makes it possible to use the Autodesk software complex to preserve the cultural heritage of Ukraine. It is worth noting that under safe conditions, the proposed algorithm for visualization of cultural heritage objects will be used in peacetime.

*Ключові слова: фотограмметрія, 3D-модель, автентичність, дизайн, об'єкт.
Keywords: photogrammetry, 3D model, authenticity, design, object.*

Аналіз відомих досліджень і публікацій, де розв'язувались завдання цієї проблеми

Завдання збереження пам'яток архітектури, об'єктів містобудування, інженерних споруд прописані у Законі України про охорону культурної спадщини. В рамках сучасного стану інженерних споруд та спроможності сучасних програмних комплексів розробляються методи збереження, візуалізації та максимального відтворення об'єктів культурної спадщини України. В роботі [1] автори провели обстеження пам'ятки архітектури з використанням обладнання для 3D сканування і фотограмметрії (термін фотограмметрія походить від грецьких слів: photos - світло, gramma - запис, metreo - вимір, отже, його дослівний переклад - вимір світлозапису).

Результатом роботи є трьохмірна модель будівлі зі збереженням усіх фактичних розмірів і текстур, яка в результаті може бути застосована як для детального дослідження дефектів існуючих конструкцій і елементів будівлі, так і в якості підложки для розробки креслень для проекту реконструкції або проекту реставрації. Перспективам застосування фотограмметрії в аудіовізуальному мистецтві присвячена робота авторів О. Акерман, Н. Бедріна [2].

В.В. Білоус, С.П. Боднар у своїй роботі [3] висвітлили основні положення теорії та практики отримання фотограмметричних знімків; особливості побудови зображення кадрових знімків; розглянуті сучасні методи та технічні засоби аерофотознімання, принципи та методи камеральної обробки фотоматеріалів.

Розглянутий в роботах [4 - 14] доступний і точний метод, який легко застосувати на практиці – метод цифрової фотограмметрії реверс-

інжинірингу. Метод заснований на створенні тривимірної моделі з двовірних фотографій за допомогою програмного забезпечення. Користувач завантажує на сервер Autodesk комплект фотографій і отримує в результаті триангульовану просторову модель об'єкта зі збереженням усіх реальних розмірів і з текстурами високої якості. Отримані дані для подальшого опрацювання імпортуються в іншу програму цього сімейства - пакет Autodesk Inventor. Пакет Autodesk Inventor має зручний інтерфейс та великий набір інструментів для моделювання об'єктів.

Мета роботи – впровадження сучасних технологій фотограмметрії реверс-інжинірингу в освітній процес та наукову діяльність кафедри комп'ютерної графіки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

Постановка завдання. Завдання збереження пам'яток архітектури, об'єктів містобудування, інженерних споруд прописані у Законі України про охорону культурної спадщини. Класифікація об'єктів культурної спадщини: археологічні; історичні; об'єкти монументального мистецтва; об'єкти архітектури; об'єкти містобудування; об'єкти садово-паркового мистецтва; ландшафтні; об'єкти науки і техніки.

Воєнний стан в Україні та пов'язані з ним обмеження змусили навчальні заклади перейти на дистанційну форму навчання, що значно ускладнює традиційні методи викладання.

Для студентів інженерно-технічних спеціальностей, які вивчають графічні дисципліни, важливо зберігати доступ до якісних освітніх матеріалів, що допомагають їм опанувати візуальні й технічні навички. Відеоуроки стали одним із основних інструментів у цьому процесі, адже вони дозволяють наочно та детально пояснювати складні графічні концепції навіть за умови відсутності фізичної присутності.

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Для відтворення об'єкта дослідження у вигляді віртуальної моделі використаний метод цифрової фотограмметрії. Зауважимо, об'єкт знаходиться у захисному склі, що ускладнює виконання формування об'ємної моделі. Для формування об'ємної моделі робимо серію знімків, кружляючи навколо реального фізичного об'єкта. Рекомендується робити знімки після кожного невеликого переміщення ($\sim 5^0$) і в місці з постійним освітленням і відсутністю тіней. При цьому на задньому плані не повинно бути рухомих об'єктів.

Під час фотозйомки необхідно зберігати перпендикулярне положення щодо об'єкта. Потрібно змінювати висоту під час кожного кругового проходу, поки не захопиться вся поверхня об'єкта. Фотографії мають бути чіткими і без відблисків, як зображення на рисунку 1.



Рис. 1. Виконання фотозйомки пам'ятника Григорію Сковороді у м. Полтава

Фотограмметрія не потребує дорогого обладнання, можна використовувати звичайний телефон для фотографування об'єкта. Формується база фотографій об'єкта, що цікавить (фотографують об'єкт із різних боків), з подальшим обробленням для визначення просторових координат точок об'єкта.

Програмне забезпечення ReCap Photo [15] – спеціалізований інструмент настільних і хмарних рішень, призначених для створення тривимірної моделі за даними лазерного сканування або фотографіями. З його допомогою користувач може завантажити на сервер Autodesk результат сканування або комплект фотографій і отримати в результаті 3D-модель об'єкта з текстурами високої якості. Щоб оцінити масштаб і рівень опрацювання, досить поглянути на закладені в нього опції, насамперед, додаток підтримує майже всі формати файлів. Хмари точок, крім цього, можна редагувати довільно – видаляти їх, копіювати, підсвічувати або додавати точки обстеження. При цьому отримані дані згодом можуть бути імпортовані в інші програми сімейства Autodesk.

На рисунку 2 наглядно продемонстровано можливість отримання віртуальних моделей з використанням хмарного сервісу Autodesk ReCap Photo.

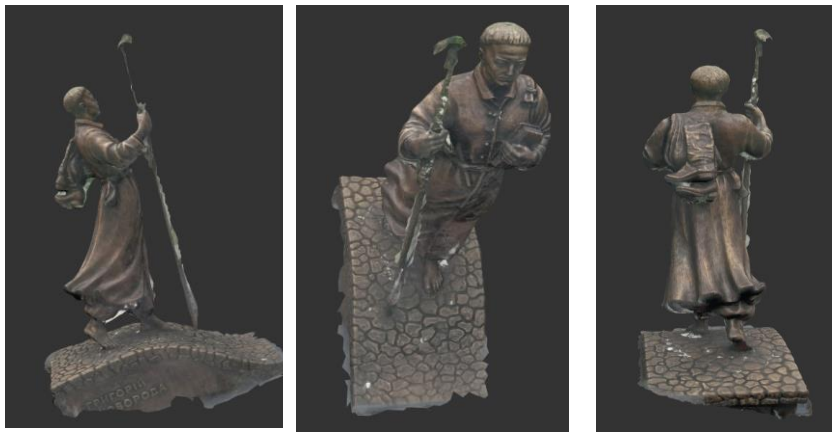


Рис. 2. Віртуальна модель пам'ятника Григорію Сковороді

Autodesk ReCap Pro давно і міцно увійшла в топ популярних додатків завдяки рівню свого виконання і вбудованим опціям. З її допомогою можна не починати роботу з чистого аркуша, а відразу переходити до обробки отриманої триангульованої просторової моделі об'єктів культурної спадщини. Це програмне забезпечення складається з двох додатків. Додаток Autodesk ReCap Photo є хмарним сервісом. Autodesk ReCap Photo дає змогу завантажувати масиви фотографій на сервер Autodesk (рис.3).



Рис. 3. Цифрові моделі поверхонь об'єкта (міст)

Як видно, разом із 3D-моделлю об'єкта (міст) оброблено багато зайвої інформації. Застосовуючи інструменти редагування, рекомендується видалити всю зайву інформацію для зменшення кількості точок обстеження (рис. 4).



Рис. 4. Редагування цифрових моделей поверхонь

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми

Додаток Autodesk ReCap обробляє дані цифрової моделі пам'яті (ЦМП). Отримані ЦМП можна використовувати в Autodesk Revit та ін. пакетах Autodesk для: проектування та відбудови мостів; відбудови пошкодженого житлового фонду; відновлення пошкодженої інфраструктури та для багатьох інших.

Завдяки ідентичності ЦМП та реального об'єкта, точність та якість проектування підвищується. Dodatok підтримує майже всі формати файлів. Хмари точок, крім цього, можна редагувати довільно – видалити їх, копіювати, підсвічувати або навіть додавати точки обстеження. У результаті продемонстровано можливість проводити реконструкції об'єктів з достатнім ступенем точності. Цифровізація пам'яток архітектури, культурної спадщини України, встановлення законодавчої бази, збереження пам'яток ЮНЕСКО є важливими науковими та практичними завданнями.

Висновки та перспективи подальших розробок у цьому напрямку

Виконано впровадження проведених досліджень нових технологій і методик, які покращують процес навчання та наукові дослідження, а саме: адаптація дистанційних курсів, особливо для практичних занять; отримання практичних навичок побудови віртуальних просторових моделей пам'яток архітектури, об'єктів містобудування, інженерних споруд культурної спадщини з можливістю відновлення та реконструкції на основі реальних об'єктів з високим ступенем точності; вивчення можливостей використання віртуальної реальності, інтерактивних симуляцій та інших інноваційних рішень.

Опанування сучасними технологіями фотogramметрії з використанням програмного комплексу Autodesk, під час перетворення об'єкта на віртуальні просторові моделі, у майбутніх фахівців формує здатність творчо мислити та розвиває просторову уяву, що необхідна при професійній підготовці студентів.

References

1. Markova M, Kravchenko D. Zastosuvannya 3D fotogrammetriyi dlya obstezhennya ob'ektiv kulturnoyi spadshini // Visnik Pridniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnictva ta arhitekturi, 2018, No 1. S.90-95. <http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/141162>
2. Akerman O., Bedrina N. Zastosuvannya fotogrammetriyi v audiovizualnomu mistectvi (na prikladi OPP "Reklama ta videoart" u HDADM) // Ukrayinskij zhurnal z mistectva i dizajnu. HUDPROM, 2023, XXV(2). S.108-114.
3. Bilous V.V., Bodnar S.P. Fotogrammetriya. Navchalnij posibnik. – K.: Kiyivskij nacionalnij universitet imeni Tarasa Shevchenka, 2021 r. – 137 s
4. Ye. M. Ivanov. Zastosuvannya fotogrammetriyi pri zvorotnomu proektuvanni ob'ektiv mashinobudovnoyi galuzi. // Visnik Nacionalnogo tehnicnogo universitetu «HPI». Seriya: Mashinoznavstvo ta SAPR. №1.S.52-57.2024 <http://misapr.khpi.edu.ua/article/view/301604>.
5. Ivanov Ye.M. Mist ta hmarni servisi // Vseukrayinska naukova konferenciya «MOSTI: SUCHASNIJ STAN TA PERSPEKTIVI ROZVITKU. Prisyachenoyi do 120-richchya vid dnya narodzhennya Volodimira Oleksijovicha Rosijskogo», Harkiv, 7-8 grudnya 2023 r.: Tezi dopovidej. Harkiv: HNADU, 2023. S12-15.
6. Vanin V.V. Oformlennya konstruktors`koyi dokumentaciyi: navch. posib. / V. V. Vanin, A. V. Bliok, G. O. Gnitez`ka. - K.:Karavela, 2018. - 200 s.
7. Dorozhy`ns`ky`j O.L. Fotogrammetriya: Pidruchny`k / O.L. Dorozhy`ns`ky`j, R. Tukaj. - L`viv: Vy`d-vo L`viv. politexniky`, 2008. - 332 s.
8. Dorozhy`ns`ky`j O.L. Fotogrammetriya ta dy`stancijne zonduvannya: pidruchny`k / O. L. Dorozhy`ns`ky`j; M-vo osvity` i nauky` Ukrainy`, Nacz. un-t «L`viv. politexnika». – L`viv:Vy`d-vo L`viv. politexniky`, 2019. – Kn. 1. – 176 s.: il.
9. Pen`kov V. O. Fotogrammetriya: konspekt lekcij dlya ba-kalavriv special`nosti 193 – Geodeziya ta zemleustrij) / V. O. Pe-n`kov; Xarkiv. nacz. un-t mis`k. gosp-va im. O. M. Beketova. – Xarkiv : XNUMG im. O. M. Beketova, 2019. – 100 s.
10. Autodesk Inventor 2022 Basics Tutorial: Sketching, Part Modeling, Assemblies, Drawing, Sheet Metal, Model-Based Dimensioning, and Frame Generator Paperback. Independently published, 2021. 235 p.
11. Banach Daniel T. Autodesk Inventor 2022 Essentials Plus / Daniel T. Banach, Travis Jones, Shawna Lockhart. – New York. 2021. – 550 r.
12. Scott Hansen. Autodesk Inventor 2022: A Tutorial Introduction.SDC Publications, 2021. 490 p.
13. DSTU ISO 1122-1:2006 Peredachi zubchasti. Slovny`k terminiv. Chasty`na 1. Vy`znachennya, shho stosuyut`sya geometriyi (ISO 1122-1:1998, IDT).
14. Cyganek, B. An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms / B. Cyganek, J. Siebert // John Wiley & Sons, 2009. – R. 59-60, 194-196.

15. Ліцензійне програмне забезпечення Autodesk ReCap Pro:
<https://bimpartner.com.ua/recap-pro/>.

Література

1. Маркова М, Кравченко Д. Застосування 3D фотограмметрії для обстеження об'єктів культурної спадщини // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, 2018, № 1. С.90-95.
<http://visnyk.pgasa.dp.ua/article/view/141162>
2. Акерман О., Бедрина Н. Застосування фотограмметрії в аудіовізуальному мистецтві (на прикладі ОПП “Реклама та відеоарт” у ХДАДМ) // Український журнал з мистецтва і дизайну. ХУДПРОМ, 2023, XXV(2). С.108-114.
3. Білоус В.В., Боднар С.П. Фотограмметрія. Навчальний посібник. – К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2021 р. – 137 с.
4. Є. М. Іванов. Застосування фотограмметрії при зворотному проектуванні об'єктів машинобудівної галузі. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР.№1.С.52-57.2024
<http://misapr.khpi.edu.ua/article/view/301604>
5. Іванов Є.М. Міст та хмарні сервіси // Всеукраїнська наукова конференція «МОСТИ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ». Присвяченої до 120-річчя від дня народження Володимира Олексійовича Російського», Харків, 7-8 грудня 2023 р.: Тези доповідей. Харків: ХНАДУ, 2023. С12-15.
6. Ванін В.В. Оформлення конструкторської документації: навч. посіб. / В. В. Ванін, А. В. Блюк, Г. О. Гнітецька. - К.: Каравела, 2018. - 200 с.
7. Дорожинський О.Л. Фотограмметрія: Підручник / О.Л. Дорожинський, Р. Тукай. - Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2008. -332 с.
8. Дорожинський О.Л. Фотограмметрія та дистанційне зондування: підручник / О. Л. Дорожинський; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2019. –Кн. 1. –176 с.: іл.
9. Пеньков В. О. Фотограмметрія: конспект лекцій для бакалаврів спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій) / В. О. Пеньков; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 100 с.
10. Autodesk Inventor 2022 Basics Tutorial: Sketching, Part Modeling, Assemblies, Drawing, Sheet Metal, Model-Based Dimensioning, and Frame Generator Paperback. Independently published, 2021. 235 p.
11. Banach Daniel T. Autodesk Inventor 2022 Essentials Plus / Daniel T. Banach, Travis Jones, Shawna Lockhart. – New York. 2021. – 550 p.
12. Scott Hansen. Autodesk Inventor 2022: A Tutorial Introduction.SDC Publications, 2021. 490 p.
13. ДСТУ ISO 1122-1:2006 Передачі зубчасті. Словник термінів. Частина 1. Визначення, що стосуються геометрії (ISO 11221:1998, IDT).
14. Cyganek, B. An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms / B. Cyganek, J. Siebert // John Wiley & Sons, 2009. – P. 59-60, 194-196.
15. Ліцензійне програмне забезпечення Autodesk ReCap Pro:
<https://bimpartner.com.ua/recap-pro/>.

Підвищення міцності деревини автоклавним просоченням ляноюю олією

Increasing wood strength through autoclave impregnation with linseed oil

Гомон Св.Св., д.т.н., професор, Довбенко Т.О., к.т.н, доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), Петренко О.В., к.т.н., ст. викладач (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів)

Homon S.S., doctor of technical sciences, professor, Dovbenko T.O., candidate of technical sciences, associate professor, (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), Petrenko O.V., PhD (Tech.), Senior Lecturer (Lviv Polytechnic National University, Lviv)

Наведено результати теоретичного аналізу застосування засобів та способів просочення деревини для підвищення її міцності на стиск уздовж волокон. Обґрунтовано використання імпрегнату на основі ляної олії за допомогою двостадійного способу «тиск-вакуум». Проведено експериментальні дослідження з просочення зразків сосни, берези та ялини запропонованим засобом та обґрунтованим способом. За результатами механічних випробувань на стиск вздовж волокон зразків деревини прикладанням короткочасного навантаження за жорсткого режиму визначено приріст міцності деревини, просоченої запропонованим засобом і технологією модифікації.

Wood, due to its high strength characteristics, aesthetic and other parameters, does not lose its relevance in use until now. However, due to the influence of aggressive environments, biological and atmospheric adverse factors, the characteristics and terms of effective operation of wood are reduced. For more effective use of wood, it is necessary to improve its physical and mechanical characteristics.

One of the ways to improve the physical and mechanical characteristics of wood and prolong the terms of its effective operation under the influence of aggressive environments, biological and atmospheric adverse factors is modification by impregnation with an impregnate - a substance that, penetrating into the pores of wood, improves its characteristics. Materials for impregnation - impregnates have also been studied quite widely. Substances are used for impregnation, which are classified by origin. Each group of materials for impregnation has certain inherent advantages and disadvantages. Existing methods of autoclave impregnation of wood, which ensure the maximum depth of

penetration of the impregnate and the speed of its drying (polymerization), have been analyzed. This paper presents the results of a theoretical analysis of methods and techniques for impregnating wood to enhance its compressive strength along the grain. The use of a linseed oil-based impregnating agent via a two-stage "pressure-vacuum" process is substantiated. Experimental studies were conducted on the impregnation of pine, birch, and spruce samples using the proposed agent and justified method. Based on mechanical tests of wood samples subjected to short-term compressive loads along the grain under rigid conditions, an increase in the strength of wood impregnated with the proposed agent and modification technology was determined.

Ключові слова: модифікація деревини, автоклавне просочення, лляна олія, міцність, стиск.

Keywords: wood modification, autoclave impregnation, linseed oil, strength, compression.

Вступ. Деревина завдяки високим характеристикам міцності, естетичним та іншим параметрам на втрачає актуальності у застосуванні дотепер. Проте внаслідок впливу агресивних середовищ, біологічних та атмосферних несприятливих чинників характеристики та терміни ефективної експлуатації деревини знижуються. Для більш ефективного застосування деревини необхідне покращення її фізико-механічних характеристик.

Огляд досліджень. Одним зі способів покращення фізико-механічних характеристик (ФМХ) деревини та пролонгації термінів її ефективної експлуатації в умовах дії агресивних середовищ, біологічних та атмосферних несприятливих чинників є модифікація шляхом просочення імпрегнатом – речовиною, яка, проникаючи в пори деревини, покращує її характеристики [1-3].

Такий спосіб модифікації не новий. Численна низка науковців досліджувала як матеріали для імпрегнації, так і способи просочення [1-3]. Розроблені і з успіхом використовуються технологічні регламенти та нормативні документи, як в Україні, так і в країнах Європи та США.

Матеріали для просочення – імпрегнати досліджені також доволі широко. Для просочення застосовують речовини, які класифікують за походженням. Кожна група матеріалів для просочення має певні притаманні їй переваги та недоліки [1-13].

1. **Натуральні засоби – олії.** Переваги: екологічність виготовлення, нанесення, експлуатації та утилізації. Недоліки: конкуренція сировинної бази з харчовою промисловістю, висока вартість, при застосуванні у немодифікованому вигляді – недостатньо високі показники ФМХ

покриттів, біологічної стійкості та деяких технологічних параметрів при використанні (в'язкість, глибина проникнення, швидкість полімеризації).

2. Матеріали природного та переробного походження – продукти переробки викопних речовин (нафти, кам'яного вугілля тощо), матеріалів природного походження (переробка деревини при виготовленні целюлози) та відходів виробництва (переробка автомобільних покришок, відпрацьованого мастила тощо). Переваги: низька вартість, широка сировинна база, можливість модифікації для надання бажаних технологічних та експлуатаційних характеристик. Недоліки: низька екологічність, високий вміст летких органічних речовин (ЛОР).

3. Синтетичні полімери. Переваги: широкий спектр характеристик, можливість застосування у вигляді водних дисперсій, низький вміст ЛОР. Цінова ніша та екологічність у синтетичних полімерів – середні значення поміж натуральними матеріалами та продуктами природного і переробного походження.

Вибір матеріалів певної групи проводять, керуючись основною метою. Для досягнення високих комплексних технологічних та експлуатаційних показників (глибина проникнення, ФМХ, біологічна та атмосферна стійкість, довговічність) застосовують синтетичні матеріали – акрилові, стиролакрилові, поліуретанові, епоксидні, кремнійорганічні, фенолформальдегідні та інші. При цьому дещо страждають екологічні та економічні показники. Для підвищення економічних показників (здешевлення) використовують засоби на основі природних викопних матеріалів та продуктів переробки – бітуми, асфальти, пеки та інші. При цьому знижується екологічність, окремі продукти містять канцерогени, а технологічні та експлуатаційні показники набувають середніх значень.

Світова практика застосування імпрегнатів та покриттів для деревини демонструє стабільне зростання екологічно чистих продуктів з використанням біологічних ресурсів та круговою економікою – мінімальним впливом на довкілля при виготовленні, влаштуванні, експлуатації та утилізації. Це натуральні олії: лляна, тунгова, касторова (рицинова), соєва, сафлорова, соняшникова, кокосова та інші. Вартість натуральних олій вища, ніж у синтетичних та природних матеріалів. Технологічні та експлуатаційні характеристики немодифікованих олій середні. Для покращення цих характеристик застосовують імпрегнати, у склад яких вводять крім олій добавки: для зниження в'язкості та збільшення глибини проникнення - розчинники природного походження (живичний скипидар), для пришвидшення висихання та збільшення твердості плівки – сикативи (органічні солі металів кобальту, марганцю, кальцію, цирконію, церю ін.).

Властивості просоченої деревини крім імпрегнату залежать також від технології просочення. Найпростіший спосіб – поверхневого нанесення за

допомогою пензля, валика або шляхом розпилення зазвичай не дозволяє просочити деревину на глибину понад 2...3 мм. При температурі нанесення і висихання 20°C полімеризація засобу для покриття відбувається під впливом атмосферного середовища, тому процес полімеризації може бути тривалим [11, 12]. Так відомо, що немодифікована лляна олія за нормальних умов полімеризується шляхом поверхневого висихання протягом 200...300 годин. Створення тиску або вакууму при влаштуванні покриття дозволяє суттєво збільшити глибину просочення, яка може сягати до 20 мм. Підвищення температури при просоченні дозволяє прискорити полімеризацію і підвищити якість плівки (матриці) покриття.

Мета проведеного дослідження – визначити приріст міцності деревини, просоченої запропонованим засобом із застосуванням обгрунтованого способу.

Результати досліджень. При реалізації першої групи задач (підборі імпрегнату) не виявлено єдиного засобу, який відповідав би усьому комплексу бажаних характеристик. Тому прийнято рішення, незважаючи на ускладнення технологічного регламенту, проводити просочення у два етапи із застосуванням двох типів імпрегнатів – праймерного та фінішного. При виборі імпрегнатів виходили з таких умов: речовина для фінішного модифікування окрім основних фізико-механічних, триботехнічних, органолептичних характеристик повинна мати максимально натуральне походження, мінімально виділяти ЛОР у процесі експлуатації. Такою поширеною, доступною, детально вивченою та конкурентно-спроможною речовиною є лляна олія. Деревина, просочена натуральною лляною олією, набуває високих ФМХ, термін її експлуатації значно подовжується.

При виборі матеріалу для праймерного просочення проаналізовано речовини, які при глибокій імпрегнації, надають деревині деякі характеристики, вищі, ніж при просоченні лляною олією. Так наприклад, доступна дигтарна олія (продукт перегонки кам'яновугільної смоли – побічного продукту коксування вугілля), модифікована живичним скипидаром та борною кислотою, має кращу проникність та антисептуючі властивості, незначно поступаючись міцності лляній олії. Ще одна суттєва перевага дигтарної олії – низька вартість. Недостатня екологічність дигтарної олії нівелюється тим, що під час експлуатації її контакт з навколишнім середовищем обмежує фінішний шар лляної олії.

Тому для проведення досліджень прийнято дві стадії імпрегнації: праймером – глибокопроникною антисептуючою дигтарною олією, модифікованою скипидаром та борною кислотою (2%) та фінішною натуральною лляною олією.

При реалізації другої групи задач – підборі способу просочення проаналізовано відомі автоклавні способи просочення деревини [4]:

“вакуум – тиск – вакуум” (ВТВ); “тиск – тиск – вакуум” (ТТВ); “вакуум – атмосферний тиск – вакуум” (ВАТВ); “тиск - вакуум” (ТВ);

Процес ВТВ (повного поглинання або спосіб Бетела) проводять у такій послідовності: після завантаження автоклава деревиною створюють повітряний вакуум та витримують деревиною у вакуумі; заповнюють автоклав імпрегнатом, створюють рідинний тиск та витримують деревиною в рідині під тиском; скидають тиск до значень атмосферного та зливають залишки не просоченого імпрегнату з автоклава; створюють повітряний вакуум та витримують деревиною у вакуумі; підвищують тиск до атмосферного (скидають вакуум) та розвантажують деревиною із автоклава.

Просочування імпрегнатом відбувається під час витримки деревини під тиском. Початковий вакуум покращує поглинання деревиною імпрегнату та підвищує глибину просочення завдяки видаленню повітря, яке перешкоджає руху засобу, з порожніх клітин деревини. Повторним вакуумом підсушують поверхню сортиментів. Спосіб ВТВ застосовують здебільшого для просочування деревини водорозчинними речовинами у великій кількості (загальне поглинання 50–80 кг сухої речовини на 1 м³ деревини), а також для підвищеного поглинання олійних імпрегнатів. Глибина просочення залежить від характеристик деревини та режимів процесу: глибини вакууму 0,08...0,0085 МПа (600 мм рт. ст.), тиску 0,6...1,5 МПа (6...15 бар) та температури водорозчинного імпрегнату 20...60°C (для олій 85...95°C), тривалості витримки під вакуумом 0,25...0,35 год., під тиском 0,5...0,8 год. [6].

Спосіб обмеженого поглинання ТТВ (сухий) проводять у такій послідовності: завантаження автоклава, створення повітряного тиску 0,20–0,40 МПа та витримка сортиментів протягом 0,25 год.; заповнення автоклава імпрегнуючим засобом, піднімання рідинного тиску та витримка деревини в рідині під тиском; вирівнювання тиску до атмосферного (скидання тиску); зливання імпрегнату; створення вакууму та витримка під вакуумом; скидання вакууму до атмосферного тиску та розвантаження автоклава.

Особливістю сухого способу ТТВ є попередня витримка деревини під дією надлишкового повітряного тиску, за якого в порожнини деревини потрапляє додаткове повітря, яке в кінці процесу під час витримки деревини під вакуумом 0,08 МПа протягом 0,75год. (3 рази по 0,25год.) виходить назовні, виштовхуючи також частину поглинутого імпрегнату. Спосіб ТТВ придатний для просочення деревини високотоксичними антисептиками (пентахлорфенолом та нафтенату міді), для економії просочувальних засобів та відсутності необхідності надлишку вискоєфективного імпрегнату.

Рідинний спосіб ТТВ базується на використанні вакууму 0,09 МПа (0,9 бар), який створюють в заповненому імпрегнатом автоклаві. Такий

спосіб придатний як для просочення деревини засобами для підвищення її ФМХ [5, 7-10], так і водорозчинними препаратами, наприклад хромоміднофтористим. Величина рідинного надлишкового тиску при способі ТТВ становить 1,1 МПа, тривалість витримки під тиском 1,0...1,5 год. Температуру імпрегнату підтримують на рівні точки його кипіння у вакуумі. За цих умов глибина просочення в ядрову зону сортименту збільшується в 1,5 рази порівняно з іншими багатоцикловими способами та удвічі порівняно із способом ВТВ [6]. Способи ТТВ та ВТВ тривалі та технологічно складні.

Спосіб тиск-вакуум ТВ напівобмеженого поглинання або спосіб Лаурі полягає в уведенні просочувальної рідини у деревину під надлишковим тиском 0,5...2,0 МПа протягом 0,5...1,0 год., а після зливання імпрегнату деревину витримують у вакуумі -0,08...-0,09МПа. Технологічно простий порівняно з ТТВ та ВТВ спосіб ТВ при просочуванні оліями дозволяє досягти глибокого просочення та значного поглинання за масою, проте меншого, ніж при ВТВ.

Порівняно новий вакуумний спосіб ВАТВ дозволяє використовувати автоклави (герметичні резервуари) спрощених, не розрахованих на високий тиск конструкцій. Просочувальну речовину вводять в автоклав після сухого вакуумування (глибиною 0,08–0,09 МПа протягом 0,25...0,3 год.) за дії атмосферного тиску, який є надлишковим відносно від'ємного тиску всередині деревини. Після заповнення автоклава просочувальною рідиною тиск вирівнюють до атмосферного. Просочування відбувається протягом 0,5...1,0 год. за дії атмосферного тиску. Після просочення імпрегнат зливають і повторно створюють короточасний вакуум для підсушування поверхні сортиментів. Способом ВАТВ вводять у деревину обмежену кількість просочувальної рідини на невелику глибину: 5...10 мм по заболоні, 1...2 мм по ядру.

Для проведення експериментальних досліджень при просоченні зразків деревини у два етапи (праймерний та фінішний) прийнято спосіб напівобмеженого поглинання за принципом «тиск – вакуум» або спосіб Лаурі. Прийнятий спосіб ТВ характеризується скороченим циклом та дозволяє досягнути глибокого просочення двома видами імпрегнату. Просочення цим способом проводили в спеціальному автоклаві у три стадії:

1. Холодне просочення праймером під дією надлишкового тиску 1,0 МПа, 1,5 МПа та 2,0 МПа з витримкою кожної ступені 0,5 год.
2. Скидання надлишкового тиску, зливання залишків неімпрегнованого праймеру та заливання фінішного імпрегнату – лляної олії.
3. Вакуумування за тиску 0,08 МПа з витримкою при температурі 60, 75 та 90°C протягом 0,5 год.

Комплексний вплив вакуумування і підвищеної температури на третій стадії дозволив знизити в'язкість як праймеру, так і фінішного імпрегнату для більш глибокого просочення, а також пришвидшив полімеризацію лляної олії, нагадаємо, що лляна олія за нормальних умов висихає до ступеня 2 протягом 7...12 діб.

Випробовували дев'ять серій по три зразки для кожної породи деревини: сосни звичайної (*Pinus sylvestris*), берези (*Betula pendula*) та ялини (*Picea abies*) віком приблизно 60 років. Для уникнення спотворень результатів, які могли виникнути при проміжному скиданні тиску, процедуру просочення за режиму «тиск – вакуум (нагрівання)» проводили окремо для кожної з дев'яти серій зразків. У лабораторний автоклав завантажували по три зразки кожного виду деревини, усього по дев'ять зразків для кожного з дев'яти циклів випробувань.

Після проведення просочення зразки-призми випробовували на стиск вздовж волокон прикладанням короткочасного навантаження за жорсткого режиму за приростом переміщень плити пресу відповідно до нормативних документів [13]. Міцність приймали як середнє арифметичне значення трьох зразків кожної серії. Значення міцності порівнювали з результатами випробування еталонних зразків кожного виду деревини, які не були піддані автоклавному просоченню. Результати випробування на міцність за стиску вздовж волокон наведені на рис.1...3 для кожного виду деревини.

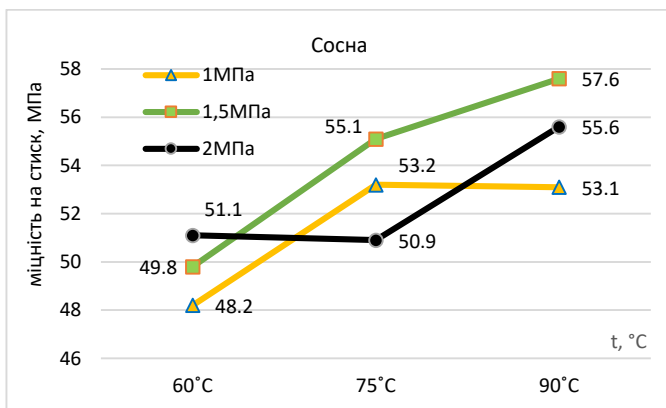


Рис.1. Міцність на стиск вздовж волокон зразків сосни, просоченої комплексним імпрегнатом, залежно від температури та тиску

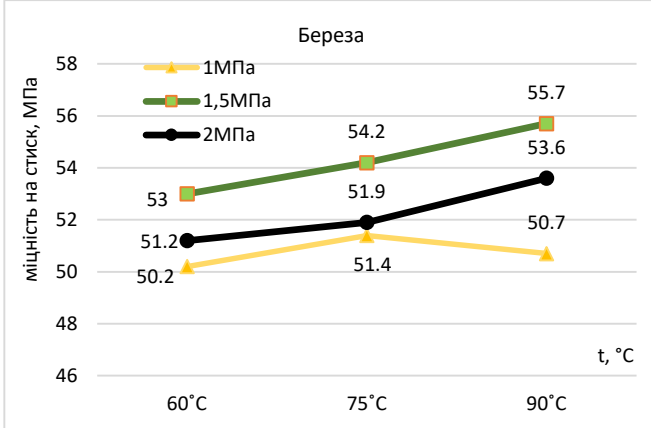


Рис.2. Міцність на стиск вздовж волокон зразків берези, просоченої комплексним імпрегнатом, залежно від температури та тиску

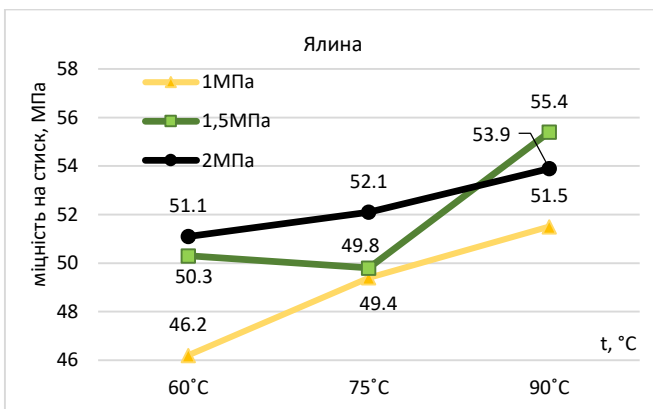


Рис.3. Міцність на стиск вздовж волокон зразків ялини, просоченої комплексним імпрегнатом, залежно від температури та тиску

Як видно з рис.1, рис.2, рис.3 завдяки автоклавному просоченню способом ТВ міцність деревини на стиск вздовж волокон підвищується. Значення підвищення міцності залежно від температури та тиску просочення відносно непросочених зразків наведено у табл.1.

Як видно з таблиці, завдяки автоклавному просоченню способом ТВ приріст міцності зразків становить: для сосни від 6,4% до 27,2 %, для берези

від 8,9% до 20,8% для ялини від 6,0% до 27,1%. Найбільші значення приросту міцності спостерігали за тиску 1,5 МПа та температури 90⁰С.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

Порода деревини	Серія зразків	Температура, ⁰ С	Тиск, МПа	Приріст міцності, %
1	2	3	4	5
Сосна	С-20-0 еталон	20	атмосферний	0
	С-60-1,0	60	1,0	6,4
	С-60-1,5	60	1,5	9,9
	С-60-2,0	60	2,0	12,8
	С-75-1,0	75	1,0	17,4
	С-75-1,5	75	1,5	21,6
	С-75-2,0	75	2,0	12,4
	С-90-1,0	90	1,0	17,2
	С-90-1,5	90	1,5	27,2
С-90-2,0	90	2,0	22,7	
Береза	Б-20-0 еталон	20	атмосферний	0
	Б-60-1,0	60	1,0	8,9
	Б-60-1,5	60	1,5	15,0
	Б-60-2,0	60	2,0	11,1
	Б-75-1,0	75	1,0	11,5
	Б-75-1,5	75	1,5	17,6
	Б-75-2,0	75	2,0	12,6
	Б-90-1,0	90	1,0	10,0
	Б-90-1,5	90	1,5	20,8
Б-90-2,0	90	2,0	16,3	
Ялина	Я-20-0 еталон	20	атмосферний	0
	Я-60-1,0	60	1,0	6,0
	Я-60-1,5	60	1,5	15,4
	Я-60-2,0	60	2,0	17,2
	Я-75-1,0	75	1,0	13,3
	Я-75-1,5	75	1,5	14,2
	Я-75-2,0	75	2,0	19,5
	Я-90-1,0	90	1,0	18,1
	Я-90-1,5	90	1,5	27,1
Я-90-2,0	90	2,0	23,6	

Висновки

1. За результатом аналізу досліджень різних авторів встановлено, що можливо підвищити фізико-механічні характеристики (ФМХ) деревини, зокрема, міцність на стиск уздовж волокон шляхом імпрегнації (просочення) різноманітними матеріалами. Згідно з класифікацією за походженням, матеріали для імпрегнації наділені певними перевагами та недоліками. Не встановлено єдиного матеріалу для просочення (імпрегнату), який максимально відповідав би усім вимогам.

2. Проаналізовано існуючі способи автоклавного просочення деревини, які забезпечують максимальну глибину проникнення імпрегнату та швидкість його висихання (полімеризації).

3. На основі аналізу існуючих засобів та способів просочення запропоновано спосіб просочення «тиск-вакуум», комплексним засобом, який складається із праймерного імпрегнату на основі дігтярної олії, живичного скипидару та борної кислоти, а також фінішного імпрегнату з натуральної лляної олії. Вказаний комплексний засіб при запропонованому способі просочення поєднує переваги розглянутих засобів та способів просочення деревини.

4. У лабораторних умовах проведено автоклавне просочення зразків сосни, берези та ялини способом «тиск-вакуум» запропонованим комплексним засобом для визначення оптимальних параметрів просочення.

5. Проведено механічні випробування на тиск вздовж волокон прикладанням короткочасного навантаження за жорсткого режиму і визначено приріст міцності просоченої деревини відносно непросоченої, який максимально становив: для сосни 27%, для берези 21%, для ялини 27% за тиску просочення 1,5 МПа та температурі 90⁰С.

References

1. Hill C. (2011). Wood modification: An update. *BioResources*, 6 (2), Pp. 918–919.
2. Sandberg D., Kutnar A., Mantanis G. (2017). Wood modification technologies - a review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 10(6), Pp. 895-908.
3. Homon S.S., Savchuk V.O., Mel'nyk YU.O., Vereshko O.V. Oblast' zastosuvannya ta sposoby modyfikatsiyi kompozytsiynykh materialiv na osnovi derevyny. Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Luts'k: LNTU, 2019. Vyp. 12. S. 44–50.
4. Peretyatko B., Havrylko O., Bilins'kyu B., 2019. Analiz tekhnolohichnykh skhem prosochennya derevyny u avtoklavnykh pechakh. *Visnyk Natsional'noho universytetu "L'vivs'ka politekhnika"*. Seriya: Teoriya i praktyka budivnytstva 912, 139–145.
5. Yasniy, P., Homon, S., Iasnii, V, Gomon, S.S., Gomon, P., Savitskiy, V. (2022). Strength properties of chemically modified solid woods. *Procedia Structural Integrity*, 36, 211-216.
6. Rudavska, A., Maziarz, M., Šajgalí, M., Valášek, P., Zlamal, T., Iasnii, V., 2018. The influence of selected factors on the strength of wood adhesive joints. *Advances in Science and Technology* 12(3), 47–54.
7. Yasniy P., Gomon S. Timber with improved strength and deformable properties. *Scientific Journal of Ternopil National Technical University*. Ternopil: TNTU, 2020. Vol. 99. No3. P. 17–27.
8. Homon S.S., Homon S.S., Zinchuk A.V. Doslidzhennya modyfikovanoyi sylorom kleynoyi derevyny na styk vzdovzh volokon. *Visti Donets'koho hirnychoho instytutu*. Pokrovs'k: DVNZ «Donents'kyu NTU», 2017. №1(40). S. 134–138.
9. Gomon S.S., Savchuck V.O., Melnyk Yu.A., Vereshko O.V. Modern testing machines for investigation of wood and timber-based composite materials. *Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*. Луцьк, 2020. Вип.14. С. 73-80.

10. Homon S.S., Homon S.S., Zinchuk A.V. Deformatyvništ' modyfikovanoyi sylorom kleynoyi derevyny za roboty na stysk vzdovzh volokon. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2017. Vyp. 34. S. 110–117.
11. Wexler H. Polymerization of Drying Oils. Chem. Rev. 1964, 64, 591–611.
12. Arminge, B.; Jaxel, J.; Bacher, M.; Gindl-Altmutter, W.; Hansmann, C. On the Drying Behavior of Natural Oils Used for Solid Wood Finishing. Prog. Org. Coat. 2020, 148, 105831.
13. DSTU ISO 3129:2015 Derevyina. Metody vidboru zrazkiv i zahal'ni vymohy do fizyko-mekhanichnykh vyprobovan' nevelykykh bezdefektnykh zrazkiv.

Література

1. Hill C. (2011). Wood modification: An update. *BioResources*, 6 (2), Pp. 918–919.
2. Sandberg D., Kutnar A., Mantanis G. (2017). Wood modification technologies - a review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 10(6), Pp. 895-908.
3. Гомон С.С., Савчук В.О., Мельник Ю.О., Верешко О.В. Область застосування та способи модифікації композиційних матеріалів на основі деревини. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк: ЛНТУ, 2019. Вип. 12. С. 44–50.
4. Перетятко Б., Гаврилко О., Білінський Б., 2019. Аналіз технологічних схем просочення деревини у автоклавних печах. Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Серія: Теорія і практика будівництва 912, 139–145.
5. Yasniy, P., Homon, S., Iasnii, V, Gomon, S.S., Gomon, P., Savitskiy, V. (2022). Strength properties of chemically modified solid woods. *Procedia Structural Integrity*, 36, 211-216.
6. Rudavska, A., Maziarz, M., Šajgalí, M., Valášek, P., Zlamal, T., Iasnii, V., 2018. The influence of selected factors on the strength of wood adhesive joints. *Advances in Science and Technology* 12(3), 47–54.
7. Yasniy P., Gomon S. Timber with improved strength and deformable properties. *Scientific Journal of Ternopil National Technical University*. Ternopil: TNTU, 2020. Vol. 99. No3. P. 17–27.
8. Гомон С.С., Гомон С.С., Зінчук А.В. Дослідження модифікованої силором клеєної деревини на стиск вздовж волокон. Вісті Донецького гірничого інституту. Покровськ: ДВНЗ «Донецький НТУ», 2017. №1(40). С. 134–138.
9. Gomon S.S., Savchuck V.O., Melnyk Yu.A., Vereshko O.V. Modern testing machines for investigation of wood and timber-based composite materials. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк, 2020. Вип.14. С. 73-80.
10. Гомон С.С., Гомон С.С., Зінчук А.В. Деформативність модифікованої силором клеєної деревини за роботи на стиск вздовж волокон. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2017. Вип. 34. С. 110–117.
11. Wexler, H. Polymerization of Drying Oils. Chem. Rev. 1964, 64, 591–611.
12. Arminge, B.; Jaxel, J.; Bacher, M.; Gindl-Altmutter, W.; Hansmann, C. On the Drying Behavior of Natural Oils Used for Solid Wood Finishing. Prog. Org. Coat. 2020, 148, 105831.
13. ДСТУ ISO 3129:2015 Деревина. Методи відбору зразків і загальні вимоги до фізико-механічних випробувань невеликих бездефектних зразків.

Використання клеєної деревини у промисловості

Use of glue-laminated wood in industry

Гомон О.О., молодший науковий співробітник (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя), **Чапук О.С.,** к.т.н., доцент (Луцький національний технічний університет), **Савчук С.М.,** викладач (ВСП «Любешівський ТФК» ЛНТУ)

Homon O.O., junior research associate (Ternopil Ivan Puluj National Technical University), **Chapiuk O.S.,** PhD, associate professor (Lutsk National Technical University), **Savchuk S.M.,** lecturer (Separate structural subdivision 'Liubeshiv Vocational Technical College' of Lutsk National Technical University)

Проведено детальний аналіз особливостей використання клеєної деревини. Наведено область застосування елементів та матеріалів на основі клеєної деревини в різних галузях економіки, зокрема, будівництві, деревообробній, меблевій, гірничо-видобувній промисловості, машинобудуванні та інших.

Wood is popular with developers, it is chosen for the construction of load-bearing structures, decoration, and creation of various interior items, small architectural forms. Natural material is undoubtedly good and environmentally friendly, but ordinary timber and boards have significant disadvantages: a tendency to change volume when humidity changes, drying out, deformation, and knots. These unpleasant consequences are practically excluded when using glued timber as a structural material and are used in various sectors of the world economy.

Glued timber is a material made by gluing layers of processed wood, where each layer is located perpendicular to the direction of the fibers. For production, mainly pine and spruce trunks are used.

The purpose of this article is to establish the scope of the application of glued timber and list its advantages compared to other traditional materials.

A detailed analysis of literary sources on the features of the use of glued timber has been carried out. The main physical and mechanical properties of glued laminated timber are characterized and analyzed in detail, and its structural schemes are given.

Wood, like other materials (metal, concrete, reinforced concrete, polymers), is exposed to various active aggressive environments. The scope of application of elements and materials based on glued laminated timber in various sectors of the economy is given, in particular, construction, woodworking, furniture, mining and quarrying, mechanical engineering, and others.

It has been established that one of the main advantages of glued laminated timber is its high mechanical strength and stability. Unlike solid wood, glued laminated timber is

less prone to warping, cracking, or changing shape under the influence of temperature and humidity changes. This is achieved due to the fact that wooden lamellas are carefully processed and arranged so that the wood fibers alternate before gluing, which allows reducing internal stresses.

Ключові слова: клеєна деревина, міцність, агресивне середовище, довговічність, стійкість.

Keywords: glued timber, strength, aggressive environment, durability, stability.

Постановка проблеми. Деревина користується популярністю у забудовників, її вибирають для зведення несучих конструкцій, оздоблення та створення предметів інтер'єру. Натуральний матеріал, безсумнівно, хороший і екологічний, але у звичайного бруса і дошки є істотні недоліки: схильність до зміни об'єму при зміні вологості, розсихання, деформації. Ці неприємні наслідки практично виключені в разі застосування клеєної деревини як конструкційного матеріалу.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Більшість публікацій, які є доступні в літературі, описують клеєну деревину, як незамінну в конструкціях, які вимагають високої міцності, стабільності розмірів і відповідної естетичної якості дерев'яних виробів [1]. Клеєні елементи також можуть мати покращені властивості (вигин, зсув) завдяки попередньому згинанню. Існують також клеєні балки з поперечними перерізами, які мають вертикально встановлені ламелі в зоні напружень або вертикальні ламелі по всьому перерізу, клеєні балки, армовані стрічками (сталевими, вуглецевими або склопластиковими) [2], армовані балки з попередньо напруженим станом, балки з епоксидними сталевими стрижнями з різьбленням [3].

Метою даної статті є встановити область застосування клеєної деревини та навести її переваги порівняно з традиційними матеріалами.

Основна частина. Клеєна деревина – це матеріал, виготовлений шляхом склеювання шарів обробленої деревини, де кожен шар розташований перпендикулярно до напрямку волокон. Для виробництва застосовують переважно стовбури сосни і ялини.

Вимоги до деревини, порядок виробництва, приймання, випробувань і зберігання матеріалів регламентують нормативні документи [4-6].

Якісний клеєний брус характеризується високою несучою здатністю, стабільністю розмірів і здатністю формувати дерев'яні елементи практично будь-якої форми. Клеєний брус доступний у прямих і вигнутих формах, що відкриває майже необмежену свободу дизайну в дерев'яному будівництві (рис. 1).



Рис. 1. Клеєний брус

Клеєні матеріали мають унікальні властивості порівняно з традиційними пиломатеріалами. Міцність вище до 50 ... 70%; висока стабільність розмірів завдяки склеюванню; відсутність усадки стін збільшує швидкість будівництва; збільшена здатність до впливів навантажень – модуль пружності клеєної деревини з сосни становить 100000 кг/см², з кедр – 80000 кг/см²; висока вогнестійкість і хімічна стійкість; високі теплоізоляційні властивості; натуральний, відновлюваний і перероблений будівельний матеріал; відсутність дефектів; висока тримка здатність при низькій щільності; висока стабільність розмірів завдяки склеюванню; найкраща форма інновацій: прями, вигнуті та спеціальні форми; екологічно безпечна; вироби з клеєних заготовок краще переносять негативні погодні фактори – дощі, температурні перепади; стійкі до гризунів і комах завдяки просоченню [7].

Використання клеєної деревини в сучасному будівництві залежить від успішної співпраці різних фахівців, особливо архітектора та підрядника. Як правило, вибір конструктивної системи впливає на внутрішню архітектуру. На сьогодні існує різноманіття конструктивних систем, які забезпечують можливість реалізації найкращих проєктів для різних цілей. Несучі системи з клеєної деревини можна класифікувати за такими групами: балки, тришарні арки, рами, вигнуті балки, консолі та підвісні конструкції (рис. 2).

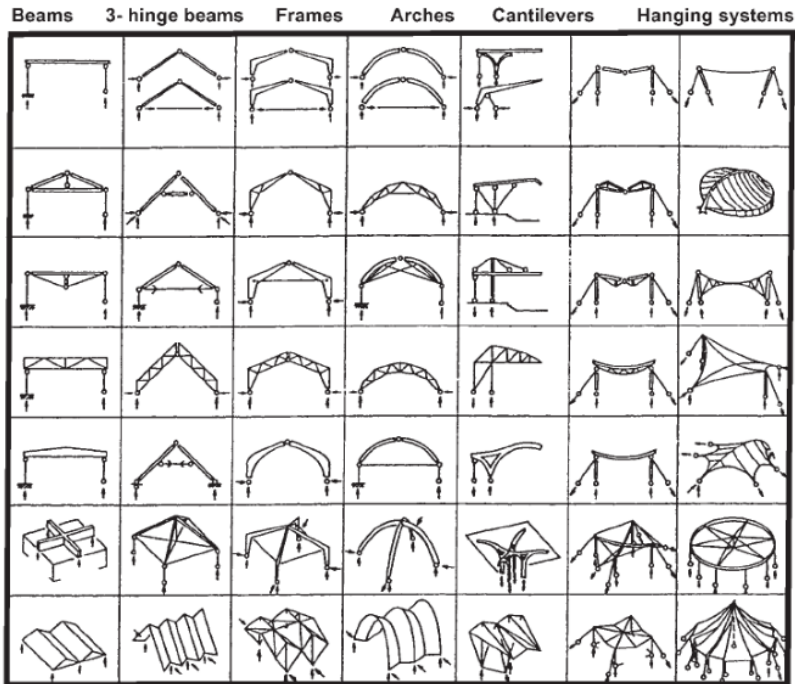


Рис. 2. Дерев'яні конструктивні системи

Конструкції класифікують за переважним навантаженням (наприклад, ферми та осьове навантаження, балки та вигин) і за переважним розподілом навантаження (плоскі та просторові конструкції: куполи, просторові рамні конструкції, просторові ферми, ґратки та куполи). Системи з клеєної деревини дозволяють практично необмежений вибір розмірів елементів перерізу, можуть покривати великі площі з великими прогонами і легко адаптуються до вимог сучасної архітектури. Розмір несучого елемента залежить від статичної конструктивної системи, несучої здатності матеріалу, технології виробництва та монтажу, а також очікуваного ефекту архітектурної композиції конструкції [8].

Клеєна деревина є незамінна у конструкціях, що вимагають високої міцності, стабільності розмірів і належної естетичної якості деревини різних порід [1].

Клеєна деревина широко використовується в каркасному будівництві, зокрема для зведення стін, перекриттів, дахів та колон (рис. 3).

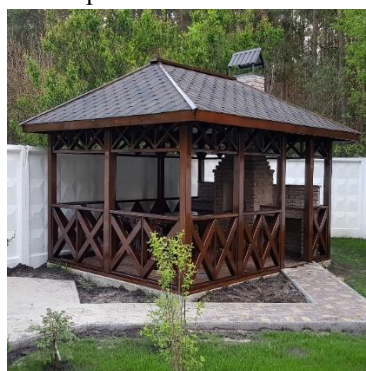


Рис. 3. Каркас будівлі з клеєної деревини

У містобудуванні (рис. 4) клеєна деревина використовується завдяки високій міцності на вигин та стійкості до впливу атмосферних факторів. Такі конструкції легко протистоять корозії і демонструють більшу довговічність у порівнянні з традиційними матеріалами.



а) пергола



б) альтанка

Рис. 4. Застосування клеєної деревини в містобудуванні

Завдяки своїм естетичним властивостям і здатності до тонкої обробки, клеєна деревина широко застосовується у виготовленні меблів, декоративних панелей та інших елементів інтер'єру (рис. 5, а) та екстер'єру (рис. 5, б). Вона дозволяє поєднувати високу міцність з елегантним зовнішнім виглядом.



Рис. 5. Освітній центр в Ассені (Великобританія), зведений практично повністю з клееної деревини: а) інтер'єр та сходи, виконані з дерева; б) облицювання дерев'яною дошкою

Завдяки можливості створення легких, але міцних конструкцій великих розмірів, клеєна деревина використовується для будівництва спортивних споруд (рис.6), виставкових залів (рис.7) та інших споруд, що потребують великих відкритих просторів і складних архітектурних рішень.



Рис. 6. Спортивна споруда, кроків'яна система, якої виконана з клееної деревини



Рис. 7. Виставкова зала в музеї мистецтв в Аспені (США)

Клеєна деревина є ідеальним матеріалом для будівництва мостів (рис. 8) та інших інфраструктурних об'єктів завдяки своїй міцності та здатності протистояти зовнішнім факторам. Крім того, дерев'яні мости з клеєної деревини демонструють високу довговічність і потребують мінімального технічного обслуговування.



Рис. 8. Пішохідний міст з клеєної деревини

Висновки. Екологічні властивості надають клеєній деревині конкурентну перевагу над іншими матеріалами; більше того, кращі фізичні, механічні та технологічні властивості роблять її незамінною в будівництві. Її естетична цінність високо цінується, оскільки вона дозволяє створювати складні архітектурні форми, реалізовувати нові просторові концепції та різноманітні будівельні рішення. Виробництво та використання клеєних дерев'яних елементів зростають у всьому світі. Завдяки новим технологіям,

які забезпечать підвищену точність у виробництві та проектуванні, їх застосування тільки збільшуватиметься в майбутньому.

References

1. Stungo, N., 2001: Wood: New Directions in Design and Architecture. San Francisco, California, USA: Chronicle Books.
2. Natterer, J.; Herzog T.; Volz, M., 1996: Holzbau - Atlas. Rudolf Müller, Köln: 101.
3. Möhler, K.; Hemmer, K., 1981: Eingeleimte Gewinde-stangen. V: Bauen mit Holz, 5: 296-298.
4. DSTU B.V.2.6–151:2010. Konstruktsiyi derev"yani klejeni. Zahal'ni tekhnichni umovy. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2011. 21 s.
5. DBN V.2.6-161:2017. Konstruktsiyi budynkiv i sporud. Derev"yani konstruktsiyi.Osnovni polozhennya. Kyiv: Ukrarkhbudinform, 2017. 111s.
6. Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings. 1995. 124 p.
7. Glued laminated timber. – <https://www.hasslacher.com/glue-laminated-timber>.
8. Kitek Kuzman, Oblak, Vratuša: Glued Laminated Timber in Architecture. Received – prispjelo: 17. 2. 2010. Accepted – prihvačeno: 14. 7. 2010.

Література

1. Stungo, N., 2001: Wood: New Directions in Design and Architecture. San Francisco, California, USA: Chronicle Books.
2. Natterer, J.; Herzog T.; Volz, M., 1996: Holzbau - Atlas. Rudolf Müller, Köln: 101.
3. Möhler, K.; Hemmer, K., 1981: Eingeleimte Gewinde-stangen. V: Bauen mit Holz, 5: 296-298.
4. ДСТУ Б.В.2.6–151:2010. Конструкції дерев'яні клеєні. Загальні технічні умови. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 21 с.
5. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ: Укрархбудінформ, 2017. 111с.
6. Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings. 1995. 124 p.
7. Glued laminated timber. – <https://www.hasslacher.com/glue-laminated-timber>.
8. Kitek Kuzman, Oblak, Vratuša: Glued Laminated Timber in Architecture. Received – prispjelo: 17. 2. 2010. Accepted – prihvačeno: 14. 7. 2010.

Особливості організації мікроструктури декоративних композитів

Features of microstructure organization decorative composites

Довгань О.Д., к.т.н., доцент, Вировой В.М., д.т.н., професор, Ляшенко Т.В., д.т.н., професор, Довгань П.М., к.т.н. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса)

Dovgan O.D., PhD, Associate Professor, Vyrovoy V.M., D.Sc., Professor, Lyashenko T.V., D.Sc., Professor, Dovgan P.M., PhD (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa)

У статті пропонується для поліпшення і збереження функціональних властивостей декоративних виробів застосовувати багаторівневе армування структури цементних композитів. Зміцнення структури на всіх рівнях його неоднорідностей дозволить забезпечити необхідну стійкість виробам до впливу різних навантажень. Наведені результати дослідження структурних параметрів цементного каменю. Дослідження 25-ти різних за складом композицій проводилися з використанням методу експериментально-статистичного моделювання. Аналіз результатів натурного й обчислювального експериментів підтвердив, що дискретні волокна здатні приймати активну участь у фізико-механічних процесах структуроутворення цементних композитів.

The article proposes to use multi-level reinforcement of the structure of cement composites to improve and preserve the functional properties of decorative products. Strengthening the structure of the composite at all levels of its heterogeneities will provide the necessary resistance to various loads. The influence of discrete fibers of different lengths on the organization of the microstructure of dispersed systems was discussed earlier. The results of structural parameters of cement compositions presented in this paper are a continuation of previous studies.

To accurately describe the microstructure of the decorative composite and consider the relationships between its structural parameters, the method of experimental-statistical modeling was applied. Studies of 25 different compositions were carried out according to a 4-factor symmetrical plan. Processing of experimental data showed that the value of the water-cement ratio has a rather noticeable effect on the structural parameters of cement systems. A significant correlation between the indicators of cement systems has been identified. An analysis of the nature of damage to the surface of samples by cracks, internal surfaces of the section was carried out. It is confirmed that discrete fibers are able to actively participate in the processes of structural formation of building composites.

Analysis of the data has shown that by introducing fiber, the uniformity of scattering of microdefects, internal stresses, etc. can be improved. The influence of composition factors on the structural parameters of the stone was evaluated using mathematical models. Visualization of local fields of properties in the coordinates of recipe factors made it possible to analyze the individual and synergistic effects of the influence of two groups of components on the formation of structural parameters of cement systems. It is shown that with rational ratios of composition factors, the structure of the capillary-porous space of the composite improves. The change in the number of microdefects in the structure of the material should affect the mechanical properties of the cement stone. It is planned to analyze the results of the study of the structural strength of the cement system.

Ключові слова: декоративний композит, структура, фібра, полікарбоксилат, дисперсна система, кластер, цеоліт, експериментально-статистична модель.

Keywords: decorative composite, structure, fiber, polycarboxylate, dispersed system, cluster, zeolite, experimental-statistical model.

Вступ. Упродовж різних періодів для архітектурної виразності будівель і споруд, облаштування зон відпочинку застосовувались різноманітні види декоративних матеріалів і виробів (ДМВ). Серед широкого спектру ДМВ гідне місце посідає декоративний бетон (ДБ). Використання високопластичних властивостей ДБ на етапі його виготовлення дає можливість отримувати архітектурні деталі складної конфігурації та заданого естетичного виду за колірною палітрою, фактурою лицьової поверхні тощо. Проте на початковому етапі структуроутворення композиту (до 24 год.), під час процесу оздоблення деталей і під синергетичною дією всіх наявних погодних факторів на поверхні виробів можуть з'являтися різні дефекти, які значно погіршують зовнішній вигляд, знижують функціональну надійність цементного композиту і термін служби архітектурних елементів. Для поліпшення естетичних та експлуатаційних властивостей, на наш погляд, перспективним представляється застосування багаторівневого армування структури декоративного бетону. Зміцнення структури на всіх рівнях його неоднорідностей дозволить забезпечити необхідну стійкість виробам до впливу різних навантажень.

Для створення високоефективного композиту виробниками фібри пропонується великий асортимент дискретних волокон, різних за хімічним складом, геометрією й властивостями. Використання фібри в складі матеріалу виробів, як показав огляд вітчизняних і закордонних джерел, дозволяє певною мірою покращувати будову капілярно-пористої структури і підвищувати в'язкість руйнування бетону. Разом з цим, з метою отримання оптимальних показників армування структури цементних композитів при врахуванні методів формоутворення та оздоблення поверхні декоративних елементів, відкритим все ж залишається питання щодо сумісності фібри із дисперсною матрицею бетону. Ефективність будь-яких дискретних волокон

залежить першочергово від ступеня їх дисперсності (розподілення) в об'ємі композитів, від виходу їх на лицьову поверхню архітектурних виробів тощо.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Аналітичний огляд літературних джерел показав, що з метою отримання декоративного бетону з тривалим естетичним і функціональним потенціалом у виробках фахівцями рекомендується до складу цементних композитів одночасно вводити органо-мінеральні добавки різної природи й дії [1-5 тощо]. Разом з тим, основою для виготовлення ДБ служать білий або кольоровий цементи, які дозволяють композиту за призначенням виконувати функції оздоблювального матеріалу [2, 6]. Загальновізнано, що в досягненні оптимальної структури бетону на рівні виробів істотну роль відіграють агреговані (або кластерні, блокові) структури цементного каменю. Це зумовлено тим, що кластерні структури дисперсної матриці, через багатоманітність складу й будови, володіють різними рівнями властивостей і сил адгезійно-когезійних взаємозв'язків і формують різні величини градієнтів напружень в об'ємі будівельного композиту. Об'ємні деформації, що сформувалися під впливом фізико-хімічних процесів гідратації цементу та виникають під дією кліматичних навантажень, є головною причиною утворення несучільностей (пор, капілярів, тріщин тощо) в структурі матеріалу виробів. Водночас, залежно від напружено-деформованого стану структури композиту, параметри несучільностей динамічно змінюються в часі. В своїх публікаціях В.М. Вировой [7-8 та ін.] несучільності відносять до активних елементів структури, через те, що вони першочергово реагують на вплив усіх зовнішніх факторів, локалізуючи внутрішні напруження з концентрацією у вершинах тріщин. То ж для поліпшення стійкості міжкластерних поверхонь розділу до дії напружень і розвитку деформацій, до складу структурних блоків композиту матеріалознавцями [1-5, 7-15 та ін.] рекомендується вводити порошкоподібні та волокнисті наповнювачі різної природи й геометрії. При цьому важливим є упорядкувати кластерні структури таким чином, щоб вони мали здатність без зміни своїх параметрів сприймати і перерозподіляти деформації на поверхнях розділу. Створення упорядкованих структур внаслідок багаторівневого армування агрегатів дискретним волокном повинно збільшити в'язкість руйнування слабких міжфазних перехідних зон, через рівномірніше розсіювання енергії в об'ємі матеріалу. Разом з цим, вирішальним чинником у мікроармуванні структури є рівновеликий розподіл дискретних волокон в композиціях. Це зумовлено тим, що недостатнє диспергування фібри призводить до виникнення структурних дефектів у вигляді «фібрових грудкувань» та не забезпечує сприятливий розподіл несучільностей. Як відомо, великий вплив на функціональні властивості композиту здійснюють саме неоднорідність і будова капілярно-пористого простору його мікроструктури. Своєю чергою А. Bentur, D.D.L. Chung та ін. зазначають [12, 14-15], що розподіл волокон

в цементній матриці значно покращується за рахунок зменшення їх довжини та в присутності тонкодисперсних часток наповнювачів. За даними досліджень авторів праць, зокрема власних [12, 16-20], ефективності мікроармування матриці можна досягти завдяки використанню гібридних систем, що містять дискретну арматуру одного виду, але різних розмірів. Наприклад, діаметром від 5 до 100 мкм і критичної довжини, оскільки довжина фібри впливає на здатність до змішування і рівномірний розподіл в сумішах. На нашу думку, сумісність дискретних волокон і матриці можна визначити через розподілення дефектів (тріщин, внутрішніх поверхонь розділу), проявлених на поверхні зразків композиту, і, відповідно, коефіцієнт поверхневої пошкодженості. Вплив фібри різної довжини на організацію мікроструктури глиняних і полімерних композицій було розглянуто в статті [21]. Отримані результати на фізичних моделях цих систем дозволили встановити, що дискретні волокна здатні брати активну участь в організації кластерних структур різної природи. Використання фібри оптимальної геометрії забезпечує отримання композитів зі значно меншою кількістю дефектів і сприяє одноріднішому розсіюванню внутрішньої енергії в об'ємі матеріалу. Отже, з огляду на результати структурних параметрів в'язучих систем, які представлені в [19, 21], це надало підстави розпочати нові дослідження, а саме – цементної матриці декоративного бетону.

Метою роботи є направлена зміна структури декоративних композитів за рахунок управління процесами структуроутворення в'язучих систем шляхом раціонального використання наповнювачів і гібридного дискретного наповнення.

Матеріали та опис досліджень. Для точного опису мікроструктури декоративного композиту та розгляду взаємозв'язків між вихідними його параметрами застосовано метод експериментально-статистичного моделювання [22]. Аналіз інформації, накопиченої під час реалізації низки пошукових експериментів, дозволив визначити список основних діючих факторів складу матриці та межі їх варіювання. Рецептурні фактори X_i нормалізовані на трьох рівнях до $|x_i| \leq 1$ за типовими формулами [23].

З урахуванням визначених умов проведення натурного експерименту та аналізу характеристик планів другого порядку для побудови експериментально-статистичних моделей (ЕС-моделей), обрано 4-ох факторний симетричний план з 25-ти числом дослідів (або точок). Враховуючи різний характер впливу рецептурних складових на структуроутворення цементного каменю, фактори об'єднано у дві групи:

– «Модифікатори цементної системи» задавали кількість тонкомеленого цеоліту (Z) на рівнях 0, 4, 8 % (вводився взамін частини цементу від його маси) і суперпластифікатор на полікарбоксилатній основі (MF) – 0.15, 0.30, 0.45 % (від маси цементу);

– «Параметри дискретного армування» склали лугостійкі скловолочна довжинами 3 і 12 мм ($F3$ і $F12$) на рівнях 0, 0.015, 0.03 % (вводились від маси цементного тіста).

Графічне відображення точок плану експерименту представлено на діаграмі «квадрат на квадратах» (рис. 1), у якій несучий квадрат відповідає підсистемі 1-ої групи факторів x_1 і x_2 , а в 9-ти вузлових точках квадрату (центр, 4 кути і 4 середини сторін) розташовані перемінні x_3 і x_4 із підсистеми 2-ої групи факторів.

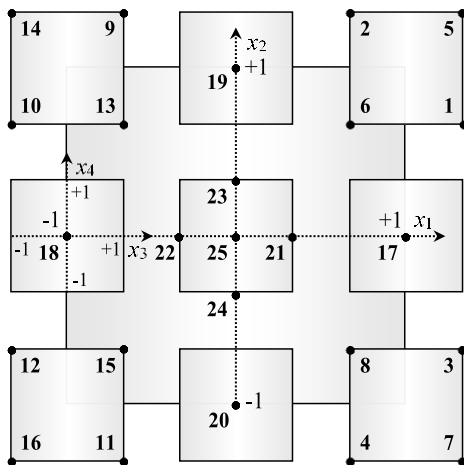


Рис. 1. План експерименту в 4-х вимірній області нормалізованих факторів складу цементного каменю

Склади 27-ми композицій виготовлялись на білому портландцементі з різним водо-цементним співвідношенням (В/Ц), при якому забезпечувалась однакова консистенція в'язучого тіста за розпливанням конуса. Середня густина (ρ , кг/см³), водопоглинання (W , % і г/см³) й коефіцієнт технологічної пошкодженості (K_D , мм/мм²) різних складів цементного каменю визначались шляхом випробування зразків-дисків розміром 100×10 мм. Перед дослідженням фізичних показників матриці зразки впродовж 28 днів витримувались у приміщенні при температурі 23±2 °С і відносній вологості атмосферного повітря 60±10 %. Легкоукладальність тіста, ρ і W_M каменю визначались відповідно до державних стандартів України, а K_D – за розробленою методикою В.М. Вирового (патент на винахід № 5735).

Аналіз результатів натурального експерименту. Дослідження 25-ти пластифікованих дисперсних систем виду «в'язуче – цеоліт», «в'язуче – фібра», «в'язуче – цеоліт – фібра» і «в'язуче – без наповнювачів» показали, що процес структуроутворення цементного каменю напряму залежить від

початкової концентрації полікарбосилату (MF) у водному середовищі. Залежно від якісно-кількісного наповнення в'язучих систем і рівня їх пластифікації, В/Ц композицій змінювалось у межах від 0.200 до 0.310, а середня густина каменю – від 1751 до 2271 $\text{кг}/\text{м}^3$. Причому збільшення В/Ц, для забезпечення вимоги по рухомості тіста, призводить до зниження ρ у 1.3 рази. Між показниками спостерігається досить тісний зв'язок, кореляція склала $r = -0.84$. Разом з цим, підвищення дозування добавки MF від 0.15 до 0.45% особливо «позитивно» впливає на формування пористої структури композитів. Пошкодженість і водопоглинання зразків каменю знижуються в декілька разів, відповідно від 0.38 до 0.07 $\text{мм}/\text{мм}^2$ (K_D) та від 16 до 5% (або з 0.28 до 0.11 $\text{г}/\text{см}^3 \rightarrow W$). Отримується більш щільна за площею поверхні границя розділу дискретних складових цементного каменю. Правдивість заключення можна підтвердити аналізом співзалежностей поміж структурними параметрами композитів (рис. 2). Аналіз цих взаємозв'язків є важливим, оскільки критерії дозволяють виносити судження про будову капілярно-пористого простору дисперсних систем.

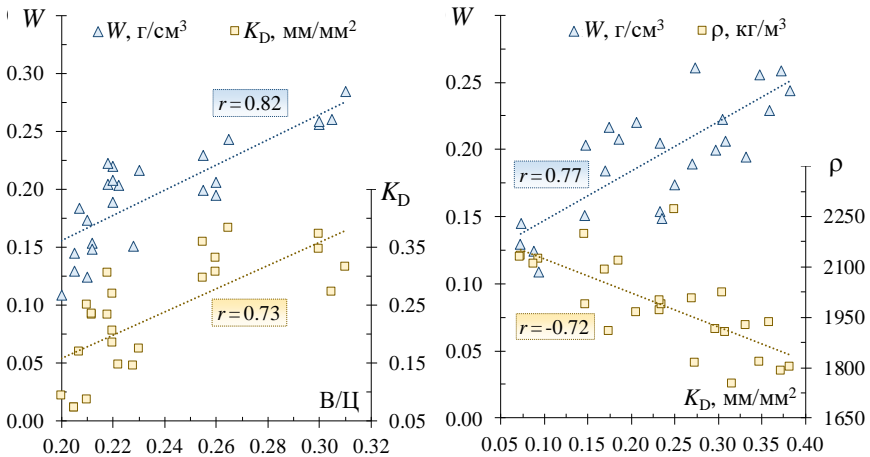


Рис. 2. Діаграми розсіювання експериментальних значень фізичних властивостей цементного каменю

Обробка експериментальних даних показала, що величина водоцементного співвідношення досить помітно позначається на фізичних параметрах в'язучих систем. Результати демонструють, що чим вище початкове В/Ц, тим більша капілярна пористість і тим менш щільною звісно є область межі розділу між структурними агрегатами. Зі зростанням В/Ц збільшується кількість несучільностей у вигляді відкритих пор, капілярів тощо в об'ємі каменю та відповідно підвищується його водопоглинання.

Аналіз значень коефіцієнтів парної кореляції вказує, що взаємозв'язок між критеріями наближається до детермінованого функціонального, $r\{B/\Pi;K_D\} = 0.73$, $r\{B/\Pi;W\} = 0.82$ і $r\{K_D;W\} = 0.77$. Водночас із зростанням кількості несутільностей середня густина знижується $r\{K_D;\rho\} = -0.72$. Очевидно, що чим більше мікродфектів (капілярів, тріщин, пор тощо) у структурі, тим легший за масою матеріал. Отже, параметри K_D і ρ змінюються незалежно, але паралельно під час початкового процесу структуроутворення цементного каменю. В роботі додатково розглянута співзалежність між W і ρ . При цьому водопоглинання визначалось через 15 хв, далі – через 1 год. впродовж 6 год. та після 24 год. замочування зразків-дисків. Виявлено, що кореляції між характеристиками у всіх випадках знаходяться у межах $-0.85 \leq r \leq -1$. Таким чином, між фізичними властивостями різних в'язучих систем спостерігається суттєвий кореляційний зв'язок, що вказує на достовірність отриманих результатів.

Одночасно з дослідженням складів композиту на пошкодженість (K_D визначався після W) проводився візуальний аналіз розподілу мікродфектів на поверхні зразків. Загальновідомо, що для структури цементного каменю значущим є однорідний розподіл як продуктів новоутворень, так і несутільностей за об'ємом зразків [24]. Як приклад, на рис. 3 представлено фото 4-х із 25-ти зразків різних за складом цементних систем.

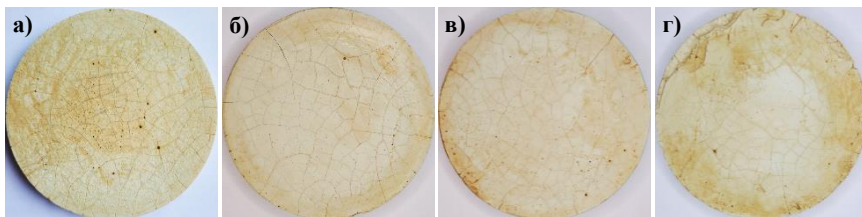


Рис. 3. Тріщини і внутрішні поверхні розділу на поверхні зразків

4-х складів цементного каменю: а) #4 $\Rightarrow K_D = 0.348 \text{ мм/мм}^2$;

б) #11 $\Rightarrow 0.308 \text{ мм/мм}^2$; в) #15 $\Rightarrow 0.297 \text{ мм/мм}^2$; г) #16 $\Rightarrow 0.359 \text{ мм/мм}^2$

Аналіз характеру пошкоджень композитів показав, що при різних числових значеннях K_D спостерігається неоднакова картина розподілення мікродфектів за площею поверхні зразків-дисків. Величина параметру K_D напряму пов'язана зі здатністю сформованих структурних агрегатів сприймати і перерозподіляти напруження й об'ємні деформації, що виникають під час протікання різних процесів структуроутворення каменю. З рис. 3 можна побачити, що активними зонами накопичення пошкоджень є периферійні ділянки зразків-дисків. Причому найбільш помітно це спостерігається на контрольному складі #16 (рис. 3г). Кластерні структури каменю #16 характеризуються значною нерівномірністю розподілу

внутрішніх напружень. Безумовно, присутність високодисперсних цеоліту та фібри сприяє більш однорідному розсіюванню мікрodefектів (рис. 3а-в) в об'ємі композиту. До того ж, незалежно від рівня пластифікації дискретно-армованих композицій (без цеоліту), зберігається загальна картина характеру тріщиноутворення. При цьому утворюються структурні блоки різної природи (об'ємні, видовжені). Варто відмітити, що при максимальному рівні пластифікації цементного тіста з добавкою цеоліту (без фібри) рівномірність розподілення несучільностей дещо втрачається. Візуально-кількісний аналіз параметру K_D (рис. 3) добре стикується з експериментальними даними по W . У дискретно-армованих композитів складу #11 і #15 питома водопоглинання зразків-дисків (г/см^3), порівняно зі складом #16, нижче на 10 та 13%, відповідно. Підтверджується попередньо зроблений нами висновок, що дискретні волокна здатні активно приймати участь у процесах структуроутворення будівельних композитів [21]. За рахунок введення гідрофільної фібри можна поліпшити однорідність розсіювання несучільностей, внутрішніх напружень і, зокрема, сприяти більш рівномірному розподілу продуктів новоутворень в об'ємі цементного каменю на початковому етапі становлення його структури. В роботі [21] ми показали, що лінійні частки можуть виступати активним осередком, навколо поверхні яких групуються дисперсні частки різного хімічного

$$Y = b_0 \left[\begin{array}{l} \pm b_{1x_1} \pm b_{11x_1^2} \pm b_{12x_1x_2} \\ \pm b_{2x_2} \pm b_{22x_2^2} \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} \pm b_{13x_1x_3} \pm b_{13x_1x_3} \\ \pm b_{23x_2x_3} \pm b_{24x_2x_4} \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} \pm b_{3x_3} \pm b_{33x_3^2} \pm b_{34x_3x_4} \\ \pm b_{4x_4} \pm b_{44x_4^2} \end{array} \right] \quad (1)$$

складу. Спостерігається співзалежність рівновеликих за розміром кластерних агрегатів і розподіленими мікрodefектами на поверхні зразків-дисків. Проте, як показано в цій роботі, властивості композитів значною мірою залежать від пошкоженості їх структури, що формується під впливом рецептурних компонентів в'язучих систем. Отже, аналіз надалі доцільно проводити із використанням експериментально-статистичних моделей.

Аналіз результатів математичного моделювання. За натурними даними експерименту для водопоглинання (W , г/см^3) і коефіцієнта пошкоженості (K_D , мм/мм^2) в програмі COMPEX (розроблена в ОДАБА під керівництвом В.А. Вознесенського) побудовано чотирьохфакторні квадратичні ЕС-моделі «повних» полів Y виду (1).

Нелінійна модель (1) структурована за групами складових композиту «Модифікатори цементної системи» і «Параметри дискретного армування». Блок (а) описує вплив на властивості Y органо-мінеральних

модифікаторів x_1 і x_2 . Блок (б) – вплив на Y дискретних скловолокон x_3 і x_4 . Блок (с) показує, як будуть трансформуватися локальні поля властивості за рахунок взаємозв'язку двох груп перемінних $x_1 \div x_4$.

З метою аналізу впливу окремо кожної групи факторів на формування структурних параметрів цементних систем виконано ряд обчислювальних експериментів [25]. Для їх реалізації з нелінійних ЕС-моделей (1) W та K_D отримувались 2-х факторні моделі виду (2) і (3).

$$Y = b_0 \pm b_{11}x_1 \pm b_{12}x_1^2 \pm b_{21}x_2 \pm b_{22}x_2^2 \quad (2)$$

$$Y = b_0 \pm b_{33}x_3 \pm b_{33}x_3^2 \pm b_{34}x_3x_4 \pm b_{44}x_4 \pm b_{44}x_4^2 \quad (3)$$

Моделі описують локальні поля (рис. 4) в нормалізованих координатах факторів 1-ої групи x_1 і x_2 під впливом дискретних волокон $x_3 + x_4$ та навпаки, в координатах факторів x_3 і x_4 при синергетичній дії модифікаторів $x_1 + x_2$. Таким чином, на діаграмах критеріїв Y показано по 2 поверхні, які утворені неармованими ($x_3 = x_4 = -1$) і гібридно-армованими ($x_3 = x_4 = 0$) складами (рис. 4а, верхня і нижня поверхні) та складами з оптимальним дозуванням модифікаторів на двох рівнях $x_1 = x_2 = 0$ і $+1$ (рис. 4б, нижня поверхня). При цьому для порівняння ефекту модифікації до уваги приймалися композиції з мінімальним рівнем пластифікації та без цеоліту $x_1 = x_2 = -1$ (рис. 4б, верхня поверхня). Зміна властивостей W та K_D в межах локальних полів оцінювалась їх абсолютним приростом [23, 25].

Отримані результати моделювання параметрів капілярно-пористої структури цементного каменю дозволяють відмітити наступне.

Дискретні волокна є активними елементами фізико-механічних процесів структуроутворення цементних систем. Аналіз локальних полів структурних параметрів показує, що присутність фібри в складі композитів змінює будову капілярно-пористого простору (рис. 4а). Мінімальне водопоглинання W досягається на складах цементного каменю з високим рівнем пластифікації тіста без цеоліту. Причому \max і \min значення W гібридно-армованих систем на 6.5 і 7.8% менші, у порівнянні з неармованими (рис. 4а, нижня поверхня). Разом з тим, зміна W матеріалу залежить як від величини капілярної пористості, так і від середнього розміру капілярів $\bar{\lambda}$ та їх однорідності α . В роботі розглянуто лінійний зв'язок між показниками та виявлено суттєву кореляцію, $r\{W : \bar{\lambda}\} = 0.75$ і $r\{W : \alpha\} = -0.87$. До того ж простежується, що чим більша однорідність розмірів капілярів, тим менший їх середній розмір $r\{\alpha : \bar{\lambda}\} = -0.75$. Підтверджуються раніше зроблені висновки, що структура армованих

композицій пронизана тоншою капілярною сіткою [21] та характеризується мікропористістю [26].

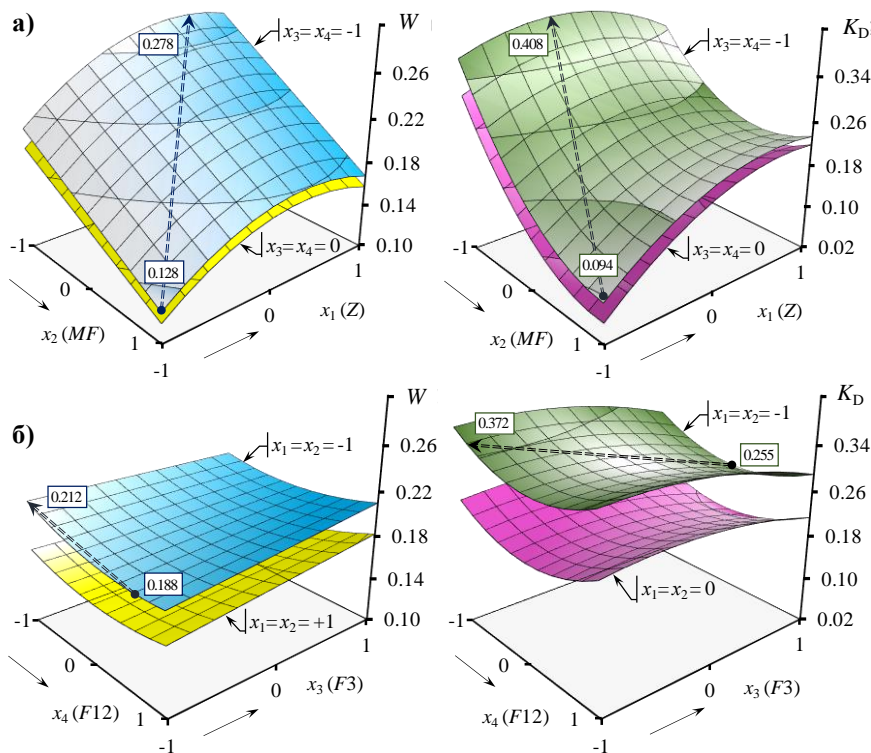


Рис. 4. Локальні поля властивостей складів цементного каменю в координатах факторів модифікації цементної системи (а) та параметрів дискретних волокон (б)

Безперечно, водопоглинання полікапілярних матеріалів залежить від величини пошкодженості. Візуалізація ізоповерхонь на діаграмі рис. 4а для K_D демонструє, що склади армованого цементного каменю ($x_3 = x_4 = 0$) характеризуються меншою пошкодженістю, \max і \min значення показника на 13 і 37% нижчі, у порівнянні з неармованими складами ($x_3 = x_4 = -1$). Отже, на початковому етапі структуро-утворення композитів формуються кластерні підструктури зі щільнішою упаковкою тонкодисперсних часток і покращеними міжчастковими силами зв'язку, завдяки раціональному В/Ц і високому ступеню розподілу фібри в об'ємі в'язучої системи. Водночас, слід відмітити позитивну роль цеоліту в формуванні структури дискретно-армованих композитів (рис. 4а, нижня поверхня). При заміні цементу

цеолітом Z в кількості 8% (або $x_1 = +1$), оптимальні показники $W \Rightarrow 0.158$ г/см³ і $K_D \Rightarrow 0.19$ мм/мм² досягаються на складах з різним рівнем пластифікації тіста, $x_2 = +1$ і $+0.4$ відповідно.

Аналіз зміни властивостей в координатах лінійних часток x_3 і x_4 показує, що ріст ефективності синергетичного впливу добавок ($x_1 + x_2$) значною мірою залежить від рівня модифікації структури цементного каменю. Порівняльний аналіз коефіцієнтів моделей та представлених на рис. 4б ізоповрхонь (верхня і нижня) для W та K_D дозволяє відмітити наступне. Мінімальне значення коефіцієнта пошкодженості композитів, як і водопоглинання, різко знижуються при підвищенні концентрації добавок в початковому складі дисперсної системи, від $x_1 = x_2 = -1$ до $x_1 = x_2 = 0$ та $+1$ (відповідно для K_D і W). Втім, для отримання найкращих ефектів по W вимагається вводити довгу фібру на рівні $x_4 = +0.4$, а для досягнення найбільш щільної структури із меншою кількістю несущальностей нагально потрібно цементну матрицю армувати коротким і довгим дискретним волокном на рівнях $x_3 = +1$ та $x_4 = 0$ (або 0.9 кг фібри на 1 м³ в'язучого тіста). При таких умовах співвідношень рецептурних факторів із в'язучим, W і K_D композитів зменшуються, відповідно на 17.6% і 33.5%.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Застосовування багаторівневого армування цементних композитів повинно підвищити стійкість міжкластерних поверхонь розділу до дії напружень й об'ємних деформацій під час структуроутворення матеріалу та гарантувати стабільність нормованих рівнів декоративно-експлуатаційних властивостей виробів у часі. Структурні параметри матриці декоративного композиту визначаються якісним і кількісним вмістом органо-мінеральних добавок і дискретних волокон. Чисельні дані властивостей підтверджують, що дискретні волокна здатні приймати активну участь у фізико-механічних процесах структуроутворення матеріалу. При раціональних співвідношеннях рецептурних факторів покращується будова капілярно-пористого простору в'язучих систем. Зміна кількості несущальностей в структурі декоративних композитів повинна відобразитися на механічних властивостях каменю. В наступній публікації планується представити результати дослідження структурної міцності дисперсних систем.

References

1. Architectural Precast Concrete / PCI Architectural Precast Concrete Manual Committee / Sidney Freedman Editor *et al.* 3th ed., 2007.
2. Pushkarova K.K., Honchar O.A., Mazur V.O. Osoblyvosti strukturoutvorennia biloho portlandsementu v prysutnosti karbonatnykh dobavok. Resursoekonomni materialy, konstruktshii, budivli ta sporudy. 2023. S. 57-69.
3. John Newman, Ban Seng Choo. *Advanced Concrete Technology Constituent Materials*. Oxford, UK: Butterworh-Heinemann (Elsevier). 2003.

4. Kosmatka, Steven H. *et al. Design and Control of Concrete Mixtures*. The guide to applications, methods, and materials. 14th ed., 2011.
5. Khymycheskye y myneralnye dobavky v beton / pod red. A.V. Usheroval-Marshaka. Kharkov: Koloryt, 2005. 280s.
6. DSTU B A.1.1-59-95. Betonni, rozchynni sumishi ta betony. Terminy ta vyznachennia. Chynnyi z 01.07.1995. Kyiv: Derzhkommistobuduvannia Ukrainy.
7. Vyrovoy V.M., Korobko O.O., Sukhanova S.S., Sukhanov V.H. Naukovi doslidzhennia: osnovy metodolohii. Odesa: ODABA, 2024. 148s.
8. Sukhanov V.H., Vyrovoy V.M., Korobko O.A. Struktura materialu u strukturi konstruksii: monohrafiia. Odesa: ODABA, 2022. 412s.
9. Ramachandran V.S., Beaudoin James J. *Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology*. William Andrew Publishing, LLC Norwich, New York, USA, 2001.
10. Mehta P., Paulo J.M. Monteiro. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw Hill Professional. 3th ed., 2006.
11. Lee S.F., Jacobsen S. Study of interfacial microstructure, fracture energy, compressive energy and debonding load of steel fiber-reinforced mortar. *Materials and Structures*, 2011. vol. 44. pp. 1451-1465.
12. Bentur A., Mindess S. *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. London-New York: Taylor & Francis. 2th ed., 2007.
13. Maso J.C. *Interfacial Transition Zone in Concrete*. An Imprint of Chapman & Hall, 1996.
14. Chung D.D.L. *Composite materials. Engineering Materials and Processes*. Springer London Dordrecht Heidelberg New York. 2th ed., 2010.
15. Andrzej M. Brant *Cement-based composites: materials, mechanical properties, and performance*. Taylor & Francis, London and New York, 2009.
16. Markovic I. *High-Performance Hybrid-Fibre Concrete. Development and Utilisation*. Delf University Press, 2006.
17. di Prisco M., Plizzari G., Vandewalle L. Fibre reinforced concrete: new design perspectives. *Materials and Structures*, 2009. vol. 42. pp. 1261-1281.
18. Dovgan A.D., Vyrovoy V.M., Dovgan P.M. Crack resistance of decorative composites. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708.
19. Dovgan A.D., Vyrovoy V.M. Structure formation of dispersed-reinforced building composites. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2021, no. 85, pp. 71-78.
20. Tahwia A.M., Mokhles M., Elemam W.E. Optimizing characteristics of high-performance concrete incorporating hybrid polypropylene fibers. *Innovative Infrastructure Solutions*, 2023, vol. 8:297.
21. Dovhan O.D., Vyrovoy V.M., Dovhan P.M., Makarova S.S. Rol dyskretnoi armatury v orhanizatsii mikrostruktury dekoratyvnykh kompozytiv. Suchasne budivnytstvo ta arkhitektura, 2024. – pryiniata redaktsiinoiu kolehiieiu do druku.

22. Voznesenskyi V., Liashenko T. ЭС-модели в компьютерном материаловедении. Материалы к 45-му международному семинару по моделированию в оптимизации композитов. Odessa: «Astroprint», 2006. 115s.
23. Voznesenskyi V.A., Liashenko T.V., Oharkov B.L. Численные методы решения стroytelno-tekhnologicheskikh zadach na ЭVM. Киев: Выsshaya shkola, 1989. 328s.
24. Pashchenko A.A., Miasnykova E.A., Humen V.S. ta in. Teoriya tsementa. Kyiv: Budivelnik, 1991. 168s.
25. Liashenko T.V., Voznesenskyi V.A. Metodolohiya retsepturno-tekhnologicheskikh polei v kompiuternom stroytelnom materialovedenii. Odessa: Astroprint, 2017. 168s.
26. Dovhan O.D., Vyrovyi V.M., Dovhan P.M. Vodopohlynnannia, yak funktsiia skladiv dekoratyvnykh betoniv. Zb. nauk. pr. «Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy». 2020. S. 148-160.

Література

1. Architectural Precast Concrete / PCI Architectural Precast Concrete Manual Committee / Sidney Freedman Editor *et al.* 3th ed., 2007.
2. Пушкарьова К.К., Гончар О.А., Мазур В.О. Особливості структуроутворення білого портландцементу в присутності карбонатних добавок. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. 2023. С. 57-69.
3. John Newman, Ban Seng Choo. *Advanced Concrete Technology Constituent Materials*. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann (Elsevier). 2003.
4. Kosmatka, Steven H. *et al. Design and Control of Concrete Mixtures*. The guide to applications, methods, and materials. 14th ed., 2011.
5. Химические и минеральные добавки в бетон / под ред. А.В. Ушерова-Маршака. Харьков: Колорит, 2005. 280с.
6. ДСТУ Б А.1.1-59-95. Бетонні, розчинні суміші та бетони. Терміни та визначення. Чинний з 01.07.1995. Київ: Держкоммістобудування України.
7. Вировой В.М., Коробко О.О., Суханова С.С., Суханов В.Г. Наукові дослідження: основи методології. Одеса: ОДАБА, 2024. 148с.
8. Суханов В.Г., Вировой В.М., Коробко О.А. Структура матеріалу у структурі конструкції: монографія. Одеса: ОДАБА, 2022. 412с.
9. Ramachandran V.S., Beaudoin James J. *Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology*. William Andrew Publishing, LLC Norwich, New York, USA, 2001.
10. Mehta P., Paulo J.M. Monteiro. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw Hill Professional. 3th ed., 2006.
11. Lee S.F., Jacobsen S. Study of interfacial microstructure, fracture energy, compressive energy and debonding load of steel fiber-reinforced mortar. *Materials and Structures*, 2011. vol. 44. pp. 1451-1465.

12. Bentur A., Mindess S. *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. London-New York: Taylor & Francis. 2th ed., 2007.
13. Maso J.C. *Interfacial Transition Zone in Concrete*. An Imprint of Chapman & Hall, 1996.
14. Chung D.D.L. *Composite materials. Engineering Materials and Processes*. Springer London Dordrecht Heidelberg New York. 2th ed., 2010.
15. Andrzej M. Brant *Cement-based composites: materials, mechanical properties, and performance*. Taylor & Francis, London and New York, 2009.
16. Markovic I. *High-Performance Hybrid-Fibre Concrete. Development and Utilisation*. Delf University Press, 2006.
17. di Prisco M., Plizzari G., Vandewalle L. Fibre reinforced concrete: new design perspectives. *Materials and Structures*, 2009. vol. 42. pp. 1261-1281.
18. Dovgan A.D., Vyrovoy V.M., Dovgan P.M. Crack resistance of decorative composites. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708.
19. Dovgan A.D., Vyrovoy V.M. Structure formation of dispersed-reinforced building composites. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2021, no. 85, pp. 71-78.
20. Tahwia A.M., Mokhles M., Elemam W.E. Optimizing characteristics of high-performance concrete incorporating hybrid polypropylene fibers. *Innovative Infrastructure Solutions*, 2023, vol. 8:297.
21. Довгань О.Д., Вировой В.М., Довгань П.М., Макарова С.С. Роль дискретної арматури в організації мікроструктури декоративних композитів. *Сучасне будівництво та архітектура*, 2024. – прийнята редакційною колегією до друку.
22. Вознесенский В., Ляшенко Т. ЭС-модели в компьютерном материаловедении. *Материалы к 45-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов*. Одесса: «Астропринт», 2006. 115с.
23. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. Киев: Высшая школа, 1989. 328с.
24. Пащенко А.А., Мясникова Е.А., Гумен В.С. и др. Теория цемента. Київ: Будівельник, 1991. 168с.
25. Ляшенко Т.В., Вознесенский В.А. Методология рецептурно-технологических полей в компьютерном строительном материаловедении. Одесса: Астропринт, 2017. 168с.
26. Довгань О.Д., Вировий В.М., Довгань П.М. Водопоглинання, як функція складів декоративних бетонів. *Зб. наук. пр. «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди»*. 2020. С. 148-160.

The results of the inspection of the structures of the extension to the public building in Lutsk

Результати обстеження конструкцій прибудови до корпусу громадської будівлі у м. Луцьк

Drobyshynets S.Y., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Uzhehova O.A., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Bondarskyi O.G., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Uzhehov S.O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Rotko S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Deneychuk V.E., graduate student (Lutsk National Technical University, Lutsk)

Дробишинець С.Я., к.т.н., доцент, Ужегова О.А., к.т.н., доцент, Бондарський О.Г., к.т.н., доцент, Ужегов С.О., к.т.н., доцент, Ротко С.В., к.т.н., доцент, Денеичук В.Є., аспірант (Луцький національний технічний університет, Луцьк)

Information on the inspection results of the extension inspection to the public building is presented. The results of the visual survey are provided. The defects identified during the inspection are described. The technical condition of the load-bearing structures is analyzed. Measures to restore the technical characteristics of the inspected structures are proposed.

Під час реконструкції об'єктів та їх капітального ремонту з переплануванням часто виконують прибудови до основної будівлі. Окрім позитиву від збільшення корисної площі, можуть виникати і негативні наслідки, пов'язані з прибудовою, це – поява тріщин (навіть наскрізних), просідання фундаментів, деформації суміжних конструкцій тощо. Пояснити це можна тим, що основна будівля давно вже «просіла» і зайняла своє місце; якщо коливання і виникають, то вони незначні, а от прибудова в перший рік осідає досить інтенсивно, що призводить до руйнування з'єднань – появи тріщин.

Роботи з обстеження прибудови до корпусу громадської будівлі виконувались науково-дослідною будівельною лабораторією при кафедрі будівництва та цивільної інженерії Луцького національного технічного університету (свідоцтво про відповідність № 106-04/2023 від 22 грудня 2023 р.).

У результаті технічного обстеження було виявлено цілу низку дефектів окремих конструктивних елементів прибудови та значні деформації несучих конструкцій, для усунення яких має бути розроблений проект підсилення. Фіксація результатів технічного обстеження та рекомендації щодо усунення кожного з перелічених недоліків подані в таблиці 1.

Встановлено, що технічний стан конструкції прибудови до корпусу громадської будівлі непридатний до нормальної експлуатації – категорія «3», не відповідає категоріям технічного стану «1» та «2» щодо несучої здатності, нормальної реалізації захисних функцій. Проведений аналіз дефектів, пошкоджень та попередньо встановлених гіпсових маяків свідчить про те, що конструкція прибудови знаходиться на межі переходу до аварійного стану – категорія «4». Рекомендовано розробити робочий проєкт підсилення і проєкт виконання робіт, згідно з якими провести негайне підсилення конструкцій прибудови. До початку та під час проведення робіт з відновлення (підсилення) конструкцій необхідно здійснювати постійний моніторинг об'єкта. Іншим прийнятним варіантом є повний демонтаж обстеженої прибудови.

Ключові слова: обстеження, несучі конструкції, дефекти, оголення арматури, тріщини.

Keywords: Inspection of Load-Bearing Structures, Defects, Exposed rebars, Cracks.

During the reconstruction of facilities and major renovations involving replanning, annexes to the main building are often constructed. While these additions provide the benefit of increased usable space, they can also result in negative consequences, such as the appearance of cracks (including through cracks), foundation subsidence, and deformation of adjacent structures. This can be explained by the fact that the main building has already "subsided" over time and reached its stable position, with only minor fluctuations, if any. In contrast, the annex undergoes significant subsidence during its first year, which leads to the failure of connections and the formation of cracks.

As soon as deformations of above-ground structures are detected and cracks are noticed, it is necessary to monitor their development by installing crack gauges, which should be periodically checked to determine the nature of the deformations. If a gauge cracks or falls off, it indicates that the crack is continuing to develop, and geodetic monitoring of the deformation magnitude should be carried out alongside an inspection of the above-ground structures. An increase in deformations indicates the need to inspect the foundations, which should form the basis for developing design solutions for repair works.

The Construction Research Laboratory at the Department of Construction and Civil Engineering of Lutsk National Technical University inspected the extension to the public building (certificate of compliance No. 106-04/2023, dated December 22, 2023).

As a result of the technical inspection, several defects in certain structural elements of the extension were identified. The findings of the technical inspection, including the detected defects (damages) that affect or may affect the safe operation of the structure, are presented in Table 1. Recommendations for eliminating each of the identified defects are also provided in Table 1. Photographic documentation of the identified defects and damages is included in

the report of the Construction Research Laboratory, with some of the materials featured in the illustrative section of this article (Figs. 1–4).

Table 1

Results of the Annex Inspection

No.	Description of Defects (Damages)	Photos for the Inspection Report	Recommendations for Eliminating Defects (Damages)
1. External walls			
1.1 Outer side			
1.1.1.	Through crack with an opening up to 10 mm, axis 8, along the entire height	Photos No. 1-5, 8, 9, 12, 13, 19	Reinforcement with metal ties along the perimeter of the extension (in accordance with the developed reinforcement design project)
1.1.2.	Cracks above the window in axes 8-7	Photos No. 1-3, 5-7	Seal the cracks with M100 cement mortar
1.1.3.	Dampness in the lower part of the wall, fungal mold, and plaster peeling in axes 6-9	Photos No. 2-4, 10, 11, 13, 14, 19	Remove fungal mold using chemical and physical methods. Perform localized repair of the finishing layer
1.1.4.	Through crack at the wall junction in axes A-B along the entire height, with a deviation of the wall plane from vertical by 20 mm	Photos No. 20-22	Reinforce with metal ties along the perimeter of the extension (in accordance with the developed reinforcement design project)
1.1.5.	Dampness in the lower part of the wall, fungal mold, and plaster peeling in axes A-B and 5-6	Photos No. 20, 21	Remove fungal mold using chemical and physical methods. Perform localized repair of the finishing layer
1.1.6.	Installation of technological equipment causing additional vibration loads on the wall structure	Photos No. 3, 4	Dismantle the technological equipment (with reinstallation on the main part of the building)

1.1.7.	Longitudinal cracks with an opening width of up to 0.3 mm	Photos No. 21, 22	Seal the cracks with M100 cement mortar
1.1.8.	Unorganized drainage of rainwater, leading to dampness in wall structures, the foundation, and the soil base, as well as moisture penetration into the basement	Photos No. 59-61	Implement drainage to divert water away from the wall structures, foundation, and soil base
1.2. Inner side			
1.2.1.	Through crack with an opening up to 10 mm, axis 8	Photos No. 26-28, 37-39	Seal the crack with M100 cement mortar. Perform localized repair of the finishing layer
1.2.2.	Dampness in the lower part of the wall, plaster peeling	Photo No. 29	Remove fungal mold using chemical and physical methods. Perform localized repair of the finishing layer
1.2.3.	Through crack at the wall junction in axes A-B	Photos No. 32, 33	Seal the crack with M100 cement mortar. Perform localized repair of the finishing layer
1.2.4.	Plaster peeling on walls inside the room	Photos No. 34, 37-39	Fill the plaster peeling with M100 cement mortar. Perform localized repair of the finishing layer
1.2.5.	Web-like longitudinal cracks on the walls inside the room with an opening width of 0-5 mm.	Photos No. 25, 31, 36, 41, 42	Seal the cracks with M100 cement mortar. Perform localized repair of the finishing layer
1.2.6.	Fungal mold and dampness on the covering slabs inside the room.	Photos No. 43, 44	Remove fungal mold using chemical and physical methods. Perform localized repair of the finishing layer
1.2.7.	Horizontal crack with an opening width of 20 mm.	Photo No. 39	Seal the cracks with M100 cement mortar. Perform localized repair of the finishing layer

1.2.8.	Unorganized drainage of rainwater, leading to dampness in wall structures, the foundation, and the soil base, as well as moisture penetration into the basement	Photos No. 63-69	Implement waterproofing for wall structures and the foundation
2. Stairwell			
2.1.	Cracks at the points where the stair flight rests on the brick masonry	Photo No. 23	Seal the cracks with M100 cement mortar. Perform localized repair of the finishing layer
2.2.	Cracks along the stringer	Photos No. 24, 31	Reinforce the stair flight (in accordance with the developed reinforcement project) or completely dismantle the existing stair flight
2.3.	Absence of the protective layer on the monolithic slab of the basement ceiling, reinforcement corrosion in axes 6-7, A-B	Photos No. 45-47	Clean the structural and working reinforcement from corrosion using mechanical and chemical methods, apply anti-corrosion protection, and restore the protective concrete layer over the structural and working reinforcement
2.4.	Corrosion of metal structures	Photos No. 48-49, 57, 58	Clean the metal structures from corrosion using mechanical and chemical methods, and apply anti-corrosion protection
2.5.	Cracks at the basement entrance (foundation structure)	Photos No. 51, 52, 54, 55	Seal the cracks with M100 cement mortar, install gypsum gauges, and monitor. Subsequently, reinforce according to the developed reinforcement project
2.6.	Subsidence of the stair landing by 35 mm	Photos No. 37-39	Reinforce the stair flight (in accordance with the developed reinforcement project) or completely

			dismantle the existing stair flight
2.7.	Deflection of the channel beam at the point where the stair flight rests on it (20 mm)	Photo No. 30	Reinforce the stair flight (in accordance with the developed reinforcement project) or completely dismantle the existing stair flight
2.8.	Cracks in the stair flights	Photo No. 56	Seal the cracks with M100 cement mortar
2.9.	Subsidence of the stair flight in the basement (right side)	Photo No. 62	Clean the surface of the steps and fill with monolithic concrete of class C20/25

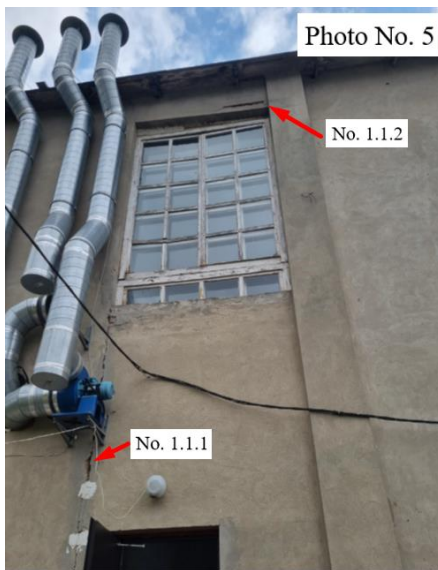


Fig. 1. Cracks (*a*, *b*) and dampness (*b*) on the outer side of the walls

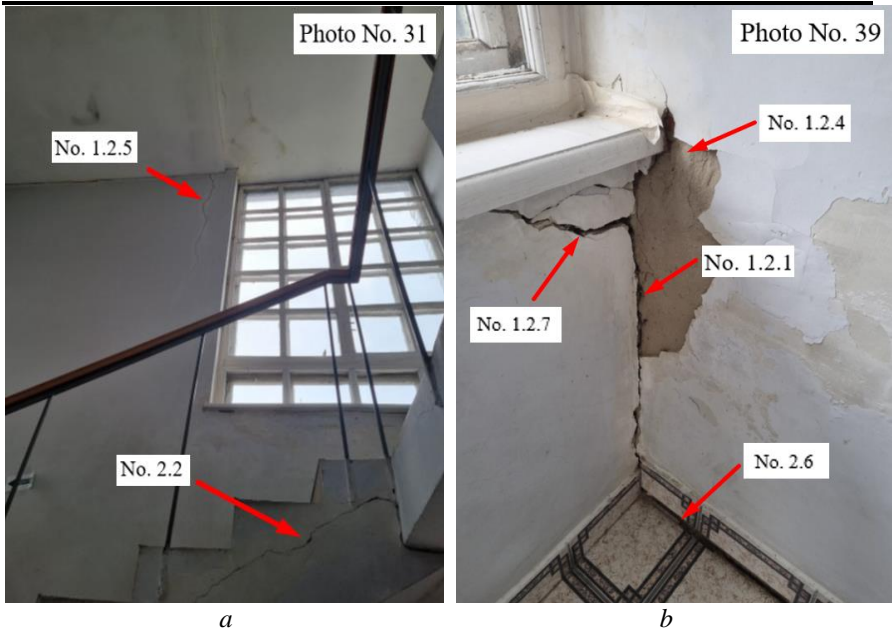


Fig. 2. Cracks along the stringer (a), subsidence of the stair landing (b)

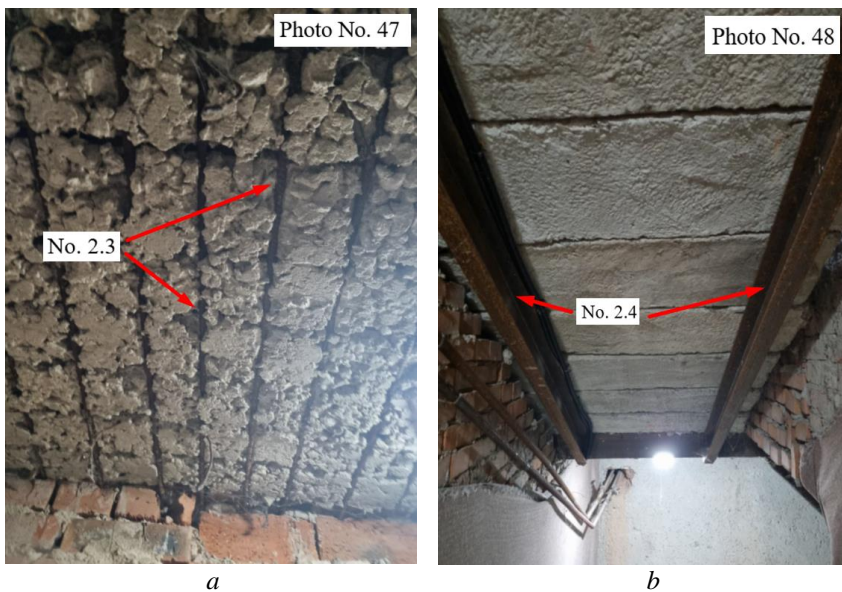


Fig. 3. Corrosion of reinforcement (a) and metal structures (b)

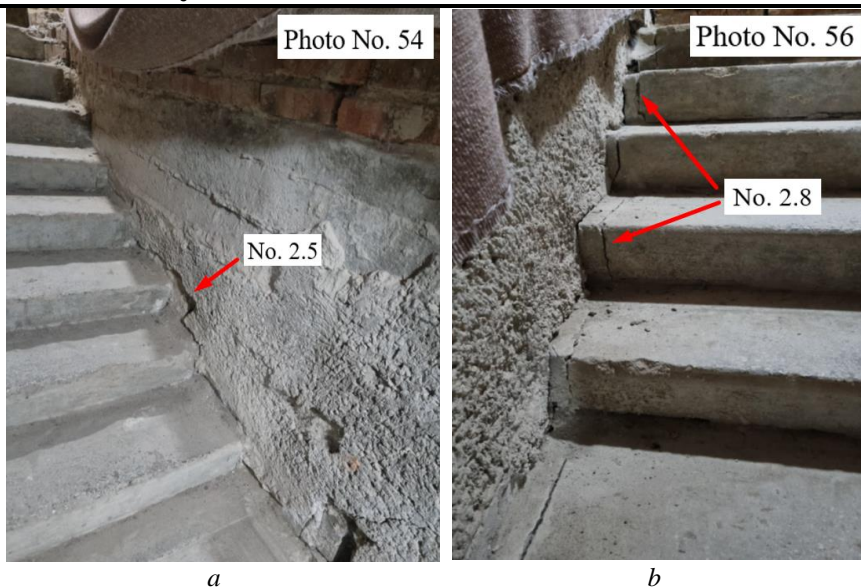


Fig. 4. Cracks in the foundation (a) and in the stair flights (b)

Conclusions and Recommendations:

1. The technical condition of the structures of the extension to the public building is unsuitable for normal operation – classified as "Category 3" and does not meet the requirements for "Category 1" or "Category 2" in terms of load-bearing capacity and normal implementation of protective functions. The conducted analysis of defects, damages, and previously installed gypsum gauges indicates that the extension structure is on the verge of transitioning to an emergency condition – classified as "Category 4." This is due to the deviation of the wall in axes A-B from vertical being 2 cm (Category 4 is assigned when the deviation reaches 3 cm) and the subsidence of the stair landing being 3.5 cm (Category 4 is assigned when subsidence reaches 5 cm) at the time of the inspection.

Given the negative impact of external environmental factors (atmospheric precipitation) on the extension structure, the existing defects and damages will continue to progress, further reducing the durability of the structures and components of the building. This will ultimately lead to the structures reaching an emergency condition – classified as "Category 4," with a potential risk of the extension walls detaching from the main building.

2. At present, it is necessary to carry out the immediate reinforcement of the extension structures (walls and stairwell) and bring the technical condition of the extension's structures and components to a satisfactory level – Category "2," following the requirements of DSTU 9273:2024. The reinforcement must be performed by the developed working reinforcement project and the project for work execution, or the extension structures must be dismantled.

3. The technical condition of the structures and components of the external walls must be reinforced with metal ties of $\varnothing 20$ mm around the perimeter of the extension. Additionally, the window opening lintels must be strengthened with $\perp 125 \times 125 \times 10$ mm angles, framed on both sides and connected with $\varnothing 12$ mm studs at intervals of 400–500 mm, following the developed working reinforcement project.

4. The technical condition of the structures and components of the stairwell must be reinforced in accordance with the developed working reinforcement project, and construction work must be carried out in accordance with the work execution project.

5. Until the completion of measures to restore operational suitability, the object (the extension to the public building) must be used under a restricted operational regime.

Thus, as a result of the technical inspection of the extension to the public building, significant deformations of the load-bearing structures were identified, requiring the development of a reinforcement project to address them.

It is necessary to conduct continuous monitoring of the object (install gypsum gauges at key locations for observation) in its unsuitable condition for normal operation to control the processes occurring in the structures before and during the restoration (reinforcement) works.

An alternative acceptable option is the complete demolition of the extension.

References

1. DSTU 9273:2024. Nاستanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsiniuvannia yikhnoho tekhnichnoho stanu. Mekhanichnyi opir ta stiikist. 2. DBN V.1.2-14:2018. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv. Zahalni pryntsy py zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud. 3. DBN V.2.2-40:2018. Zi zminoiu №1. Budynky i sporudy. Inkluzyvnist budivel i sporud. Osnovni polozhennia. 4. DSTU B V.2.7-220:2009. Budivelni materialy. Betony. Vyznachennia mitsnosti mekhanichnymy metodamy neruinivnoho kontroliu. 5. DSTU B V.2.7-224:2009. Betony. Pravyla kontroliu mitsnosti. 6. DSTU B V.2.7-226:2009 Budivelni materialy. Betony. Ultrazvukovy metod vyznachennia mitsnosti.

7. Drobyshtynets S.Ia., Kysliuk D.Ia., Talakh L.O., Uzhehov S.O., Uzhehova O.A. Obstezhennia monolitnoho zalizobetonnoho perekryttia z trishchynamy // Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy: zb. nauk. prats – Rivne: NUVHP, 2021. Vyp. 40. – S.242-250. **8.** Rotko S.V., Uzhehova O.A., Pasichnyk R.V., Hontar V.O. Tekhnichne obstezhennia konstruksii tekhpidualia adminbudivli u m. Lutsku // Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi: zb. nauk. prats – Lutsk: LNTU, 2022. – Vyp. 17. - S.120-130. **9.** Bondarskyi O.H., Drobyshtynets S.Ia., Luchynets S.A., Rotko S.V., Uzhehova O.A. Tekhnichne obstezhennia zalizobetonnykh konstruksii // Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi: zb. nauk. prats – Lutsk: LNTU, 2023. – Vyp. 19. - S.22-32. **10.** <https://lntu.edu.ua/uk/naukovo-doslidna-budivelna-laboratoriya>

Література

1. ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. **2.** ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. **3.** ДБН В.2.2-40:2018. Зі зміною №1. Будинки і споруди. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. **4.** ДСТУ Б В.2.7-220:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Визначення міцності механічними методами неруйнівного контролю. **5.** ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Бетони. Правила контролю міцності. **6.** ДСТУ Б В.2.7-226:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Ультразвуковий метод визначення міцності. **7.** Дробишинець С.Я., Кислюк Д.Я., Талах Л.О., Ужegov С.О., Ужегова О.А. Обстеження монолітного залізобетонного перекриття з тріщинами // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць – Рівне: НУВГП, 2021. Вип. 40. – С.242-250. **8.** Ротко С.В., Ужегова О.А., Пасічник Р.В., Гонтар В.О. Технічне обстеження конструкцій техпідпілля адмінбудівлі у м. Луцьку // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. праць – Луцьк: ЛНТУ, 2022. – Вип. 17. - С.120-130. **9.** Бондарський О.Г., Дробишинець С.Я., Лучинець С.А., Ротко С.В., Ужегова О.А. Технічне обстеження залізобетонних конструкцій // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. праць – Луцьк: ЛНТУ, 2023. – Вип. 19. - С.22-32 **10.** <https://lntu.edu.ua/uk/naukovo-doslidna-budivelna-laboratoriya>

Аналітичні розв'язки спрощених рівнянь руху у задачах балістики матеріальної точки

Analytical solutions of simplified equations of motion in ballistic problems of a material point

Задорожний А.О., к.т.н., доц. (Військовий інститут танкових військ НУ «Харківський політехнічний інститут»), Човнюк Ю.В., к.т.н., доц. (Київській національний університет будівництва і архітектури, м. Київ), Стаховський О.В., д.т.н. проф. (Національний університет оборони України, м. Київ), Чередніченко П.П., доц., Остапушенко О.П., к.т.н., доц. (Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ)

Zadorozhny Andrey, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv), Chovnyuk Yurii, Ph.D., Associate Professor (Kyiv National University of Construction and Architecture), Stakhovsky Oleh, Doctor of Engineering, Professor (National University of Defense of Ukraine, Kyiv), Cherednichenko Petro, Associate Professor, Ostapushchenko Olga, Ph.D, Associate Professor (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv)

У роботі обґрунтоване застосування спеціальної функції Ламберта для розв'язку задач балістики матеріальної точки із урахуванням опору газоподібного (повітряного) середовища. Наведені аналітичні розв'язки спрощених рівнянь руху для пологих і крутих (відносно горизонту) траєкторій. Для розрахунку пологої (настильної) траєкторії польоту проведений порівняльний аналіз результатів, отриманих за допомогою функції Ламберта, з класичними, отриманими Дідіоном. Для випадку крутих (відносно горизонту) траєкторій польоту матеріальної точки вперше отримані аналітичні розв'язки задачі зовнішньої балістики у квадратурах. Отримані у роботі результати можуть бути використані для уточнення і вдосконалення існуючих інженерних методів розрахунку траєкторій руху та основних його характеристик у задачах зовнішньої балістики матеріальної точки, коли враховується нелінійний (пропорційний квадрату швидкості руху) опір середовища, у задачах сучасного будівельного виробництва, які описують процеси торкretування бетонних сумішей, а також задля ідентифікації основних параметрів руху, зокрема, коефіцієнта парусності.

The paper substantiates the application of Lambert's special function for solving ballistic problems of a material point taking into account the resistance of gaseous (air) medium. Analytical solutions of simplified equations of motion for gentle and steep (relative to the horizon) trajectories are given. A comparative analysis of the results obtained using the Lambert function with the classical results obtained by Didion is carried out for the calculation of a hollow (hovering) flight trajectory. For the case of steep (relative to the horizon) flight trajectories of a material point, analytical solutions of the problem of external ballistics in quadrature have been obtained for the first time. The results obtained in this paper can be used to refine and improve the existing engineering methods for calculating the trajectories of motion and its main characteristics in the problems of external ballistics of a material point, when the nonlinear (proportional to the square of the velocity of motion) resistance of the medium is taken into account, in the problems of modern construction production, describing the processes of shotcrete concrete mixtures, as well as for the identification of the main parameters of motion, in particular, the coefficient of sailing.

Ключові слова: аналітика, розв'язки, рівняння руху, балістика, матеріальна точка.

Keywords: analytics, solutions, equations of motion, ballistics, material point.

Постановка проблеми. При швидкостях руху частинки, які співвимірні чи перевищують її швидкість витання, теорія квадратичного опору найкращим чином узгоджується з дослідами [1], ніж теорія лінійного опору. У зв'язку з цим, у даному дослідженні розглянуті задачі балістики матеріальної точки, коли сила опору газоподібного середовища пропорційна квадрату швидкості руху точки.

При визначенні сили опору середовища розповсюджені два способи. У першому способі її обчислюють за формулою:

$$R_{\text{оп}} = K \cdot mv^2, \quad (1)$$

де: m – маса рухомої точки; v – швидкість руху; K – коефіцієнт парусності; $[K] = \text{м}^{-1}$. Останній пов'язаний зі швидкістю витання частинки $v_{\text{в}}$ співвідношенням:

$$K = \frac{g}{v_{\text{в}}^2}, \quad (2)$$

де: g – прискорення вільного падіння.

При визначенні $R_{\text{оп}}$ другим способом приймають:

$$R_{\text{он}} = K_1 \cdot S \cdot v^2, \quad (3)$$

де: S – площа поперечного перерізу частинки (мідель), перпендикулярна вектору швидкості \vec{v} ; K_1 – розмірний коефіцієнт пропорційності. Згідно з дослідженнями Ейфеля, у системі СІ, $K_1=0,24 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$.

У подальшому в даному дослідженні $R_{\text{он}}$ буде обчислюватись першим способом, пов'язуючи силу аеродинамічного опору з коефіцієнтом парусності.

Існують різні способи отримання інтегральних представлень координат на траєкторії руху матеріальної точки [2-4].

Необхідно розв'язати систему нелінійних рівнянь:

$$\begin{cases} \ddot{x} + K\dot{x}(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{1/2} = 0; \\ \ddot{y} + K\dot{y}(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{1/2} = -g, \end{cases} \quad (4)$$

яка записана у прямокутній системі координат XOY й описує траєкторію руху частинки.

Систему (4) слід доповнити початковими умовами:

$$x(0) = y(0) = 0; \quad \dot{x}(0) = v_0 \cos \theta_0; \quad \dot{y}(0) = v_0 \sin \theta_0. \quad (5)$$

Інтегральне представлення координат точок траєкторії руху [1, 4] має вигляд:

$$x = -\frac{1}{K} \cdot \int_{\theta_0}^{\theta} \frac{d\theta}{f(\theta) \cos^2 \theta}; \quad y = -\frac{1}{K} \cdot \int_{\theta_0}^{\theta} \frac{\sin \theta d\theta}{f(\theta) \cos^3 \theta}. \quad (6)$$

Тут:

$$\begin{cases} f(\theta) = \lambda + \frac{\sin \theta_0}{\cos^2 \theta_0} + \ln \left\{ \frac{1 + \sin \theta_0}{\cos \theta_0} \right\} - \frac{\sin \theta}{\cos^2 \theta} - \ln \left\{ \frac{1 + \sin \theta}{\cos \theta} \right\}; \\ \lambda = \frac{g}{K(v_0 \cos \theta_0)^2}; \quad 0 \leq \theta_0 < \frac{\pi}{2}; \quad -\frac{\pi}{2} < \theta \leq \theta_0. \end{cases} \quad (7)$$

Інтеграл (6) не вдається подати аналітично через елементарні функції, але їх чисельне інтегрування не викликає ніяких труднощів. Задля проведення балістичних розрахунків у [1] створені скорочені таблиці інтегралів (6), які дозволяють визначати дальність прольоту частинки у горизонтальному напрямку при умові рівності ординат початкової та кінцевої точок траєкторії, а також при горизонтальному вильоті частинки з наступним її падінням на задану висоту. У [2] описана процедура застосування спеціальних таблиць інтегралів (6), проте без конкретних обчислень, оскільки такі таблиці у цитованому джерелі літератури відсутні.

Розглянемо у подальшому аналітичні розв'язки задач балістики матеріальної точки для різних варіантів траєкторії її руху.

1. Розрахунок пологої (настильної) траєкторії польоту: розв'язок Дідіона та його інверсія за допомогою функції Ламберта

Для розрахунку пологої (настильної) траєкторії польоту Дідіон [5, 6] побудував наближений розв'язок системи (4), за початкових умов (5), у елементарних функціях, визначивши у явному вигляді залежність $y = y(x)$. Проте, її для розрахунку дальності польоту частинки x_* використати важко, оскільки необхідно чисельно розв'язувати трансцендентне рівняння $y_* = y(x_*)$ за заданого значення y_* . Тому для спрощення розрахунків бажано мати явну аналітичну залежність $x = x(y)$, обернену до тієї, яку запропонував Дідіон. Обвернена залежність є неоднозначною й не виражається у елементарних функціях. Задля інверсії розв'язку Дідіона необхідно використати функцію Ламберта [1]. Тоді визначення x_* зведеться до знаходження значення функції Ламберта за таблицями, поданими у [1], або ж за допомогою її обчислення на ПЕОМ у середовищі «Maple» [7].

Вважаючи силу опору повітря пропорційною квадрату швидкості руху точки вповодж настильної траєкторії ($\theta \leq 15^\circ$), Дідіон знайшов залежність $y(x)$ у вигляді [6]:

$$y = y(x) = \frac{v_2}{v_1} \cdot x - \frac{g}{(2K\gamma v_1)^2} \cdot \{\exp(2K\gamma x) - 2K\gamma x - 1\}. \quad (8)$$

Тут $v_1 = v_0 \cos \theta_0$; $v_2 = v_0 \sin \theta_0$ – проєкції вектора початкової швидкості точки \vec{v}_0 на вісь Ox та Oy ; K – коефіцієнт парусності частинки; γ – постійний множник, близький до одиниці (згідно з [6] $\gamma = 1,017$, а у Дідіона $\gamma = 1,012$).

У [1] побудована залежність $x = x(y)$, зворотна до (8). При цьому, для створення інверсії розв'язку Дідіона, використана функція Ламберта, основні відомості про яку подані нижче.

Спеціальна функція, яка розглянута нижче, використовувалась ще у роботі Л.Ейлера у 1779 р., але не мала самостійного значення аж до 80-х років ХХ століття. Як самостійна функція була введена у системі комп'ютерної алгебри Maple й названа ім'ям Lambert W. Ім'я Іоганна Генріха Ламберта було обрано тому, що Л.Ейлер робив посилання у своїй роботі на праці Ламберта.

Використання згаданої вище функції дозволяє вирішувати аналітично деякі трансцендентні рівняння, тобто будувати інверсії низки відомих рішень у задачах балістики матеріальної точки. Ці інверсії виявляються зручними для розрахунку дальності польоту матеріальної точки та основних параметрів траєкторії її руху.

Функція Ламберта $W(\xi)$ задовольняє рівнянню:

$$W(\xi) \cdot \exp[W(\xi)] = \xi. \quad (9)$$

Якщо рівняння (9) прологарифмувати, тоді маємо при $\xi > 0$ й $W(\xi) > 0$:

$$\ln W(\xi) + W(\xi) = \ln \xi. \quad (10)$$

Тому, якщо $f > 0$ й:

$$\ln f + f = x = \ln(e^x), \quad (11)$$

тоді:

$$f = W(e^x) > 0. \quad (12)$$

Аналогічно, якщо $f > 0$ й:

$$f - \ln f = x, \quad (13)$$

тоді

$$f = -W(-e^{-x}). \quad (14)$$

У цьому випадку аргумент функції Ламберта від'ємний. На проміжку $x \in [-e^{-1}, 0]$ $W(x)$ має дві гілки дійсних від'ємних значень. У подальшому їх будемо позначати через $W_1(x)$ – головна гілка й $W_2(x)$ – допоміжна гілка. Ці гілки стикуються при $x = -e^{-1}$. У цій точці $W_1(-e^{-1}) = W_2(-e^{-1}) = -1$. Зі зростанням x $W_1(x)$ зростає, а $W_2(x)$ спадає. У області $x > 0$ $W(x)$ має додатні значення, причому $W(0) = 0$, а $W(e) = 1$

У роботі [1] наведені таблиці значень $W_1(-\xi)$, $W_2(-\xi)$ й $W(\xi)$ при $\xi \geq 0$.

Розклад функції Ламберта у степеневий ряд має вигляд [8]:

$$W(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-n)^{n-1} \cdot x^n}{n!}. \quad (15)$$

Цей ряд збігається на проміжку $x \in \left[-\frac{1}{e}; \frac{1}{e}\right]$, причому у області від'ємних x розклад дає $W_1(x)$.

При великих x виконується асимптотика [9]:

$$W(x) \approx P - Q + \frac{Q}{P} + \frac{Q \cdot (Q-2)}{2P^2} + \frac{Q \cdot (2Q^2 - 9Q + 6)}{6P^3} + \frac{Q \cdot (3Q^3 - 22Q^2 + 36Q - 12)}{12P^4}, \quad (16)$$

де: $P = \ln x$; $Q = \ln P$.

За допомогою ПЕОМ $W(x)$ зручно обчислювати у середовищі Maple [7].

Похідна функції $W(x)$ має вигляд:

$$W'(x) = \frac{W}{x \cdot (1+W)} = \frac{1}{x \cdot (1+1/W)}. \quad (17)$$

Якщо ввести логарифмічне перетворення:

$$x = \frac{1}{2K\gamma} \ln \xi, \quad (18)$$

тоді вираз (8) можна звести до вигляду [1]:

$$\ln\left(\frac{\xi}{a}\right) - \left(\frac{\xi}{a}\right) = -\eta, \quad (19)$$

де: $a = 1 + \frac{2K\gamma v_1 v_2}{g}$; $b = 1 - \frac{(2K\gamma v_1)^2}{g} \cdot y$; $\eta = \frac{b}{a} + \ln a$.

Рівняння (19) з невідомим $\xi \geq 1$, має два розв'язки:

$$\xi_j = -a W_j(-e^{-\eta}); \quad j = \overline{(1; 2)}, \quad (20)$$

у яких $W_{1,2}(-\xi)$ й $(x \geq x_e)$ основна й допоміжна дійсні гілки функції Ламберта від'ємного аргументу. (Тут (x_e, y_e) – точка максимуму на траєкторії польоту частинки). Тому, згідно з (18) й (20), на висхідній ділянці траєкторії ($x \leq x_e$):

$$x = \frac{1}{2K\gamma} \cdot \ln[-aW_1(-e^{-\eta})]; \quad (21)$$

а на нисхідній ($x \geq x_e$):

$$x = \frac{1}{2K\gamma} \cdot \ln[-aW_2(-e^{-\eta})]. \quad (22)$$

Розв'язки (21) та (22) стикуються у точці максимуму, де $\eta = 1$:

$$x = x_e = \frac{1}{2K\gamma} \cdot \ln a; \quad y = y_e = \frac{g}{(2K\gamma v_1)^2} \cdot (1 - a + a \cdot \ln a), \quad (23)$$

внаслідок того, що $W_1(-e^{-1}) = W_2(-e^{-1}) = -1$.

Зазвичай, вирішуючи практичні задачі необхідно обчислювати дальність польоту частинки $x_* > x_e$ при заданому значенні $y_* < y_e$. Тоді, згідно з (22):

$$x_* = \frac{1}{2K\gamma} \cdot \ln[-aW_2(-e^{-\eta_*})], \quad (24)$$

причому $\eta_* = \frac{1}{a} \cdot \left[1 - \frac{(2K\gamma v_1)^2}{g} \cdot y_* \right] + \ln a$.

Знаючи значення x_* , нескладно розрахувати й кут падіння частинки θ_* . Продиференціюємо вираз (8) по x , тоді для обчислення цього кута матимемо формулу:

$$\theta_* = \arctg \left\{ \frac{v_2}{v_1} - \frac{g}{2K\lambda v_1^2} \cdot (\exp[2K\gamma x_*] - 1) \right\}. \quad (25)$$

За абсолютною величиною цей кут більший за θ_0 .

Формула (24) може бути перетворена для наближеного обчислення x_* з системи рівнянь (точної) (4), а саме:

$$x_* = \frac{1}{2\tilde{\gamma}K} \ln[-\tilde{a} \cdot W_2(-e^{-\tilde{\eta}_*})], \quad (26)$$

причому: $\tilde{a} = 1 + \frac{2\tilde{\gamma}}{\lambda} \cdot tg\theta_0$; $\tilde{\eta}_* = \frac{1}{\tilde{a}} + \ln \tilde{a}$; $\tilde{\gamma} = 2(1 + \cos\theta_0)^{-1}$.

Тобто наближений розв'язок Дідіона може бути поданий (для дальності польоту частинки x_*) у вигляді функції Ламберта.

З метою верифікації формули (24) проведені обчислення x_* при різних значеннях v_B й K . Результати розрахунків записані у таблиці 1.

Таблиця 1

Значення x_* при різних K

$x_*, \text{ м}$	$K, \text{ м}^{-1}$	$x_*, \text{ м}$	$K, \text{ м}$	$x_*, \text{ м}$	$K, \text{ м}$
9,65	0,098	$5 \cdot 10^4$	10^{-4}	$5 \cdot 10^7$	10^{-7}
5,28	0,294	$5 \cdot 10^5$	10^{-5}	$5 \cdot 10^8$	10^{-8}
2,31	0,980	$5 \cdot 10^6$	10^{-6}	$5 \cdot 10^9$	10^{-9}

Слід зазначити, що результати, отримані для $K < 10^{-3}$ неточні, оскільки у таблицях функцій Ламберта [1] відсутні значення $W(\xi)$ при $\xi \rightarrow 0$ (найменше значення $\xi = 10^{-3}$, для якого ще визначена функція Ламберта). Тому отримані значення x_* слід вважати орієнтовними (або асимптотичними).

Отримані розв'язки Дідіона й їх інтерпретація через функцію Ламберта можуть бути також використані й для ідентифікації коефіцієнта парусності (K) частинки [1].

2. Аналітичні розв'язки спрощених рівнянь руху частинки для пологих (настильних) траєкторій у задачах балістики

Якщо слід отримати замкнений наближений розв'язок задачі балістики, тоді обмежумось кутами $0 < \theta_0 \leq 20^\circ$. Слід зазначити, що таке обмеження часто виконується у практичних ситуаціях, коли досліджують пологі (настильні) траєкторії руху частинки, яка рухається під невеликими кутами до горизонту. У таких випадках виконуються наступні нерівності:

$$\dot{x}^2 \gg \dot{y}^2, \quad (\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{1/2} \approx \dot{x}. \quad (27)$$

Тому замість системи рівнянь (4) будемо розв'язувати аналітичним шляхом спрощену систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \ddot{x} + K \cdot \dot{x}^2 = 0; \\ \ddot{y} + K \cdot \dot{x} \cdot \dot{y} = -g, \end{cases} \quad (28)$$

за початкових умов (5).

Розв'язок спрощеної задачі Коші отриманий у [10] і має такий вигляд:

$$x(t) = \frac{1}{K} \ln(1 + Kv_1 t); \quad (29)$$

$$y(t) = \tilde{b} \cdot \ln(1 + Kv_1 t)^2 - \frac{g}{(2Kv_1)^2} \cdot [(1 + Kv_1 t)^2 - 1], \quad (30)$$

де: $\tilde{b} = \frac{1}{2Kv_1} \cdot \left(v_2 + \frac{g}{2Kv_1} \right)$.

Якщо ввести у запис співвідношень (29) й (30) функцію Ламберта так, як це зроблено у [1] (з урахуванням виправлення помилок, допущених у цій роботі), тоді матимемо:

$$x = x(y) = \frac{1}{2K} \cdot \ln \left\{ -\frac{(2Kv_1)^2 \cdot \tilde{b}}{g} \cdot W_1[-\exp(-\eta)] \right\}, \text{ при } x \leq x_e, \quad (31)$$

й

$$x = x(y) = \frac{1}{2K} \cdot \ln \left\{ -\frac{(2Kv_1)^2 \cdot \tilde{b}}{g} \cdot W_2[-\exp(-\eta)] \right\}, \text{ при } x \geq x_e. \quad (32)$$

У точці максимуму (по висоті) траєкторії ($y = y_e$; $x = x_e$) можна отримати:

$$x = x_e = \frac{1}{2K} \cdot \ln \left\{ \frac{(2Kv_1)^2 \cdot \tilde{b}}{g} \right\}. \quad (33)$$

З (31) й (32) випливає доволі компактна формула для обчислення горизонтальної дальності польоту ($x_* > x_e$) [10]:

$$x_* = \frac{1}{2K} \cdot \ln \left\{ -\frac{(2Kv_1)^2 \cdot \tilde{b}}{g} \cdot W_2[-\exp(-\tilde{\eta}_*)] \right\}. \quad (34)$$

Тут, у (34):

$$\tilde{\eta}_* = \frac{1}{\tilde{b}} \cdot \left[\bar{h} + \frac{g}{(2Kv_1)^2} \right] - \ln \left[\frac{g}{(2Kv_1)^2 \cdot \tilde{b}} \right]; \quad (35)$$

$\bar{h} = -y_*$ – висота падіння частинки.

Розв'язок (29) можна використати й для ідентифікації коефіцієнта парусності K (якщо, зрозуміло, траєкторія польоту частинки є настільною/пологою). При цьому слід виміряти тривання (час) польоту частинки t , на відстань x_* . Тоді, в силу (29):

$$K \cdot x_* = \ln(1 + Kv_1 t_*), \quad (36)$$

або:

$$\ln \tilde{z} - \tilde{z} = -\xi. \quad (37)$$

У рівнянні (37):

$$\tilde{z} = \frac{x_*}{v_1 t_*} \cdot (1 + K v_1 t_*); \quad \xi = \frac{x_*}{v_1 t_*} - \ln \left(\frac{x_*}{v_1 t_*} \right). \quad (38)$$

Оскільки $\tilde{z} = -W_2(-\exp[-\xi])$, тоді:

$$K = -\frac{1}{v_1 t_*} - \frac{1}{x_*} \cdot W_2(-\exp[-\xi]). \quad (39)$$

Насамкінець зазначимо, що за умови вильоту частинок під невеликим кутом до горизонту, для розрахунку x_* та K у нерухомому повітряному середовищі (з невеликою похибкою) можна застосувати формули (34) й (39), обчислюючи по таблиці, поданих у [1], значення функції Ламберта.

3. Аналітичні розв'язки спрощених рівнянь руху частинки для траєкторій, які мають кут нахилу до горизонту, близький до 90° .

Якщо слід отримати замкнений наближений розв'язок задачі зовнішньої балістики матеріальної частинки при початкових кутах нахилу її траєкторії до горизонту, близьких до 90° , тобто: $80^\circ \leq \theta_0 < 90^\circ$, слід розв'язувати задачу Коші для спрощеної, у порівнянні з (4), системи диференціальних рівнянь за умови виконання наступних нерівностей:

$$\dot{y}^2 \gg \dot{x}^2; \quad (\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{1/2} \approx \dot{y}. \quad (40)$$

Таким чином, для опису таких крутих по відношенню до горизонту балістичних траєкторій руху частинки слід використовувати наступну систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \ddot{x} + K \cdot \dot{x} \cdot \dot{y} = 0; \\ \ddot{y} + K \cdot \dot{y}^2 = -g. \end{cases} \quad (41)$$

Зазначимо, що така модель руху діє тільки на етапі підйому до найвищої точки траєкторії ($y = y_e$), а при русі донизу частинки з найвищої точки підйому до поверхні землі слід змінити знак перед g на протилежний. У подальшому тут розглянутий тільки перший етап руху частинки (вгору, до найвищої точки підйому $y = y_e$).

Розв'язок спрощеної задачі Коші у цьому випадку має такий вигляд:

$$x(t) = \frac{1}{2K} \cdot tg \theta_0 \cdot \ln(1 + K v_1 t)^2; \quad (42)$$

$$y(t) = \frac{g}{Kv_0 \sin \theta_0} \cdot \left[\frac{v_0^2 \sin^2 \theta_0}{(g/K)} + 1 \right] \cdot \left(\frac{1}{\beta a^*} \right) \cdot \left\{ - \frac{1}{2 \cdot \left(\frac{1}{(a^*)^2} + 1 \right)} \cdot \ln(\tilde{z}^2 + 1) + \right. \\ \left. + \frac{1}{\left(a^* + \frac{1}{a^*} \right)} \cdot \operatorname{arctg}(\tilde{z}) + \frac{1}{\left(\frac{1}{(a^*)^2} + 1 \right)} \cdot \ln |a^* \tilde{z} + 1| \right\} - \frac{gt}{Kv_0 \sin \theta_0}, \quad (43)$$

де: $a^* = v_0 \cdot \sin \theta_0 \cdot \sqrt{\frac{K}{g}}$; $\beta = \sqrt{gK}$; $\tilde{z} = tg(\sqrt{gK} \cdot t)$.

Причому, для розмірностей коефіцієнтів, які входять у (43), маємо:

$$[a^*] = [\tilde{z}] = 1; [\beta] = c^{-1}. \quad (44)$$

Отже, співвідношення (42) й (43) задають параметри балістичної (під кутом до горизонту, близьким до 90°) траєкторії руху частинки на етапі її підйому до максимальної точки, тобто: $0 < x \leq x_e$; $0 < y \leq y_e$. Для визначення параметрів вказаної вище траєкторії на етапі спуску (із найвищої точки підйому $(x_e; y_e)$ донизу, до поверхні землі) слід використати для $x(t)$ співвідношення (42), а для $y(t)$ – (45).

Для визначення залежностей $x(y)$ та $y(x)$ на кожному з етапів руху частинки (спочатку вгору, до найвищої точки підйому $(x_e; y_e)$, а потім донизу, до поверхні землі, тобто до точки $(x_*; 0)$) слід використати отримані залежності (42), (43) й (45), а також чисельний алгоритм побудови траєкторії руху за допомогою ПЕОМ (для кожного моменту часу t , $t \in [0; t_*]$, де t_* – тривалість руху у повітряному просторі частинки).

$$y(t) = \frac{g}{Kv_0 \sin \theta_0} \cdot \left[\frac{v_0^2 \sin^2 \theta_0}{(g/K)} + 1 \right] \cdot \left(\frac{1}{\beta a^*} \right) \cdot \left\{ - \frac{1}{2 \cdot \left[\frac{1}{(a^*)^2} + 1 \right]} \cdot \ln(\tilde{z}^2 + 1) + \right. \\ \left. + \frac{1}{\left(a^* + \frac{1}{a^*} \right)} \cdot \arctg(\tilde{z}) + \frac{1}{\left[\frac{1}{(a^*)^2} + 1 \right]} \cdot \ln |a^* \tilde{z} + 1| \right\} + \frac{gt}{Kv_0 \sin \theta_0}, \quad (45)$$

Висновки

1. Обґрунтовані фізико-механічна та математична моделі руху матеріальної точки/частинки у нерухомому (спокійному) газоподібному середовищі з квадратичним відносно швидкості руху опором.

2. Отримані інтегральні представлення координат на траєкторії руху матеріальної точки, розв'язана задача Коші у точній постановці. Задля опису параметрів траєкторії руху отримані наближені розв'язки, які співпадають з результатами Дідіона та Ольшанського В.П. й інших, де використана спеціальна функція Ламберта.

3. Проведений детальний аналіз руху матеріальної частинки у повітряному середовищі для двох випадків траєкторії руху: а) настільної; б) крутої балістичної, з кутом нахилу до горизонту, близьким до 90°. Для обох випадків отримані наближені розв'язки задачі Коші у квадратурах.

4. Отримані результати можуть бути у подальшому використані для уточнення й вдосконалення інженерних методів розрахунку у задачах балістики матеріальної маси, яка рухається у повітряному середовищі з квадратичним по швидкості руху опором.

References

1. Olshanckiy V.P., Olshanskyi S.V. Funktsiya Lambertа v zadachakh ballystyky materyalnoi tochky. – Kharkov : Yzdatel Savchuk A.O., 2013. 204 s. {in Russian}.
2. Zhukovskiy N.E. Teoretycheskaia mekhanyka. – M.-L.: НУТТА, 1952. 811 s. {in Russian}.

3. Zayka P.M., Melnyk V.Y., Anykeev A.Y. Svobodnoe dvyzhenye materialnoi tochky v spokojnoi yzotropnoi hazoobraznoi srede. Vestnyk NTU «KhPY»: Dynamyka y prochnost mashyn. – Kh.: NTU «KhPY», 2001. Выр. 25. S. 153-164. {in Russian}.
4. Olshanskyi V.P., Dubovyk O.A. Voprosy vneshnei ballistyky ohnetushashchykh veshchestv. – Kh.: Mytets, 2005. 236 s. {in Russian}.
5. Bat N.Y., Dzhanelidze H.Iu., Kelzon A.S. Teoretycheskaia mekhanyka v prymerakh y zadachakh. T. 2. Dynamyka – M.: Nauka, 1991. 640. {in Russian}.
6. Loitsianskyi L.H., Lure A.Y. Kurs teoretycheskoi mekhanyky. – M.: Hostekhyzdat, 1948. 580 s. {in Russian}.
7. Diakonov V.P. Maple 8 v matematyke, fyzyke y obrazovanyy. – M.: Solon-Press, 2003. 656 s. {in Russian}.
8. Fariel Shafee. Lambert function and new-extensive form of entropy. IMA Journal of Applied Mathematics. 2007. V. 72. P.785-800. {in English}
9. Corless R.M., Gonnet G.H., D.E.G. Hare and others. On the Lambert W Function. Advances in Computational Mathematics. 1996. V. 5. P. 329-359. {in English}
10. Olshanskyi V.P., Kucherenko S.Y., Burlaka V.V., Malets O.N. K raschetu dalnasty poleta chastyts v hazovoi srede. Visnyk KhNTUSH: Suchasni napriamky tekhnolohii ta mekhanizatsii protsesiv pererobnykh i kharchovykh vyrobnytstv. – Kh.: KhNTUSH, 2012. Vyp. 131. S. 33-38. {in Russian}.

Література

1. Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. Функция Ламберта в задачах баллистики материальной точки. – Харьков : Издатель Савчук А.О., 2013. 204 с.
2. Жуковский Н.Е. Теоретическая механика. – М.-Л.: ГИТТА, 1952. 811 с.
3. Заика П.М., Мельник В.И., Аникеев А.И. Свободное движение материальной точки в спокойной изотропной газообразной среде. Вестник НТУ «ХПИ»: Динамика и прочность машин. – Х.: НТУ «ХПИ», 2001. Вып. 25. С. 153-164.
4. Ольшанский В.П., Дубовик О.А. Вопросы внешней баллистики огнетушащих веществ. – Х.: Митець, 2005. 236 с.
5. Бать Н.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т. 2. Динамика – М.: Наука, 1991. 640.
6. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики. – М.: Гостехиздат, 1948. 580 с.
7. Дьяконов В.П. Maple 8 в математике, физике и образовании. – М.: Солон-Пресс, 2003. 656 с.
8. Fariel Shafee. Lambert function and new-extensive form of entropy. IMA Journal of Applied Mathematics. 2007. V. 72. P.785-800.
9. Corless R.M., Gonnet G.H., D.E.G. Hare and others. On the Lambert W Function. Advances in Computational Mathematics. 1996. V. 5. P. 329-359.
10. Ольшанский В.П., Кучеренко С.И., Бурлака В.В., Малец О.Н. К расчету дальности полета частиц в газовой среде. Вісник ХНТУСГ: Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. – Х.: ХНТУСГ, 2012. Вип. 131. С. 33-38.

Ensuring the functioning of engineering, transport networks thanks to the strengthening of damaged reinforced concrete columns of their structures

Забезпечення функціонування інженерних, транспортних мереж завдяки підсиленню пошкоджених залізобетонних колон їх споруд

Ksonshkevych L.M., Ph.D. in Eng., Assoc. Prof., Krantovska O.M., Ph.D. in Eng., Assoc. Prof. (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa), Synii S. V., Ph.D. in Eng., Assoc. Prof., (Lutsk National Technical University, Lutsk), Malakhov V.V., Ph.D. in Eng., Assoc. Prof., Ksonshkevych A.S., student (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa)

Ксьоншкевич Л.М., к.т.н., доц., Крантовська О.М., к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса), Синій С.В., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк), Малахов В.В., к.т.н., доц., Ксьоншкевич А.С., студентка (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса)

The reliability of the functioning of engineering and transportation networks largely depends on the technical condition of their structural facilities. For example, in many design solutions for pumping stations in water supply, sewage, and heating networks, significant attention is paid to the compact use of the internal space of technological rooms. This is due to the need to accommodate large-sized technological equipment in these rooms, as well as to install a complex pipeline system in accordance with the operational scheme of the pumping station. Therefore, the use of columns in such spaces aligns well with the requirements for the reliable operation of engineering networks because it: ensures the technological requirements for the operation of the pumping station; facilitates the relocation, repair, and replacement of large-scale technological equipment and the installation of complex pipeline systems during modernization, reconstruction, or restoration after damage, while considering changes to the system's operational scheme. In this regard, the mechanical properties of concrete made with ordinary Portland cement, microsilica, and the SP-1 superplasticizer have been studied for its potential use as a high-strength material in reinforcing the load-bearing concrete structures, specifically the columns of engineering structures within engineering and transportation networks. These include pumping stations in water supply, sewage, and heating networks; district heating plants; bridges; and pedestrian overpasses. The concrete mix was developed to construct reinforced concrete jackets for strengthening damaged column structures. This technology has significant advantages for constructing column structures in terms of their resilience during shelling, particularly in terms of

execution speed, strength, reliability, and protection from various external impacts during such events. When performing research, first, mixing water, SP-1 additive, Portland cement and microsilica (from 0 to 10 %) were sequentially introduced, later they were combined with a dosed amount of quartz sand and granite crushed stone in an ordinary concrete mixer. The compressive strength of concrete was determined according to DSTU B V.2.7-214:2009. Experimental data showed that by varying the selected factors, it is possible to increase the strength of concrete in the initial period when it is doubled in compression.

Надійність функціонування інженерних, транспортних мереж значною мірою залежить від технічного стану їх інженерних споруд. Наприклад, у багатьох планувальних рішеннях насосних станцій мереж водопостачання, каналізації, тепlopостачання значна увага зосереджується на компактному використанні внутрішнього простору технологічних приміщень. Це пов'язано з потребою розташування у таких приміщеннях технологічного обладнання великих габаритів, а також влаштування складної системи трубопроводів відповідно до принципової схеми роботи насосної станції. Тому використання колон у таких приміщеннях добре відповідає вимогам надійної експлуатації інженерних мереж, оскільки: дозволяє забезпечити технологічні вимоги до роботи насосної станції; під час модернізації, реконструкції, відновлення після руйнування насосної станції створює можливості для переміщення, ремонту, заміни технологічного обладнання великих габаритів та можливості для монтажу складних систем трубопроводів, враховуючи потреби зміни принципової схеми системи. У зв'язку з цим, досліджено механічні властивості бетону на звичайному портландцементі з добавкою мікрокремнезему та суперпластифікатора СП-1 для можливості застосування його в якості високоміцного при підсиленні залізобетонних несучих конструкцій, а саме колон інженерних споруд інженерних, транспортних мереж (насосні станції мереж водопостачання, каналізації, тепlopостачання; районні котельні; мости та надземні пішохідні переходи). Склад бетону розроблявся для влаштування залізобетонних об'ємів для підсилення конструкцій пошкоджених колон. Така технологія має важливі переваги для влаштування конструкцій колон щодо стійкості конструкцій колон при обстрілах, зокрема – за швидкістю виконання, міцністю, надійністю, захисту від різного роду зовнішніх впливів при обстрілах. При виконанні досліджень спочатку послідовно вводили воду замішування, добавку СП-1, портландцемент та мікрокремнезем (від 0 до 10%), згодом вони поєднувалися з віддозованою кількістю кварцового піску і гранітного щебеню в ординарному бетонозмішувачі. Міцність бетону на стиск визначалася згідно DSTU Б В.2.7-214:2009. Експериментальні дані показали, що варіюючи обраними факторами можливо збільшити міцність бетону в початковий період на стиск удвічі.

Keywords: reconstruction, structures, column, strengthening, high-strength concrete, operation, research methodology, engineering and transport networks.

Ключові слова: реконструкція, споруди, колона, підсилення, високоміцний бетон, експлуатація, методологія досліджень, інженерні і транспортні мережі.

Problem statement. Modern operating conditions of Ukraine's critical infrastructure, including engineering structures of utility and transportation networks, have posed additional challenges for the construction industry. The destruction of critical infrastructure due to ongoing shelling necessitates urgent intervention—repairs and reconstruction with reinforcement of the load-bearing structures of these engineering facilities. Military actions result in damage or destruction of structures across various categories, including residential buildings, social infrastructure, industrial facilities, and engineering structures. Nevertheless, the swift restoration of the functionality of utility and transportation networks is a top priority, as it critically impact the country's economy, defense capabilities, and the living conditions of its population. Considering the operational characteristics of utility and transportation networks, most of their engineering structures are technically difficult or impossible to relocate or reconstruct promptly. Therefore, one of the most effective construction solutions in cases where engineering structures are damaged or partially destroyed is to ensure their rapid restoration. Maintaining the strength and reliability of these structural components is a critical requirement for the restoration technology. This challenge is often compounded by adverse weather conditions, such as heat, frost, or precipitation, which exacerbate the effects of shelling. Damage or destruction of structures may result from one or several factors of various origins, including physical-mechanical and chemical impacts, such as blows, explosions, heat and fire, chemical degradation, and dynamic loads.

Construction structures based on cement, concrete, and reinforced concrete are the most widespread in construction and at the same time one of the most resistant, in terms of strength and reliability, to external influences of various origins. This is also confirmed by the prevalence of their use in various concrete reinforcements and products. Therefore, despite certain disadvantages, the use of cement and concrete is one of the best solutions for strengthening reinforced concrete columns damaged as a result of shelling, as well as for ensuring their protection during the operation of facilities in engineering and transportation networks. Such structures of urban critical infrastructure, the structural scheme of most of which includes reinforced concrete columns, in particular, include: pumping stations of water supply, sewage, heating networks; district heating plants; bridges and bridge crossings.

Thus, since the main structures of columns of modern facilities in engineering and transportation networks are mainly made of concrete and monolithic reinforced concrete [1], and in connection with the increased requirements for their stability during shelling, special attention should be paid to their strengthening after damage or partial destruction using technologies for strengthening columns based on high-strength concrete. Therefore, the relevant research task is the development of the composition of such high-strength concrete. To determine the further possibility and feasibility of reinforcing a

column, selecting appropriate methods and techniques and performing engineering calculations, it is necessary to take into account not only the physical-mechanical, chemical or other features characteristic of a specific method and process of destruction but also the actual condition of the structure and the conditions (factors) of external environmental impact during the subsequent operation of the column structure [2-4].

Analysis of literary data and problem statement. The study of methods for strengthening reinforced concrete structures, as well as the reasons that led to the need for reinforcement, has been the subject of numerous works [5-11 et al.]. The installation of a shell with an additional reinforcement layer increases the thickness of the column, provides a complex combination of strength, rigidity, and plasticity of the column structures and the framework of the facility, and creates additional loads on the foundations. In particular, shotcrete reinforcement during reconstruction with reinforcement allows for maximum preservation of existing structures and ensures their efficient operation with minimal work duration. When designing the concrete mix for shotcrete, it is necessary to consider several factors, such as the ratio of cement to fillers, granulometric composition, equipment characteristics, preparation method, etc. [12-21].

The aim of the article: to study high-strength concrete designed for strengthening reinforced concrete columns of engineering structures damaged during shelling, based on the reconstruction conditions required for the operational restoration of the functionality of engineering and transportation networks. **The main objectives:** to investigate the composition and mechanical characteristics of high-strength concrete based on ordinary Portland cement, intended for shotcreting reinforced concrete columns of engineering structures damaged during shelling, considering the reconstruction conditions necessary for the operational restoration of the functionality of engineering and transportation networks.

Materials and Methods. Portland cement was prepared by grinding clinker with gypsum stone to specific surface areas of 300, 400, and 500 m²/kg. Microsilica (from 0 to 10 %) from the Nikopol Ferroalloy Plant was used as an active additive in the studies. The SP-1 plasticizer, in the amount of 1 % (calculated on a dry matter basis) of the binder mass, was used to plasticize the concrete mixture. Quartz sand with $M = 2.2$ and granite crushed stone were used as aggregates. Initially, water for mixing, SP-1 additive, Portland cement, and microsilica were sequentially introduced, and then these were mixed with a dosed amount of quartz sand and granite crushed stone in a conventional concrete mixer. Concrete compressive strength was determined according to [22].

Results. The accepted composition and strength of high-strength concrete based on ordinary Portland cement were experimentally studied for its suitability for shotcreting reinforced concrete columns of engineering structures damaged during shelling. To obtain high-strength concrete, the binder was modified with an organo-mineral additive. The following factors were used in the experiment: x_1 – the microsilica (MS) content in Portland cement (by weight) – 5 ± 5 %; x_2 – the binder content in concrete – 450 ± 100 kg/m³; x_3 – the specific surface area (S_s) of Portland cement – 400 ± 100 m²/kg. The amount of SP-1 superplasticizer was set at 1 %. The results of the research on the mechanical properties of concrete at the ages of 3, 7, and 28 days are presented in Table 1. Achievement of concrete strength (up to 40 MPa) at 3 days of age with 10% microsilica content and the presence of SP-1, makes it suitable for repair, including strengthening load-bearing structures. As shown in table 1, by the 7th day, the concrete strength increases almost twice, and by the 28th day, it reaches a value of $f_{ck.cube} = 88.4$ MPa.

Table 1
 Mechanical characteristics of concrete aged 3, 7 and 28 days

№	Levels of var.			MS, %	Binder consumpt., kg/m ³	Spec. surf. area of cement S_s , m ² /kg	Compressive strength indicators, $f_{ck.cube}$, MPa		
	x_1	x_2	x_3				3 days	7 days	28 days
1	-	-	-	0	350	300	18.6	29.5	43.6
2	+	-	-	10	350	300	23.8	42.1	52.3
3	-	+	-	0	550	300	26.9	45.1	53.9
4	+	+	-	10	550	300	29.5	54.3	69.5
5	-	-	+	0	350	500	24.8	34.8	52.7
6	+	-	+	10	350	500	27.6	40.8	64,3
7	-	+	+	0	550	500	29.1	60.9	72.8
8	+	+	+	10	550	500	37.4	69.6	88.4
9	-	0	0	0	450	400	28.6	47.3	64.9
10	+	0	0	10	450	400	36.2	60.1	81.4
11	0	-	0	5	350	400	26.9	52,5	61.6
12	0	+	0	5	550	400	32.9	62.3	75.2
13	0	0	-	5	450	300	26.9	40.7	53.9
14	0	0	+	5	450	500	30.0	48.2	58.1
15	0	0	0	5	450	400	32.2	56.6	73.4

Conclusions. In the current conditions of constant threats of shelling of critical infrastructure objects, significant attention is paid to the rapid restoration of engineering and transportation networks. In particular, the rapid restoration of reinforced concrete columns of engineering structures (pumping stations of water supply, sewage, and heating networks; district boiler houses; bridges and overpass pedestrian crossings) damaged during shelling can be carried out by strengthening their structures with shotcreting high-strength concrete. This also promotes the rapid restoration of equipment and pipelines located in damaged rooms of engineering structures in engineering networks. In this regard, the experiments have established that the main conditions for obtaining high-strength concrete are the use of highly active binders, large and fine aggregates of appropriate quality, with the use of plasticizers and micro-fillers. The addition of microsilica and SP-1 superplasticizer allows the production of heavy concrete classes C32/40...C70/85 with a binder consumption ranging from 350 to 550 kg/m³.

Further research will focus on the specifics of the shotcreting technology of reinforced concrete columns of engineering structures damaged during shelling using the concrete of the investigated composition.

References

1. Blikharskyi Z., Khmil R., Dudycz S. Strengthening of reinforced concrete structures using prestressed elements. *Visnyk NU «Lvivska politehnika»*, 2017, **877**, 5-12.
2. DSTU B V.3.1-2:2016 Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhuvalnykh budivelnykh konstrukttsii ta osnov budivel i sporud. Kyiv, DP «UkrNDNTs» 2017.
3. Shkrabyk Y.V., Ksonshkevych L.M. Tekhnichna ekspluatatsiia budivel ta sporud. Odesa, ODABA, 2022.
4. DSTU 9273:2024 Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsiniuvannia yikhnoho tekhnichnoho stanu. Mekhanichnyi opir ta stiikist Kyiv, DP «UkrNDNTs», 2024.
5. Azizov T.N., Kochkarev D.V., Galinska T.A. New design concepts for strengthening of continuous reinforced-concrete beams. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2019, **708**, 1, 012040. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012040>
6. Blikharskyi Z. Ya. Rekonstrukttsiia ta pidsylennia budivel i sporud: navch. posib. Lviv, Lviv. politehnika, 2008. 108 s.
7. Baloch W.L., Siad H., Lachemi M., Sahmaran M. 12 - Modern assessment techniques to evaluate concrete repairs. *Eco-Efficient Repair and Rehabilitation of Concrete Infrastructures (Second Edition)*, 2024, 327-348. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13470-8.00010-1>
8. Krainskyi P, Blikharskyi Z, Khmil R. Experimental Investigation Of Reinforced Concrete Columns Strengthened By Jacketing. *JMEST*, 2015, **2(7)**, 1959-1963. <https://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42350952.pdf>

9. Ksonshkevych L. M., Krantovska O. M., Synii S. V., Malakhov V. V., Ksonshkevych A. S. Restoration of the work of engineering, transport networks thanks to the strengthening of damaged reinforced concrete columns of their structures. *Innovative processes in the field of road construction: a collection of abstracts of reports of the II international scientific and practical Internet conference of young scientists and students, November 6, 2024, Lutsk.* 40-43. <https://sites.google.com/lntu.edu.ua/2024/golovna-stor>
10. Naji A.J., Al-Jelawy H.M., Saadoon S.A., Ejel A.T. Rehabilitation and strengthening techniques for reinforced concrete columns: review. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2021, **1895**, 012049. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1895/1/012049>
11. Karim S.H., Karim F.R. Review on the Strengthening of Reinforced Concrete Columns by Reinforced Concrete Jacketing. *Saudi J Civ Eng*, 2020, **4(1)**, 10-20. <https://doi.org/10.36348/sjce.2020.v04i01.002>
12. Bernardo G., Guida A., Mecca I. Advancements In Shotcrete Technology. *WIT Transactions on The Built Environment*, 2015, **153**, 591-602. <https://doi.org/10.2495/STR150491>
13. Kyryliuk S.V., Chernov I.S., Kyryliuk A.V. Adhesion when using partial shotcrete with mobile equipment. *Modern construction and architecture*, 2024, **8**, 120-127. DOI: 10.31650/2786-6696-2024-8-120-127
14. Sinyakin D.A., Sopov V.P. Shotcrete for building and repair of engineering structures. *Building materials and products*, 2018. **(1-2(97))**, 42-44. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2018-97-06>
15. Morgan D.R., Jolin, M. Shotcrete: Materials, Performance and Use (1st ed.). CRC Press, 2022, 510. <https://doi.org/10.1201/9780429169946>
16. 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 Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2019, **708**, **1**, 012092, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012092>
17. Ksonshkevych L., Krantovska O., Petrov M., Synii S., Uhl A. Investigation of the structure of cement stone, obtaining and optimization of high-strength concrete on mechanically activated binder. *MATEC Web of Conf.*, 2018, **230**, 03010, <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823003010>
18. Marushchak U. D. Nano-modified ultrarapid hardening cementitious systems and High Performance concrete on their base. The thesis ... DSc in the specialty 05.23.05 – Building materials and products. Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2019.
19. Ksonshkevych L. M., Krantovska O. M., Synii S. V., Sunak P. O., Orešković M., Ksonshkevych A. S. High strength modified concrete for reconstruction of engineering structures and networks, roads. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 2022, **18**, 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)
20. Barabash I.V., Ksonshkevych L.M., Streltsov K.O. *Mineralni viazhuchi rehovyny*. Odesa, ODABA, 2023.

21. Ksonshkevych L.M., Shkrabyk Y.V. *Planuvannia robot pry rekonstruktsii miskoi zabudovy*. Odesa, ODABA, 2022.

22. DSTU B V.2.7-214:2009 Building materials. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy, 2010.

Література

1. Бліхарський З.Я., Хміль Р.Є., Дудич С.Б. Підсилення залізобетонних конструкцій за допомогою попередньо напружених елементів. *Вісник НУ «Львівська політехніка»*, 2017, **877**, 5-12.

2. ДСТУ Б В.3.1-2:2016 Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2017.

3. Шкрабик Ю.В., Ксьоншкевич Л.М. Технічна експлуатація будівель та споруд. Оdesa, ODABA, 2022.

4. ДСТУ 9273:2024 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2024.

5. Azizov T.N., Kochkarev D.V., Galinska T.A. New design concepts for strengthening of continuous reinforced-concrete beams. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2019, **708**, 1, 012040. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012040>

6. Бліхарський З. Я. Реконструкція та підсилення будівель і споруд: навч. посіб. Львів, Львів. політехніка, 2008. 108.

7. Baloch W.L., Siad H., Lachemi M., Sahmaran M. 12 - Modern assessment techniques to evaluate concrete repairs. *Eco-Efficient Repair and Rehabilitation of Concrete Infrastructures (Second Edition)*, 2024, 327-348. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13470-8.00010-1>

8. Krainskyi P, Blikharskiy Z, Khmil R. Experimental Investigation Of Reinforced Concrete Columns Strengthened By Jacketing. *JMEST*, 2015, **2(7)**, 1959-1963. <https://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42350952.pdf>

9. Ksonshkevych L. M., Krantovska O. M., Synii S. V., Malakhov V. V., Ksonshkevych A. S. Restoration of the work of engineering, transport networks thanks to the strengthening of damaged reinforced concrete columns of their structures. *Innovative processes in the field of road construction: a collection of abstracts of reports of the II international scientific and practical Internet conference of young scientists and students, November 6, 2024, Lutsk*. 40-43. <https://sites.google.com/lntu.edu.ua/2024/golovna-stor>

10. Naji A.J., Al-Jelawy H.M., Saadoon S.A., Ejel A.T. Rehabilitation and strengthening techniques for reinforced concrete columns: review. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2021, **1895**, 012049. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1895/1/012049>

11. Karim S.H., Karim F.R. Review on the Strengthening of Reinforced Concrete Columns by Reinforced Concrete Jacketing. *Saudi J Civ Eng*, 2020, **4(1)**, 10-20. <https://doi.org/10.36348/sjce.2020.v04i01.002>

12. Bernardo G., Guida A., Mecca I. Advancements In Shotcrete Technology. *WIT Transactions on The Built Environment*, 2015, **153**, 591-602. <https://doi.org/10.2495/STR150491>
13. Кирилюк С.В., Чернов І.С., Кирилюк А.В. Адгезія при використанні часткового торкретування мобільною установкою. *Сучасне будівництво та архітектура*, 2024, 120-127. DOI: 10.31650/2786-6696-2024-8-120-127
14. Сінякін Д.А., Сопов В.П. Торкрет-бетони для будівництва та ремонту інженерних споруд. *Будівельні матеріали та вироби*, 2018. (1-2(97)), 42–44. <https://doi.org/10.48076/2413-9890.2018-97-06>
15. Morgan D.R., Jolin, M. Shotcrete: Materials, Performance and Use (1st ed.). CRC Press. 2022, 510. <https://doi.org/10.1201/9780429169946>
16. 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 Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2019, **708**, **1**, 012092. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012092>
17. Ksonshkevych L., Krantovska O., Petrov M., Synii S., Uhl A. Investigation of the structure of cement stone, obtaining and optimization of high-strength concrete on mechanically activated binder. *MATEC Web of Conf.*, 2018, **230**, 03010, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823003010>
18. Марущак У. Д. Наномодифіковані надшвидкотверднучі цементуючі системи та високофункціональні бетони на їх основі. Дис... д.т.н. за спец. 05.23.05 – буд. матер. та вироби. НУ «Львівська політехніка», Львів, 2019.
19. Ксьоншкевич Л. М., Крантовська О. М., Синій С. В., Сунак П. О., Орешкович М., Ксьоншкевич А. С. Модифіковані високоміцні бетони для реконструкції інженерних споруд та мереж, доріг. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 2022, **18**, 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)
20. Барабаш І.В., Ксьоншкевич Л.М., Стрельцов К.О. Мінеральні в'язучі речовини. Одеса: ОДАБА, 2023.
21. Ксьоншкевич Л.М., Шкрабик Ю.В. Планування робіт при реконструкції міської забудови. Одеса: ОДАБА, 2022.
22. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. Київ, Мінрегіонбуд України, 2010.

УДК 624.96:624.07

Циклічні навантаження і розрахунок на витривалість сталевих конструкцій рамних укісних шахтних копрів

Cyclic Loads and Fatigue Analysis of Steel Structures of Frame Mine Headframes

Кущенко В. М., д.т.н., професор кафедри будівельних конструкцій та мостів, Шуляр Р.А., ст. викл. кафедри будівельних конструкцій та мостів (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів)

Volodymyr Kushchenko, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Structures and Bridges, Rostyslav Shulyar, Senior Lecturer at the Department of Building Structures and Bridges (Lviv Polytechnic National University, Lviv)

У статті розглянуто актуальні питання розрахунку сталевих конструкцій шахтних копрів, які нормативно недостатньо визначені. На підставі аналізу технологічного циклу роботи шахтних підйомних установок визначено типовий цикл динамічного навантаження, який визначається двома розрахунковими ситуаціями, що відповідають виникненню максимальних і мінімальних напружень в розрахункових перерізах конструкцій шахтних копрів. Для характерної споруди встановлені типи конструкцій і розрахункових перерізів підшківних рам і конструкцій укосин, а також виконано чисельний аналіз їх втомної міцності за критерієм граничної кількості типових циклів навантаження. Встановлено обмежений ресурс за втомною міцністю конструкцій головних балок укосин.

The structures of mine headframes are classified as lifting and transport mining structures, which fall under the highest responsibility class. Most mine headframes in Ukraine have been in operation for extended periods, subjected to intense cyclic dynamic loads and aggressive environmental conditions. Consequently, there is a need to assess the residual life of these structures and ensure they meet the required service life in terms of fatigue strength. Currently, fatigue analysis for mine headframe structures is not covered by existing standards, as there is no established methodology for determining typical load cycles. Based on an analysis of the key stages in the technological cycle of mine hoisting installations, it is proposed to define a typical load cycle as the sequential application of loads from two design scenarios: the design scenario of the maximum total tension force in the hoisting rope branches, and the design scenario of the minimum total force in the hoisting rope branches. These scenarios, combined with constant and long-term loads, define the maximum and minimum stresses in the load cycle for the critical sections of the structures. This methodology accounts for dynamic forces arising from forced oscillations of the lifting vessels when calculating the cyclic forces in the hoisting ropes. For the characteristic structure, the types of structural elements and critical

sections for endurance analysis are identified in accordance with the provisions of the standard methodology. Through the analysis of the stress-strain state in the critical sections of the mine headframe structure, the characteristics of dynamic stress cycles were determined, and a fatigue strength calculation was performed. The analysis revealed a limited fatigue life for the main beams of the headframe structure. The proposed engineering method for analyzing the fatigue strength of mine headframe structures can be applied both in the design of new structures and in the development of systems for monitoring the technical condition of operating mine headframes.

Ключові слова: шахтні копри, сталеві конструкції, циклічні навантаження, амплітуда напружень, коефіцієнт асиметрії циклу, межа втоми, припустима гранична кількість циклів навантажень.

Keywords: mine headframes, steel structures, cyclic loads, stress amplitude, cycle asymmetry coefficient, fatigue limit, the permissible maximum number of load cycles.

Постановка проблеми. Конструкції укисних шахтних копрів (рис. 1) відносяться до підйомно-транспортних гірничотехнічних споруд і поширені в промисловому комплексі України [1]. Як показано на рис.1, розрізняють чотири основні типи конструктивних систем укисних шахтних копрів: а) станкова; б) напівшатрова; в) шатрова; г) комбінована, які являють собою просторові стержньові системи консольного типу, в складі яких є укосини, призначені для сприйняття горизонтальних складових навантажень від роботи підйомної машини. Висота укисних шахтних копрів визначається позначкою обпирання напрямних шківів, які несуть підйомні канати і фіксують їх точку сходу в шахтний ствол. Матеріалом основних несучих конструкцій укисних шахтних копрів є сталь і залізобетон. За конструктивною формою розрізняють рамні копри (рис. 1б, в, г) і копри у вигляді ферм (рис. 1а). За кількістю підйомних машин на одній споруді розрізняють копри: одно- і двох-підйомні. Висота цих споруд залежно від технологічних ознак складає діапазон від 15 до 70 м.

Конструкції шахтних копрів відносяться до класу відповідальності СС-3, оскільки вони забезпечують: а) вертикальну комунікацію між гірськими виробітками та технологічним комплексом шахтної поверхні; б) функціонування системи вентиляції; в) роботу систем забезпечення безпеки шахтного підйому. Відмова хоча б однієї з вище означених технологічних функцій призводить до важких катастрофічних наслідків і великих матеріальних збитків.

В цілому для цих споруд характерним є наявність важких умов експлуатації, таких як: а) вплив агресивних корозійних середовищ; б) абразивний знос; в) дія циклічних динамічних навантажень при роботі підйомної машини; г) дія динамічних аварійних навантажень. Внаслідок впливу цих факторів у процесі експлуатації спостерігається фізичний знос сталевих конструкцій шахтних копрів [1, 2].



а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Основні типи конструктивних систем укiсних шахтних копрiв:
а) станкова; б) напiвшатрова; в) шатрова; г) комбiнована

Нормативний термiн експлуатацiї цих споруд складає 50 рокiв, однак на гiрничодобувних пiдприємствах України середнiй термiн iх експлуатацiї дещо бiльший – 60...70 рокiв. У зв'язку з циклическим характером технологiчних навантажень, актуальним є питання оцiнки залишкового ресурсу сталевих конструкцiй шахтних копрiв при монiторингу iх технiчного стану [3, 4]. Крім того, для основних несучих конструкцiй шахтних копрiв при проектуваннi iснує завдання забезпечення ресурсу за втомною мiцнiстю протягом нормативного термiну експлуатацiї, вирiшення якого не регламентовано галузевими нормами [5]. Таким чином,

дослідження у напрямку розробки та удосконалення методики розрахунку сталевих конструкцій на втомну міцність є актуальними у зв'язку з проблемою забезпечення технологічної безпеки шахтних підйомних установок.

Аналіз попередніх публікацій і постановка завдань. Згідно нормативних вимог [6] для сталевих конструкцій шахтних копрів необхідно виконувати перевірку втомної міцності у зв'язку з циклічним характером технологічних навантажень, кількість циклів яких, як правило, перебільшує 10^5 [3, 7]. У чинному галузевому нормативному документі [5] технологічні навантаження на конструкції шахтних копрів визначаються як рівнодійні від статичних зусиль в підйомних канатах з додаванням сил інерції в період нерівномірного руху підйомної машини, однак при цьому нормами характеристики циклічності навантажень не визначаються. В роботах [2, 3, 4, 7] визначено динамічний характер експлуатаційних навантажень, який зумовлений наявністю: а) циклів завантаження-розвантаження підйомних посудин; б) етапами прискореного, рівномірного і сповільненого руху підйомної машини; в) пульсаційної складової внутрішніх зусиль в підйомних канатах, яка виникає внаслідок вимушених коливань підйомних посудин. Однак, в нормативному документі [8] для конструкцій шахтних копрів не визначені розрахункові циклічні значення зусиль в підйомних канатах, внаслідок цього розрахунок конструкцій шахтних копрів на втому за методикою [6] на даний час нормативно не забезпечений. У роботі [2] констатовано циклічний характер навантажень на конструкції шахтних копрів і виконано статистичний аналіз коефіцієнтів динамічності зусиль в підйомних канатах на різних етапах технологічного циклу шахтної підйомної установки, які характеризують пульсаційну складову зусиль в підйомних канатах, зумовлену вимушеними коливаннями підйомних посудин. Однак у роботах [2, 7] відсутнє визначення поняття типового циклу навантаження у зв'язку з завантаженням і розвантаженням підйомних посудин і дією інерційної складової від прискореного руху підйомної машини, тому результати роботи [7], в якій констатовано недостатній ресурс за втомною міцністю підшківних конструкцій, потребують уточнення.

На даний час існує нормативна методика розрахунку на втомну міцність елементів сталевих конструкцій у формі оцінювання довговічності (строку експлуатації), яка залежить від значень амплітуд і коефіцієнтів асиметрії динамічних напружень типових циклів навантаження [6]. Однак, для сталевих конструкцій шахтних копрів відсутні публікації стосовно визначення типових циклів навантаження для використання чинної нормативної методики розрахунку на витривалість конструктивних елементів і з'єднань [6].

Мета роботи – визначення поняття типового циклу динамічних напружень, а також аналіз втомної міцності характерних конструктивних форм рамних сталевих укісних шахтних копрів. Для досягнення цієї мети поставлені наступні завдання: а) на підставі аналізу складових технологічних навантажень запропонувати методіку визначення їх розрахункових циклічних значень; б) для характерних конструктивних форм виконати класифікацію по групах конструкцій відповідно до нормативних даних [6]; в) для характерних конструктивних елементів визначити розрахункові перерізи; г) для характерної споруди визначити характеристики циклів динамічних напружень, виконати аналіз втомної міцності за чинною нормативною методикою [6] і визначити ресурс за кількістю циклів навантаження.

Методика визначення розрахункових типових циклічних навантажень розроблена на підставі аналізу змінного характеру зусиль у підйомних канатах [2, 7]. На рис. 2 показано основні етапи технологічного циклу роботи шахтної підйомної установки, якому відповідає змінний характер зусиль в гілках підйомного канату.

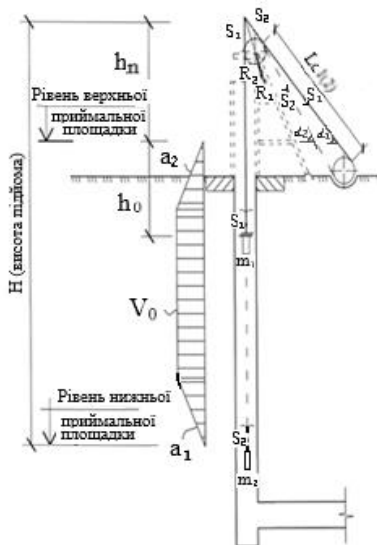


Рис. 2. Основні етапи технологічного циклу і тахограма роботи підйомної машини: завантаження, прискорений і уповільнений рух, розвантаження

Зусилля в підйомних канатах S_p на різних етапах роботи підйомної машини слід розглядати як суму статичного натягу S_1 , сил інерції S_2 , сил опору руху підйомної посудини в стволі S_3 , динамічних зусиль S_4 , що

виникають при коливаннях підйомної посудини відносно динамічного положення рівноваги [2]:

$$S_p = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \quad (1)$$

Розрахункове граничне значення статичного натягу підйомного каната визначається за наступною формулою:

$$S_1 = (m_c \gamma_{f1} + m_r \gamma_{f2} + \rho_k L \gamma_{f3}) g, \quad (2)$$

де: γ_{fi} - коефіцієнт надійності за навантаженням: для власної ваги підйомної посудини з причіпним пристроєм і вагонетками – 1,05; від ваги підйомного каната – 1,2; від ваги корисного вантажу: насипних – 1,2; інших – 1,1; m_c – маса посудини з причіпним пристроєм; m_r – маса корисного вантажу; ρ_k – вага погонного метра підйомного каната; L – змінна довжина гілки підйомного каната, що залежить від положення підйомної посудини по висоті ствола.

Найбільше значення S_{1max} називається максимальним статичним натягом і відповідає положенню нерухомої вантаженої посудини на рівні нижнього завантажувального пристрою, тобто коли довжина гілки підйомного каната максимальна. Мінімальне значення S_{1min} відповідає положенню розвантаженої посудини на рівні верхньої приймальної площадки.

Сили інерції виникають під час руху підйомної машини з прискоренням або уповільненням і визначають за формулою:

$$S_2 = \pm (m_c \gamma_f + m_r \gamma_f + \rho_k L \gamma_f) a = \pm S_1 a / g, \quad (3)$$

де: a – прискорення чи уповільнення руху посудини; знак «+» відповідає випадку прискореного руху посудин, що піднімаються, і «-» відповідає прискореному руху посудин, що опускаються.

Оскільки величина S_1 змінна, отже, сили інерції у процесі роботи підйомної машини також змінюються. Зміна сил інерції зумовлена зміною маси гілки підйомного каната, довжини яких при русі підйомної машини змінюються. Таким чином, для посудини, що піднімається, максимальні значення сил інерції виникають на початку прискореного руху, а для посудини, що опускається, – в кінці уповільнення.

Сили опору руху посудини у стволі визначають за формулою [2]:

$$S_3 = \pm k_c S_1, \quad (4)$$

де: $k_c = 0,06 \dots 0,15$ - коефіцієнт опору; знак «+» для посудини, що піднімається; знак «-» для посудини, що опускається.

Динамічні зусилля S_4 від коливання підйомних посудин щодо положення статичної або динамічної рівноваги визначають залежно від статичного натягу за такою формулою:

$$S_4 = (S_1 + S_2)(k_d - 1), \quad (5)$$

де: K_d – коефіцієнт динамічності зусилля в підйомному канаті для відповідного режиму роботи підйомної установки, який визначається на підставі статистичного аналізу експериментальних даних (див. табл. 1) [2].

Таблиця 1

Числові характеристики коефіцієнтів динамічності зусиль у підйомних канатах під час основних режимів роботи шахтних підйомних установок

№ п.п.	Стадія роботи ШПУ	Математичне сподівання	Дисперсія	Довірчий інтервал ($\beta=0,95$)	Квантиль $P_0=0,9973$
1	Спуск А	1,21	0,0122	1,15; 1,28	1,61
2	Спуск Б	1,12	0,0052	1,09; 1,15	1,29
3	Спуск В	1,14	0,0074	1,1; 1,18	1,43
4	Спуск Г	1,08	0,0023	1,06; 1,1	1,24
5	Спуск Д	1,17	0,0074	1,14; 1,20	1,40
6	Підйом А	1,26	0,039	1,15; 1,37	1,96
7	Підйом Б	1,12	0,0046	1,08; 1,15	1,32
8	Підйом В	1,14	0,0055	1,11; 1,17	1,394
9	Підйом Г	1,08	0,003	1,06; 1,1	1,27
10	Підйом Д	1,18	0,0198	1,123; 1,24	1,66

Примітка. В таблиці прийнята наступна система позначень: ШПУ – шахтна підйомна установка; «Спуск», «Підйом» – напрямок руху розглянутої гілки підйомного канату; «А» – маневри і завантаження підйомних судин; «Б» – зняття з посадкових пристроїв; «В» – прискорений рух; «Г» – рівномірний рух; «Д» – уповільнений рух.

У даній роботі в якості розрахункового значення коефіцієнта динамічності зусилля в підйомному канаті приймалося значення $K_d = 1,17$, яке відповідає верхній границі довірчого інтервалу математичного сподівання при імовірності $\beta=0,95$ (див. табл. 1 п. 8) для етапу прискореного руху підйомної машини на початку підйому.

Навантаження від натягу підйомних канатів на конструкції укісних шахтних копрів прикладається у вигляді рівнодіючих від натягу гілок каната, які визначають за формулою:

$$R_i = 1,414S_i\sqrt{(1 + \sin \alpha)}, \quad (6)$$

де α – кут нахилу відповідної гілки підйомного каната до горизонталі.

За наявності двох гілок підйомного каната (збігаючої і набігаючої на барабан підйомної машини) рівнодійні відповідних гілок підйомного канату мають різні кути нахилу до горизонту, їх горизонтальні і вертикальні складові дещо відрізняються. Однак, при аналізі втомної міцності,

розглядалась умовна рівнодійна, яка складалася з максимальних значень вертикальних (для збігаючої гілки підйомного каната) і горизонтальних (для набігаючої гілки підйомного каната) складових зусиль. Це припущення можна вважати коректним у зв'язку з наявністю зміни кута нахилу рівнодійних зусиль від підйомних канатів внаслідок впливу сил інерції мас копрових шківів, що обертаються, при прискореному або уповільненому русі.

Для визначення характеристик типового циклу динамічних напружень в розрахункових перерізах конструкцій шахтного копра розглядаються наступні розрахункові ситуації:

1 – розрахункова ситуація максимального сумарного зусилля натягнення гілок підйомного канату: завантажена підйомна посудина рухається з прискоренням на початку підйому (S_1^{max}), порожня посудина на початку спуску (S_{01}^{max}) в комбінації з постійним і довготривалим навантаженням (вага копрових шківів);

2 – розрахункова ситуація мінімального сумарного зусилля в гілках підйомного каната: розвантажені підйомні посудини нерухомі і знаходяться на рівні нижньої (S_1^{min}) і верхньої приймальної площадки (S_{01}^{min}) в комбінації з постійним і довготривалим навантаженням (вага копрових шківів).

Коефіцієнти сполучення для розрахункових ситуацій приймалися відповідно до нормативних положень [8]. Означені дві розрахункові ситуації визначають цикл навантаження при роботі підйомної установки. Розрахункові ситуації: «1» і «2» визначають відповідно: а) максимальні $\sigma_{max,i}$ і мінімальні $\sigma_{min,i}$ рівні напруження циклу у розрахункових перерізах конструкцій шахтного копра. На підставі значень: $\sigma_{max,i}$ та $\sigma_{min,i}$ визначаються амплітуди напружень циклу $\sigma_{a,i}$, а також коефіцієнти асиметрії напружень ρ_i . При такому підході кількість циклів динамічних напружень n_i відповідає кількості технологічних циклів підйомної установки за нормативний термін експлуатації (зазвичай значно більше 1×10^6).

Класифікація по групах конструкцій виконувалась для характерних конструктивних форм укисних шахтних копрів відповідно до таблиці Т.3 [6]. Сталеві укисні шахтні копри це просторова стержньова система, яка складається з наступних основних конструктивних частин: а) підкопрової рами, яка обпирається на залізобетонні конструкції шийки шахтного ствола; б) конструкції станка, які є функціональним продовженням шахтного ствола і обпираються на підкопрову раму; в) укосини, яка обпирається на окремо стоячі масивні залізобетонні фундаменти; г) підшківних конструкцій, які обпираються на конструкції станка і на головну балку укосини (рис. 3) [2]. За компонуванням шахтної підйомної установки розрізняють копри: однопідйомні і багатопідйомні (частіше двопідйомні)

[2]. За конструктивною формою розрізняють два основних типи шахтних копрів: а) у вигляді просторових ферм – копри станкової системи (рис. 1,а); б) у вигляді просторових рам – рамні укісні копри шатрові і напівшатрові (рис. 1,б, в, г).

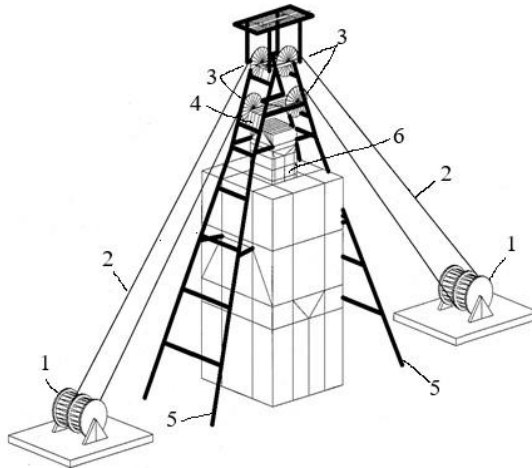


Рис. 3. Принциповий склад споруди двопідйомного шатрового укісного шахтного копра: 1 – барабан підйомної машини; 2 – гілки підйомного каната; 3 – шківів; 4 – підшківні конструкції; 5 – укосини; 6 – станок

Рамні напівшатрові і шатрові укісні копри відрізняються від станкових принципом незалежної роботи підшківних конструкцій та укосини від конструкцій станка, тобто конструкції станка не сприймають навантаження від натягу підйомних канатів. Оскільки циклічні навантаження на конструкції шахтних копрів виникають від натягу підйомних канатів – питання втомної міцності для рамних укісних копрів існує тільки для укосини і підшківних конструкцій. Те саме характерне і для копрів станкової системи, оскільки 80...90% рівнодійних зусиль в гілках підйомного канату сприймається підшківними конструкціями і укосиною.

У даній роботі аналіз втомної міцності обмежується рамними укісними копрами, для яких характерні конструктивні форми підшківних конструкцій і головної балки укосини наведено на рис. 4.

Циклічне навантаження від рівнодійних зусиль в підйомних канатах прикладається на підшківні конструкції у вигляді опорних реакцій шківів. Для підшківних конструкцій є характерним складний напружено-деформований стан (рис. 5) [9]. Головна балка укосини працює переважно на згин, характерні перерізи головних балок – коробчасті (рис. 4).

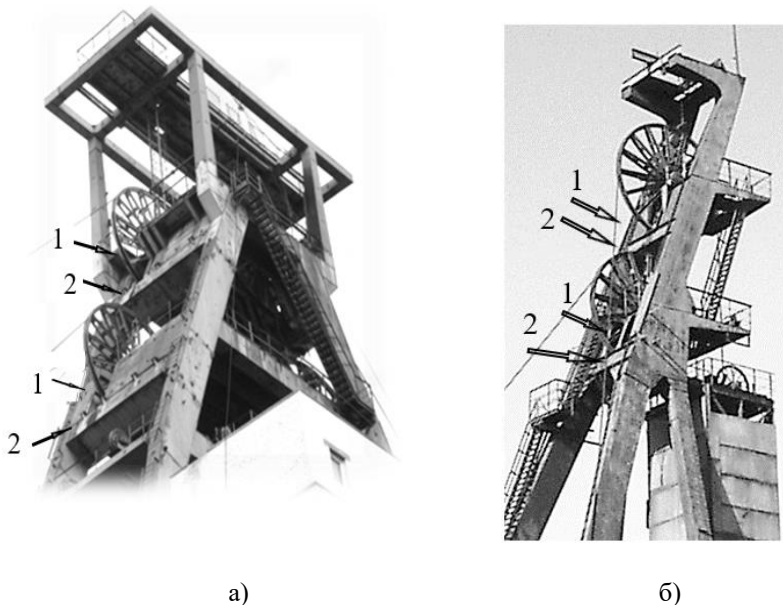


Рис. 4. Характерні конструктивні форми підшківних конструкцій рамних укісних шахтних копрів: а) двотавровий складений переріз; б) коробчастий переріз. 1- підшківні конструкції; 2 – головна балка укосини

Як показує аналіз напружено-деформованого стану конструкцій шахтних копрів при дії технологічних навантажень, завдання розрахунку на втому виникає для перерізів підшківних конструкцій у вузлах обпирання шківів, а також в перерізах головної балки укосини в місцях сполучення з підшківними конструкціями [7, 9]. В зоні вузла обпирання шківа виявлено чотири характерних ділянки, які відрізняються за рівнем концентрації напружень: А – ділянка локальних напружень під підшоною опорного підшипника; В, С – ділянка складного напружено-деформованого стану і концентрації напружень; D – ділянка плоского напружено-деформованого стану без суттєвої концентрації напружень (рис. 5) [9]. Найбільший рівень концентрації напружень спостерігається на ділянці «А» локальних напружень – у місці прикладання зосереджених зусиль від натягу підйомного каната (рис. 5,б).

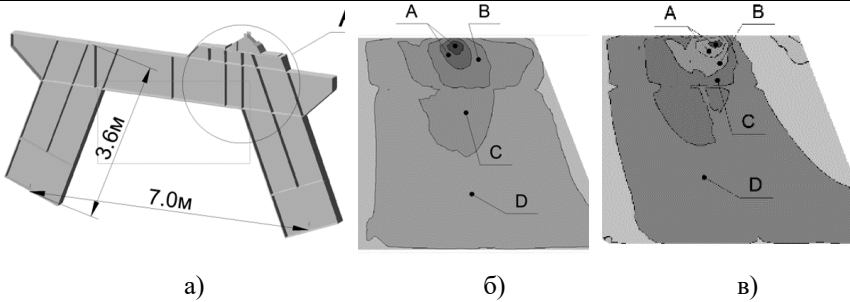


Рис. 5. Складний напружено-деформований стан підшківних конструкцій у вузлі опирання шківів: а) загальний вигляд підшківної рами шатрового копра; б) розподіл зведених напружень σ_{red} ; в) розподіл дотичних напружень

Відповідно до таблиці Т.3 [6] для підшківних конструкцій і головної балки укосини встановлено наступні групи елементів і з'єднань при розрахунку на витривалість (рис. 6):

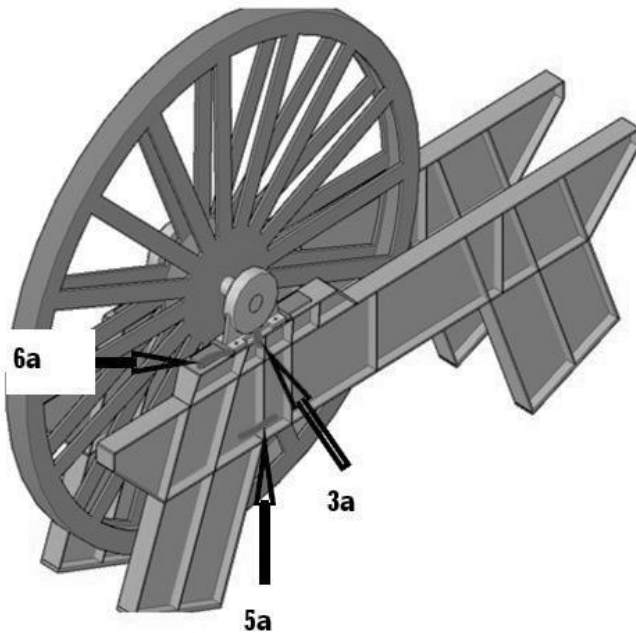


Рис. 6. Класифікація розрахункових перерізів підшківної конструкції за групами елементів конструкцій і з'єднань при розрахунку на витривалість (табл. Т.3 [6])

- група 3а – зварні двотаврові перетини вдвож зварного шва – вузли обпирання шківів (рис. 5, б);
- група 6а – верхній пояс двотаврового перерізу в місці кріплення фланговими швами упору підшипника шківа – вузли обпирання шківів (рис. 5, в);
- група 5а – кріплення зварними швами поперечних ребер жорсткості до стінки і поясів підшківної конструкції в перерізі вузла обпирання шківа (рис. 5, а);
- група 5 а – зварний коробчастий переріз головної балки укосини за наявності поперечних ребер жорсткості у вузлах обпирання підшківних конструкцій.

Аналіз напружено-деформованого стану характерної споруди при дії циклічних навантажень. Для реальної характерної споруди (скіповий копер головного підйому) виконано аналіз циклів динамічних напружень в розрахункових перерізах конструктивних елементів (загальний вигляд споруди та її частин наведено на рис. 3, 5, 6). За конструктивною схемою шахтний копер шатровий. Напрявні шківів розташовані в одній площині та обпираються на позначках: +52.00м і +60.00м. Тип підйомних посудин скіпи – СН15-221-1,5. Швидкість підйому – 12 м/с, прискорення та уповільнення – 1,5 м/с². Максимальна висота підйому – 853 м. Позначка верху ригеля монорейки монтажного пристрою +67.00 м. Перерізи конструктивних елементів основних несучих конструкцій є складеними, зварні, коробчасті та двотаврові. Основні несучі конструкції виконано зі сталі марок С245, С255. Аналіз напружено-деформованого стану конструкцій копра на дію циклічних технологічних навантажень виконано на просторовій розрахунковій моделі у вигляді апроксимації конструктивної схеми споруди стержньовими скінченими елементами в ПК SCAD, яка наведена на рис. 7.

В табл. 2 наведені значення розрахункових циклічних зусиль в підйомних канатах: S_1^{max} ; S_{01}^{max} ; S_1^{min} ; S_{01}^{min} , які визначають рівень максимальних і мінімальних напружень в розрахункових перерізах конструкцій копра. Рівнодіючі відповідних зусиль в гілках підйомного канату, обчислені за формулою (6) в комбінації з постійним і довготривалими навантаженнями, почергово прикладаються до верхніх і нижніх підшківних конструкцій для отримання максимальних і мінімальних рівнів напружень типового циклу в розрахункових перерізах підшківних конструкцій і укосин.

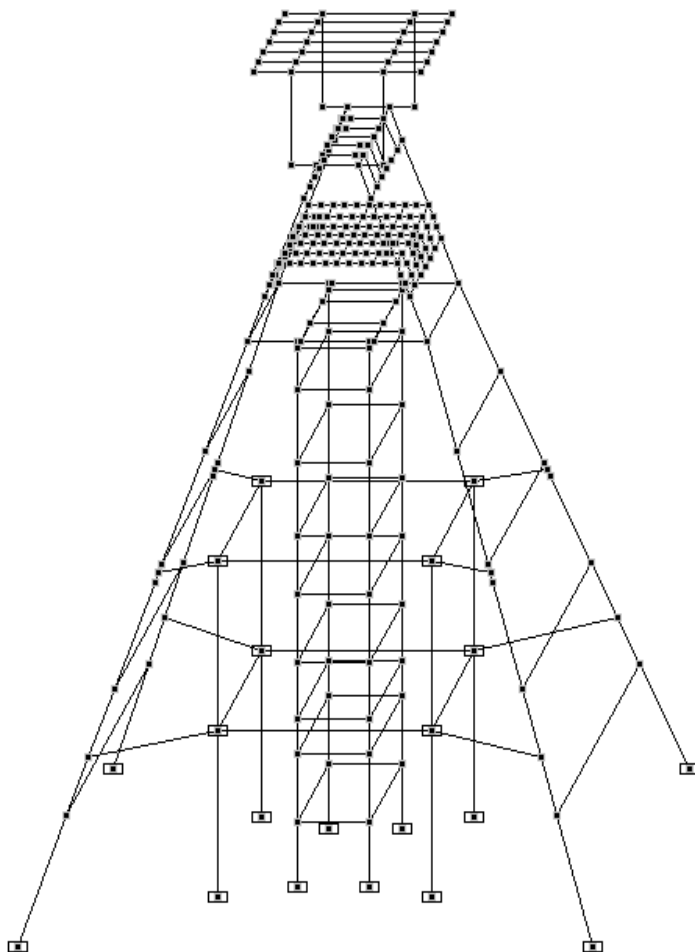


Рис. 7. Розрахункова модель шахтного копра у вигляді апроксимації стержньовими скінченими елементами в ПК SCAD

Розрахункові циклічні зусилля в гілках підйомного канату

Найменування розрахункового циклічного навантаження	Величина зусилля в підйомному канаті, кН
1. Розрахункові циклічні зусилля в гілках підйомного канату для розрахунку $\sigma_{max,i}$:	
S_1^{max} - завантажена підйомна судина рухається з прискоренням на початку підйому	620,3
S_{01}^{max} - порожня судина на початку спуску (S_{01}^{max})	152,2
2. Розрахункові циклічні зусилля в гілках підйомного канату для розрахунку $\sigma_{min,i}$:	
S_1^{min} - розвантажена підйомна судина нерухома і знаходиться на рівні нижньої приймальної площадки	266,44
S_{01}^{min} - розвантажена підйомна судина нерухома і знаходиться на рівні верхньої приймальної площадки	130,1

У табл. 3 наведені результати розрахунку рівнів циклічних напружень і відповідних коефіцієнтів асиметрії напружень в розрахункових перерізах підшківних конструкцій і укосин. Відповідно до даних табл. 3, амплітудні значення циклічних напружень і коефіцієнти асиметрії складають: а) для підшківних конструкцій: $\sigma_{max,i} = -9,3 \dots + 11,7$ МПа, $\rho_i = 0,2 \dots 0,4$; б) для головних балок укосини: $\sigma_{max,i} = +56,6$ МПа, $\rho_i = 0,3$.

У подальшому аналізі втомної міцності до розгляду приймалися ті конструкції і розрахункові перерізи, для яких виконується наступна умова [6]:

$$\frac{2\sigma_{a,i}}{(1-\rho_i)} > R_{vi}. \quad (7)$$

Згідно з даними, наведеними в табл. 3, означена умова виконується для розрахункових перерізів «5а» головних балок укосин у вузлах опирання підшківних конструкцій. Відповідно до положень [6] виконання умови (7) означає наявність обмеженого ресурсу за витривалістю.

Таблиця 3

Характеристики циклічних напружень у розрахункових перерізах

Конструкція і типи розрахункових перерізів	Характеристики циклічних напружень				
	$\sigma_{max,i}$ МПа	$\sigma_{min,i}$ МПа	$\sigma_{a,i}$ МПа	ρ_i	$\frac{2\sigma_{a,i}}{(1 - \rho_i)}$ МПа
1. Верхні підшківні конструкції:					
3а – вузли обпирання шківів	-33,6	-12,7	-10,5	0,4	35,7
5а – перетинання розтягнутого поясу двотаврового перерізу з поперечним ребром жорсткості	+35,0	+8,0	+13,5	0,2	33,8
6а – верхній пояс двотаврового перерізу в місці кріплення фланговими швами упору підшипника шківа	-25,6	-7,0	-9,3	0,3	26,6
2. Нижні підшківні конструкції:					
3а – вузли обпирання шківів	-34,7	-11,0	-11,7	0,4	39
5а – перетинання розтягнутого поясу двотаврового перерізу з поперечним ребром жорсткості	+32,4	+11,4	+10,5	0,4	35
6а – верхній пояс двотаврового перерізу в місці кріплення фланговими швами упору підшипника шківа	-37,1	-11,6	-11,35	0,4	35
3. Верхня головна балка укосини:					
5а – вузол обпирання підшківної конструкції	+56,6	+18,7	+18,5	0,3	55,9
4. Нижня головна балка укосини:					
5а – вузол обпирання підшківної конструкції	+56,5	+17,4	+19,6	0,3	49,7

У табл. 4 наведені результати аналізу втомної міцності розрахункових перерізів 5а головних балок укосини у вузлах обпирання підшківних

конструкцій. Відповідно до отриманих результатів, ресурс за втомною міцністю конструкцій копра визначається гранично-допустимою кількістю технологічних циклів для верхньої головної балки укосини $1,3 \times 10^6$.

Таблиця 4
Гранично-допустима кількість циклів в розрахункових перерізах
головних балок укосин N_i

Конструкція і типи розрахункових перерізів	Межа витривалості R_{vi} , МПа	$\frac{2\sigma_{a,i}}{(1 - \rho_i)R_v}$	N_i
1. Верхня головна балка укосини: 5а – вузол обпирання підшківної конструкції	36,4	1,53	$1,3 \times 10^6$
2. Нижня головна балка укосини: 5а – вузол обпирання підшківної конструкції	34,6	1,43	$1,6 \times 10^6$

Висновки

1. Розрахунковій ситуації $\sigma_{max,i}$ відповідає наступний етап роботи шахтної підйомної установки: завантажена підйомна посудина рухається з прискоренням на початку підйому, а порожня посудина рухається з прискоренням вниз. Розрахунковій ситуації $\sigma_{min,i}$ відповідає статичне положення порожніх посудин на рівні верхньої і нижньої приймальних площадок.

2. Для підшківних конструкцій характерні такі типи елементів за класифікацією табл. Т.3 [6]: 3а – вузли обпирання шківів; 5а – нижній пояс зварного двотаврового перерізу в місці перетинання з ребром жорсткості; 6а – верхній пояс двотаврового перерізу в місці кріплення кутовими швами упору шківа.

3. Головні балки укосини працюють на згин, максимальні значення нормальних і дотичних напружень виявлено у вузлах сполучення з підшківними рамами – тип елемента 5а за табл. Т.3 [6].

4. Розрахунки за нормативною методикою [6] показали обмежений ресурс за втомною міцністю для головних балок укосини. Припустима гранична кількість циклів навантажень складає: для верхньої головної балки – $N_i = 1,3 \times 10^6$; для нижньої головної балки – $N_i = 1,6 \times 10^6$.

References

1. Kushchenko V.N., Kulish V.A. Analysis of damage and emergency conditions of sloping mine headframes. Coal of Ukraine. 2011 №10. – P. 39-43.
2. Kushchenko V. N. Ensuring the safety of construction structures of sloping mine headframes: Monograph Makeevka: DonNASA, 2006. – 202 p.
3. Kushchenko V.M., Khomitskiy D.O. Vibration Monitoring of Steel Shaft Headgears/ Springer Nature Switzerland AG 2020/ Z. Blikharsky (ED): Eco CEE 2019, LNCE 47, pp 227-234.
4. Kushchenko V.M., Nechytailo O.E. Monitoring of Dynamic Loads on Steel Headframes/ Springer Nature Switzerland AG 2020/ Z. Blikharsky (ED): Eco Comfort 2020, LNCE 100, pp 245-252.
5. RD 12.005-94. Metal structures of mine headframes. Operating requirements. Kyiv: Gosugleprom Ukrainy, 1994. – 68 p.
6. DBN V.2.6-198:2014. Steel structures. Design norms. With amendment No. 1 – K: Ministry of Community Development of Ukraine, 2022. – 220 p.
7. Kushchenko V.M., Nechytailo O.E. Analysis of fatigue strength of structures of sloping mine headframes. – 2012. – vol. 18, No. 3 – P. 171 – 183. 8. DBN V.1.2-2: 2006 Loads and impacts. Kyiv: Ministry of Construction of Ukraine, 2006. – 75 p.
8. DBN V.1.2-2: 2006 Loads and influences. - K: Ministry of Construction of Ukraine, 2006. - 75p.
9. Kushchenko V.M., Nechytailo O.E. Ensuring the design reliability of support nodes of guide pulleys of frame sloping mine headframes / Bulletin of Lviv Polytechnic National University No 82: Theory and Practice of Construction. 2015. – P. 191 – 199.

Література

1. Кущенко В.Н., Кулиш В.А. Анализ повреждаемости и аварийные состояния укосных шахтных копров. *Уголь Украины*. 2011 №10. – С. 39-43.
2. Кущенко В. Н. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтных копров: Монография Макеевка: ДонНАСА, 2006. – 202 с.
3. Kushchenko V.M., Khomitskiy D.O. Vibration Monitoring of Steel Shaft Headgears/ Springer Nature Switzerland AG 2020/ Z. Blikharsky (ED): Eco CEE 2019, LNCE 47, pp 227-234.
4. Kushchenko V.M., Nechytailo O.E. Monitoring of Dynamic Loads on Steel Headframes/ Springer Nature Switzerland AG 2020/ Z. Blikharsky (ED): Eco Comfort 2020, LNCE 100, pp 245-252.
5. РД 12.005-94. Металлические конструкции шахтных копров. Требования к эксплуатации. – К: Госуглепром Украины, 1994. – 68 с.
6. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Зі зміною №1 – К: Міністерство розвитку громад України, 2022. – 220 с.
7. Кущенко В.М., Нечитайло О. Є. Аналіз втомної міцності конструкцій укисних шахтних копрів / Металеві конструкції. – 2012. – т. 18, №3 – С. 171 – 183.
8. ДБН В.1.2-2: 2006 Навантаження і впливи. – К: Мінбуд України, 2006. – 75с.
9. Кущенко В.М., Нечитайло О.Є. Забезпечення проектної надійності вузлів обпирання напрямних шківів рамних укисних шахтних копрів/ *Вісник Національного університету «Львівська політехніка» № 82: Теорія і практика будівництва*. 2015. – С. 191 – 199.

Міцність та деформівність конструкційної модифікованої деревини ялини та ясена за експлуатації у водному середовищі

Strength and deformability of structural modified wood of spruce and ash during operation in water environment

**Матвіюк О.В., ст. викл., Гомон Св.Св., д.т.н., проф.
(Національний університет водного господарства та
природокористування, Рівне), Бурнаєв О.М., к.ф.-м.н., доцент
(Львівський національний університет природокористування)**

**Matviuk O.V., senior lecturer, Homon S.S., Dh.D., professor,
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne),
Burnayev O.M. Ph.D., Associate Professor (Lviv National University of
Nature Management)**

Наведено методику експериментальних досліджень модифікованої та немодифікованої 40-річної конструкційної деревини ялини та ясена осьовим стиском уздовж волокон за нормальних умов експлуатації та у водному середовищі. За результатами проведеного експерименту побудовано гістограми динаміки зміни основних характеристик міцності та деформівності. Встановлено, що вплив водного середовища значно зменшує тимчасову граничну міцність деревини та модуль пружності, збільшує відносні критичні та залишкові деформації у порівнянні з показниками за стандартної вологості 12%. Виявлено, що модифікація деревини полімерною композицією силор підвищує максимальні напруження та модуль пружності, зменшує відносні критичні та залишкові деформації в порівнянні з показниками за стандартної вологості 12%.

Structural wood is operated in various aggressive environments. It is most affected by alkaline, aqueous, saline, and acidic environments. At the same time, wood-based materials and elements under such operating conditions can operate under various types of loads. The most common are the operation of solid, glued, and modified wood under axial compression and tension along the fibers. In this article, we will be interested in the operation of structural modified wood under axial compression along the fibers under short-term loads during operation in an aquatic environment. The purpose of this article is to establish the main strength and deformation parameters in the subcritical and postcritical stages of operation of a composite material when operating in an aquatic environment.

The methodology of experimental studies of modified and unmodified 40-year-old structural wood of spruce and ash by axial compression along the fibers under normal operating conditions and in an aquatic environment is presented. According to the results of the experiment, histograms of the dynamics of changes in the main characteristics of strength and deformability were constructed. It was established that the influence of the

aquatic environment significantly reduces the temporary ultimate strength of wood and the modulus of elasticity, increases the relative critical and residual deformations compared to the indicators at a standard humidity of 12%. It was found that the modification of wood with the polymer composition Silor increases the maximum stresses and the modulus of elasticity; reduces the relative critical and residual deformations compared to the indicators at a standard humidity of 12%. The obtained composite materials based on spruce and ash wood and the polymer composition Silor are stable during operation in aquatic environments and do not deteriorate the main strength and deformability properties.

Ключові слова: міцність, деформівність, конструкційна модифікована деревина, водне середовище, стиск, напружено-деформований стан.

Keywords: strength, deformability, structural modified wood, water environment, compression, stress-strain state.

Постановка проблеми. Конструкційна деревина експлуатується у різних агресивних середовищах [1-10]. Найбільшого впливу зазнає у лужних, водних, сольових, кислотних [11-18]. При цьому матеріали та елементи на основі деревини за таких умов експлуатації можуть працювати за різних видів навантажень. Найбільш розповсюдженою є робота суцільної, клеєної та модифікованої деревини за осьового стиску та розтягу вздовж волокон [19-22]. В даній статті нас буде цікавити робота конструкційної модифікованої деревини на осьовий стиск уздовж волокон з короткочасним навантаженням за експлуатації у водному середовищі.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Експериментально-теоретичними дослідженнями роботи деревини у різних агресивних середовищах присвячені наукові праці відомих вітчизняних та закордонних авторів [1-18]. Є низка наукових робіт, що стосуються впливу вологості на фізико-механічні властивості деревини різних порід [7-13]. Досить вагомий вклад у дослідження зміни механічних характеристик деревини різної вологості за стиску вздовж волокон зробив Гомон Св.Св. [11, 12, 19]. Автор запропонував модель роботи листяних та хвойних порід деревини за вологості в межах 12-30%, що дає змогу визначати міцнісні та деформівні властивості в докритичній та закритичній стадії роботи матеріалу.

Верешко О.В. [6, 15-18] досліджував вплив органічних та неорганічних кислот на основні механічні показники деревини берези та сосни за стиску вздовж волокон. Автор на основі численних експериментальних досліджень встановив закономірності динаміки зміни впливу кислотних середовищ на докритичні та закритичні міцнісні і деформівні характеристики.

Є досить велика кількість праць, що стосуються модифікації деревини [23-29]. Але ці дослідження в більшості випадків відображають, як правило, покращення певних фізико-механічних властивостей деревини за нормальних умов експлуатації. Але практично не знаходимо наукових

праць, що стосуються роботи модифікованої деревини в агресивних середовищах.

Вплив полімерної композиції силор на механічні характеристики суцільної та клеєної деревини знаходимо в роботах Гомона Св.Св. [25-28], а бетону – Довбенка В.О. [30].

У світовій практиці фактично відсутні наукові праці, що стосуються досліджень міцності та деформівності модифікованої конструкційної деревини полімерною композицією силор на стиск уздовж волокон під дією різних агресивних середовищ, в тому числі і водних. Тому такі експериментально-теоретичні дослідження є актуальними.

Мета даної статті є проведення експериментальних досліджень конструкційної модифікованої силором конструкційної деревини ялини та ясена осьовим короткочасним стиском уздовж волокон під дією водного середовища за жорсткого режиму випробувань та встановлення основних міцнісних та деформівних параметрів в докритичній та закритичній стадії роботи новоутвореного композиційного матеріалу.

Методика експериментальних досліджень. Для вирішення поставлених завдань було виготовлено зразки-близнюки конструкційних розмірів деревини ялини та ясена 1 сорту з перерізом 30x30x120 мм. Вік деревини приблизно 40 років. Висушування заготовок проводили у заводських умовах у спеціальних камерах до заданої вологості 12%.

Отже, зразки перерізом 30x30x120 мм були вирізані з брусів суцільної деревини, після чого їх поверхні були чисто оброблені і в подальшому піддавалися модифікації. Вологість всіх зразків до модифікації складала 12%. Просочення дослідних зразків полімерною композицією «силор» виконували автоклавним способом. Просочування проводили за температури 19°C, тобто призми поміщали в автоклав з силором на 2 год. та модифікували під тиском 2,5 атм. Після цього зразки деревини ялини та ясена діставали і просушували за температури 18-21°C на протязі 12 год.

Дерев'яні зразки випробовували: за стандартної вологості 12% (10 шт.); занурених у воді протягом 28 днів (10 шт.) (рис.1, рис.2); модифікованих полімерною композицією силор (10 шт.); модифікованих, а після цього занурених у воді протягом відповідно 28 та 180 днів (20 шт.) (рис.3, рис.4).

Експеримент проводили на сучасному сервогідролічному пресі СТМ-100 за жорсткого режиму випробувань [31, 32]. Всі досліджувані зразки випробовували за осьового стиску вздовж волокон короткочасним навантаженням згідно діючих стандартів [34-36].

В цілому досліджено 40 призм (табл.1).



Рис. 1. Ялина, занурена у воді протягом 28 днів



Рис. 2. Ясен, занурений у воді протягом 28 днів



Рис. 3. Модифікована деревина ялини після занурення у воді



Рис. 4. Модифікована деревина ясена після занурення у воді

Геометричні розміри зразків та обсяг експериментальних досліджень конструкційної деревини

№ _{п/п}	Порода деревини	Переріз зразків, мм	Вік, років	Швидкість завантаження, мм/хв	Кількість зразків, шт.
За стандартної вологості 12%					
1	Ялина	30х30х120	40	1,5	5
2	Ясен	30х30х120	40	1,5	5
Просочені у воді протягом 28 днів (вологість більше 30%)					
3	Ялина	30х30х120	40	1,5	5
4	Ясен	30х30х120	40	1,5	5
Модифіковані полімерною композицією силор					
5	Ялина	30х30х120	40	1,5	5
6	Ясен	30х30х120	40	1,5	5
Модифіковані силором зразки, які були занурені у воді протягом 28 днів					
7	Ялина	30х30х120	40	1,5	5
8	Ясен	30х30х120	40	1,5	5
Модифіковані силором зразки, які були занурені у воді протягом 180 днів					
7	Ялина	30х30х120	40	1,5	5
8	Ясен	30х30х120	40	1,5	5

Результати експериментальних досліджень. На основі проведених експериментів встановлено основні показники міцності та деформівності деревини ялини та ясена (за стандартної вологості 12%; занурених у воді протягом 28 днів; модифікованих полімерною композицією силор; модифікованих, а після цього занурених у воді протягом відповідно 28 та 180 днів) за осьового стиску вздовж волокон короткочасним навантаженням. Тобто, експериментальним шляхом було визначено тимчасову граничну міцність, критичні та залишкові деформації, модуль пружності. Усі показники приймалися усередненими.

Встановлено, що тимчасова гранична міцність деревини значно зменшується після занурення її у воді, зокрема, ялини – в 1,91 рази, а ясена – в 1,72 рази в порівнянні зі зразками, які випробувані за стандартної вологості 12% (рис. 5). В той же час модифікація деревини полімерною композицією силор значно підвищує тимчасову граничну міцність, зокрема, ялини – в 1,31 рази, а ясена – в 1,26 рази в порівнянні з призмами, які випробувані за стандартної вологості 12% (рис. 5). Після занурення даного

композиційного матеріалу у воду показники міцності фактично не змінюються.

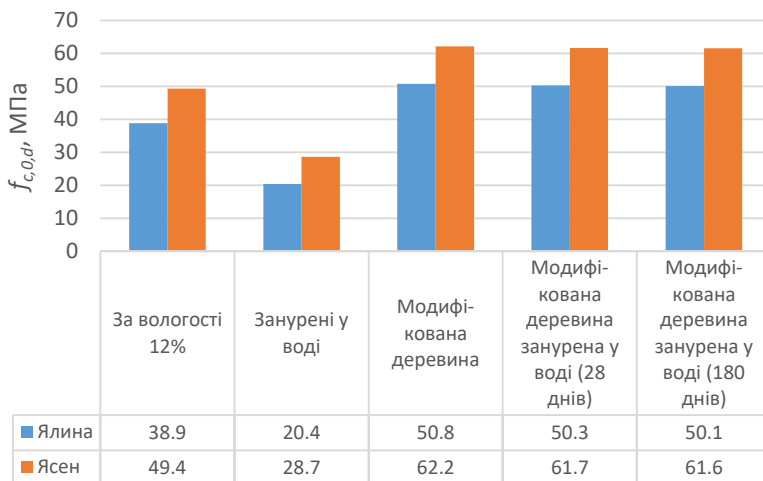


Рис.5. Динаміка зміни тимчасової граничної міцності деревини ялини та ясеня

Також експериментальним шляхом виявлено, що критичні деформації деревини зростають після занурення її у воду, зокрема, ялини в 1,18 рази, а ясеня в 1,15 рази в порівнянні зі зразками, які випробувані за стандартної вологості 12% (рис. 6). В той же час модифікація деревини полімерною композицією силор зменшує критичні деформації деревини, зокрема, ялини в 1,21 рази, а ясеня в 1,15 рази в порівнянні з призмами, які випробувані за стандартної вологості 12% (рис. 6). Після занурення даного композиційного матеріалу у воду показники відносних критичних деформацій фактично залишаються незмінними.

В свою чергу, встановлено, що залишкові деформації деревини зростають після занурення її у воду, зокрема, ялини – в 1,22 рази, а ясеня – в 1,15 раз в порівнянні зі зразками, які випробувані за стандартної вологості 12% (рис. 7). В той же час модифікація деревини полімерною композицією силор зменшує відносні залишкові деформації, зокрема, ялини – в 1,13 рази, а ясеня – в 1,09 раз в порівнянні з призмами, які випробувані за стандартної вологості 12% (рис. 7). Після занурення даного композиційного матеріалу у воду показники відносних залишкових деформацій фактично не змінюються.

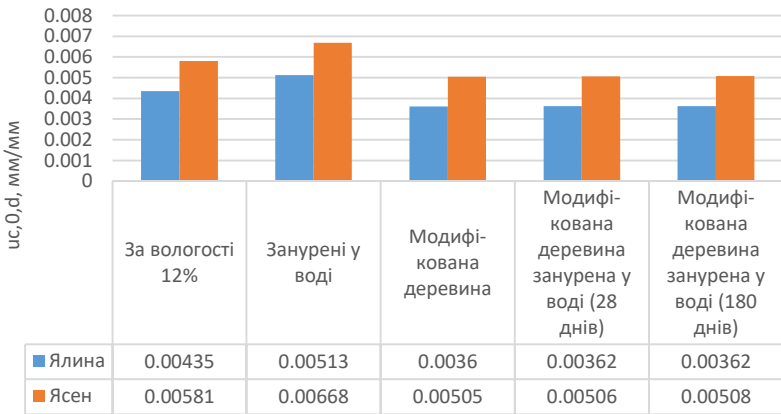


Рис.6. Динаміка зміни критичних відносних деформацій деревини ялини та ясена

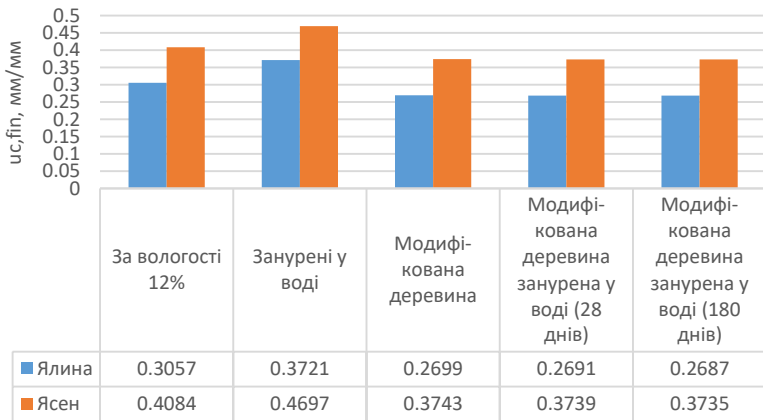


Рис.7. Динаміка зміни залишкових відносних деформацій деревини ялини та ясена

Також експериментальним шляхом виявлено, що модуль пружності деревини падає після занурення її у воду, зокрема, ялини – в 1,25 рази, а ясена – в 1,13 рази в порівнянні зі зразками, які випробувані за стандартної вологості 12% (рис. 8). В той же час модифікація деревини полімерною

композицією силор значно підвищує модуль пружності деревини, зокрема, ялини – в 1,59 рази, а ясена – в 1,51 рази в порівнянні з призмами, які випробувані за стандартної вологості 12% (рис. 8). Після занурення даного композиційного матеріалу у воду показники модуля пружності фактично залишаються незмінними.

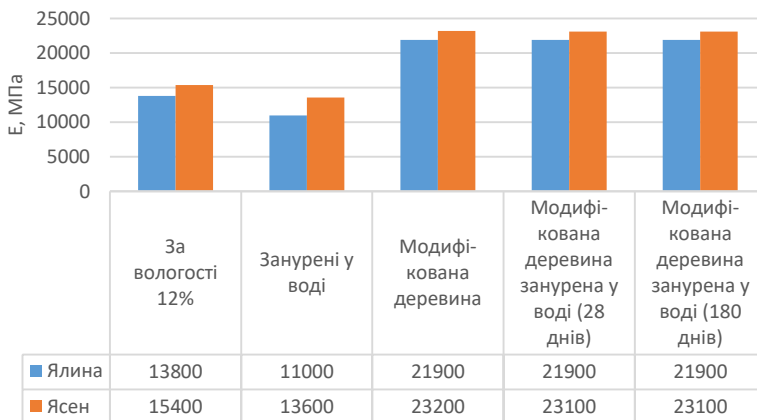


Рис. 8. Динаміка зміни модуля пружності деревини ялини та ясена

Отже, отримані композиційні матеріали на основі деревини ялини та ясена і полімерної композиції силор є стійкими за експлуатації у водних середовищах.

Висновки

1. Наведено методику експериментальних досліджень модифікованої та немодифікованої деревини ялини та ясена осьовим стиском вздовж волокон за експлуатації у водному середовищі.
2. За результатами проведеного експерименту побудовано гістограми динаміки зміни основних характеристик міцності та деформівності.
3. Встановлено, що вплив водного середовища значно зменшує тимчасову граничну міцність деревини в межах 1,72-1,91 рази та модуль пружності – 1,13-1,25 рази; збільшує критичні відносні деформації – 1,15-1,18 рази та залишкові – в 1,15-1,22 рази в порівнянні з показниками за стандартної вологості 12%.
4. Виявлено, що модифікація деревини полімерною композицією силор в цілому покращує показники міцності та деформівності за нормальних умов експлуатації та у водному середовищі. Зокрема, значно

зростають максимальні напруження в межах 1,26-1,31 разів та модуль пружності 1,51-1,59 разів; зменшуються відносні критичні деформації – 1,15-1,21 рази та залишкові – 1,09-1,13 разів в порівнянні з показниками за стандартної вологості 12%. Після занурення отриманих композиційних матеріалів на основі деревини ялини та ясена у воду показники усіх досліджуваних характеристик фактично не змінюються.

5. Отримані композиційні матеріали на основі деревини ялини та ясена і полімерної композиції силор є стійкими за експлуатації у водних середовищах.

References

1. Baechler R. H. Wood in chemical engineering construction. *J. Forest Prod. Res. Soc.*, 1954. №4. Pp. 332-336.
2. Browning B. L. The chemistry of wood. Interscience Publishers, New York, 1963. 689 p.
3. Evans P.D., Banks W.B. The degradation of wood surfaces by dilute acids. The International Research Group on Wood Preservation, Working Group III, Preservatives and Methods of Treatment, 1985.
4. Roger M. Influence of chemical environment on strength of wood fibers. How the environment affects lumber design: assessments and recommendations, Madison, Wisconsin, 28-30 May 1980. Madison, 1980. Pp. 76-84.
5. Homon S., Gomon P., Gomon S., Vereshko O., Boyarska I., Uzhegova O. Study of change strength and deformation properties of wood under the action of active acid environment. *Procedia Structural Integrity*, 2023. Vol. 48. Pp. 201-206.
6. Homon S., Gomon S., Vereshko O. Method of determination the initial elasticity modulus and timber deformation modulus under the influence of acid environment. *Visnyk Ternopil's'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. Ternopil': TNTU*, 2022. Vypusk 105(1). S. 29–39.
7. Báder M., Németh R. Moisture-dependent mechanical properties of longitudinally compressed wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2019, 77, Pp. 1009-1019.
8. Madsen B. Recommended moisture adjustment factor for lumber stresses. *Can. J. Civil Engineering*, 1982. Vol. 9. №4. P. 602–610.
9. Mårtensson A. Mechanical behavior of wood exposed to humidity variations. Thesis, Report TVBK-1006, Lund Institute of Technology, Dept. Struct. Eng., Sweden, 1992. 189 p.
10. Thygesen L.G., Tang Engelund E., Hofmeyer, P. Water sorption in wood and modified wood at high values of relative humidity. Part I: Results for untreated, acetylated, and furfurylated Norway spruce. *Holzforsch*, 2010, Vol. 64, Pp. 315-323.
11. Yasniy P.V., Homon S.S. Doslidzhennya sichnykh moduliv lystyanykh ta khvoynykh porid derevyny z riznym pokaznykom volohosti. *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. Vinnytsya: VNTU*, 2020. Vyp. 4 (151). S. 125–130.
12. Yasniy P.V., Homon S.S. Eksperymental'ni doslidzhennya sutsil'noyi derevyny konstruktsiynykh rozmiriv z vrakhuvannyam faktora volohosti. *Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. Vinnytsya: VNTU*, 2020. Tom 28. №1. S. 41–48.

13. Roshchuk M.M., Homon Sv.Sv. Robota derevyny v umovakh prisnykh ta mors'kykh vodnykh seredovyshch. Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Luts'k: LNTU, 2023. Vyp. 20. S. 117-126.
14. Homon Sv.Sv., Homon Sv.St., Matviyuk O.V., Vereshko O.V., Chornomaz N.YU. Zastosuvannya derevyny v umovakh ahresyvnykh seredovyshch. Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Luts'k, 2022. Vyp.17. S. 15-22.
15. Vereshko O.V., Homon Sv.Sv., Homon Sv.St., Dovbenko T.O. Deformivni pokaznyky derevyny berezy ta sosny pid diyeyu kyslotnykh seredovyshch. Naukovi notatky. Luts'k: LNTU, 2021. № 72. S. 175-179.
16. Vereshko O.V., Homon Sv.Sv. Doslidzhennya zminy hustyny derevyny lystyanykh ta khvoynykh porid pid diyeyu kyslotnykh seredovyshch. Naukovi notatky. Luts'k: LNTU, 2022. № 73. S. 265-269.
17. Vereshko O.V., Homon Sv.Sv. Napruzhenno-deformovanyy stan z'hynal'nykh derevynykh elementiv v umovakh vplyvu ahresyvnoho kyslotnoho seredovyshcha z vrakhuvannyam povnykh diahram deformuvannya materialu. Naukovi notatky. Luts'k: LNTU, 2023. № 75. S. 200-205.
18. Homon Sv.Sv., Matviyuk O.V., Savchuk S.M., Vereshko O.V., Kulakovs'ky L.YA. Vplyv ahresyvnoho seredovyshcha na mitsnisi na deformivni pokaznyky sutsil'noyi derevyny khvoynykh porid. Visnyk Natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya. Seriya «Tekhnichni nauky». Rivne: NUVHP, 2021. Vypusk 2(94). S. 69–80.
19. Homon Sv.Sv., Yasniy P.V., Homon P.S., Yasniy V.P. Klasychna model' diysnoyi roboty sutsil'noyi ta modyfikovanoi derevyny os'ovym styskom vzdovzh volokon: monohrafiya. Ternopil': TNTU, 2023. 316 s.
20. Homon S.S., Homon P.S. Pobudova diysnykh diahram mekhanichnoho stanu derevyny «s-u» sutsil'noho pererizu yalyny ta berezy za zhorstkoho rezhymu vyprobuvan'. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2020. Vyp 38. S. 321-330.
21. Homon Sv.Sv., Homon Sv.St., Karavan V., Kulakovs'ky L. Rezul'taty eksperymental'nykh doslidzhen' kleynoyi derevyny konstruktsiynykh rozmiriv za zhorstkoho rezhymu vyprobuvan'. Visnyk L'vivs'koho natsional'noho universytetu pryrodokorystuvannya. Seriya «Arkhitektura ta budivnytstvo». L'viv: LNUP, 2022. №23. S. 45-48.
22. Yasniy P., Homon S., Gomon P. On approximation of mechanical condition diagrams of coniferous and deciduous wood species on compression along the fibers. *Scientific Journal of Ternopil National Technical University*. Ternopil: TNTU, 2020. Vol 97. No 1. P. 57–64.
23. Hill C. (2011). Wood modification: An update. *BioResources*, 6 (2), Pp. 918–919.
24. Sandberg D., Kutnar A., Mantanis G. (2017). Wood modification technologies - a review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 10(6), Pp. 895-908.
25. Yasniy, P., Homon, S., Iasnii, V, Gomon, S.S., Gomon, P., & Savitskiy, V. (2022). Strength properties of chemically modified solid woods. *Procedia Structural Integrity*, 36, 211-216.
26. Yasniy P., Gomon S. Timber with improved strength and deformable properties. *Scientific Journal of Ternopil National Technical University*. Ternopil: TNTU, 2020. Vol 99. No3. P. 17–27.

27. Homon S.S., Homon S.S., Zinchuk A.V. Doslidzhennya modyfikovanoyi sylorom kleynoyi derevyny na styk vzdovzh volokon. Vseukrayins'kyi naukovotekhnichnyy zhurnal "Visti Donets'koho himychoho instytutu". Pokrovs'k: DVNZ "Donents'kyi NTU", 2017. №1. S. 134–138.

28. Homon S.St., Homon S.S., Zinchuk A.V. Deformatyvnist' modyfikovanoyi sylorom kleynoyi derevyny za roboty na styk vzdovzh volokon. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2017. Vyp. 34. S. 110–117.

29. Homon Sv.Sv., Savchuk V.O., Mel'nyk YU.O., Vereshko O.V. Oblast' zastosovannya ta sposoby modyfikatsiyi kompozytsiynykh materialiv na osnovi derevyny. Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Luts'k: LNTU, 2019. Vyp. 12. S. 44-50.

30. Dovbenko V.S. Doslidzhennya polimernoyi kompozytsiyi "Sylor" yak efektyvnoho zasobu remontu, vidnovlennya ta pidsylennya betonnykh ta zalizobetonnykh konstruktsiy. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy: Zb. nauk. prats'. Rivne: NUVHP, 2010. Vyp. 20. C. 181–186.

31. Gomon S.S., Savchuck V.O., Melnyk Yu.A., Vereshko O.V. Modern testing machines for investigation of wood and timber-based composite materials. Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Luts'k, 2020. Vyp. 14. S. 73-80.

32. Homon Sv.Sv., Dovbenko T.O., Matviyuk O.V., Vereshko O.V., Kulakovs'kyi L.YA., Chornomaz N.YU. Analiz vyprobuval'noho obladnannya dlya doslidzhennya materialiv za zhorstkoho rezhymu prykladannya navantazhennya. Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya. Kyiv: KNUBA, 2021. Vyp. 78. S. 166-172.

33. Homon Sv.Sv., Matviyuk O.V., Kulakovs'kyi L.YA., Chornomaz N.YU. Do pobudovy povnykh diahram deformuvannya derevyny vil'khy ta yalyny za standartnoyi volohosti. Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya. Kyiv: KNUBA, 2022. Vyp. 79. S. 87–92.

34. DSTU EN 338. Lisomaterialy konstruktsiyi. Klasy mitsnosti. Kyiv: Minrehionbud Ukrayiny, 2004. 10 s.

35. DSTU EN 384–2001. Lisomaterialy konstruktsiyi. Vyznachennya kharakterystychnykh znachen' mekhanichnykh vlastyvostey ta shchil'nosti. Kyiv: Minrehionbud Ukrayiny, 2010. 8 s.

36. DSTU EN 380-2008. Lisomaterialy konstruktsiyi. Zahal'ni nastanovy shchodo metodiv vyprovuvannya na statychne navantazhennya. Kyiv: Minrehionbud Ukrayiny, 2010. 8s.

Література

1. Baechler R. H. Wood in chemical engineering construction. *J. Forest Prod. Res. Soc.*, 1954. №4. Pp. 332-336.

2. Browning B. L. The chemistry of wood. Interscience Publishers, New York, 1963. 689 p.

3. Evans P.D., Banks W.B. The degradation of wood surfaces by dilute acids. The International Research Group on Wood Preservation, Working Group III, Preservatives and Methods of Treatment, 1985.

4. Roger M. Influence of chemical environment on strength of wood fibers. How the environment affects lumber design: assessments and recommendations, Madison, Wisconsin, 28-30 May 1980. Madison, 1980. Pp. 76-84.

5. Homon S., Gomon P., Gomon S., Vereshko O., Boyarska I., Uzhegova O. Study of change strength and deformation properties of wood under the action of active acid environment. *Procedia Structural Integrity*, 2023. Vol. 48. Pp. 201-206.
6. Homon S., Gomon S., Vereshko O. Method of determination the initial elasticity modulus and timber deformation modulus under the influence of acid environment. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. Тернопіль: ТНТУ, 2022. Випуск 105(1). С. 29–39.
7. Báder M., Németh R. Moisture-dependent mechanical properties of longitudinally compressed wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2019, 77, Pp. 1009-1019.
8. Madsen B. Recommended moisture adjustment factor for lumber stresses. *Can. J. Civil Engineering*, 1982. Vol. 9. №4. P. 602–610.
9. Mårtensson A. Mechanical behavior of wood exposed to humidity variations. Thesis, Report TVBK-1006, Lund Institute of Technology, Dept. Struct. Eng., Sweden, 1992. 189 p.
10. Thygesen L.G., Tang Engelund E., Hofmeyer, P. Water sorption in wood and modified wood at high values of relative humidity. Part I: Results for untreated, acetylated, and furfurylated Norway spruce. *Holzforsch*, 2010, Vol. 64, Pp. 315-323.
11. Ясній П.В., Гомон С.С. Дослідження січних модулів листяних та хвойних порід деревини з різним показником вологості. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця: ВНТУ, 2020. Вип. 4 (151). С. 125–130.
12. Ясній П.В., Гомон С.С. Експериментальні дослідження суцільної деревини конструкційних розмірів з врахуванням фактора вологості. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. Вінниця: ВНТУ, 2020. Том 28. №1. С. 41–48.
13. Рошук М.М., Гомон Св.Св. Робота деревини в умовах прісних та морських водних середовищ. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк: ЛНТУ, 2023. Вип. 20. С. 117-126.
14. Гомон Св.Св., Гомон Св.Ст., Матвіюк О.В., Верешко О.В., Чорномаз Н.Ю. Застосування деревини в умовах агресивних середовищ. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, 2022. Вип.17. С. 15-22.
15. Верешко О.В., Гомон Св.Св., Гомон Св.Ст., Довбенко Т.О. Деформівні показники деревини берези та сосни під дією кислотних середовищ. *Наукові нотатки*. Луцьк: ЛНТУ, 2021. № 72. С. 175-179.
16. Верешко О.В., Гомон Св.Св. Дослідження зміни густини деревини листяних та хвойних порід під дією кислотних середовищ. *Наукові нотатки*. Луцьк: ЛНТУ, 2022. № 73. С. 265-269.
17. Верешко О.В., Гомон Св.Св. Напружено-деформований стан згинальних дерев'яних елементів в умовах впливу агресивного кислотного середовища з врахуванням повних діаграм деформування матеріалу. *Наукові нотатки*. Луцьк: ЛНТУ, 2023. № 75. С. 200-205.

18. Гомон Св.Св., Матвіюк О.В., Савчук С.М., Верешко О.В., Кулаковський Л.Я. Вплив агресивного середовища на міцнісні та деформівні показники суцільної деревини хвойних порід. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки»*. Рівне: НУВГП, 2021. Випуск 2(94). С. 69–80.

19. Гомон Св.Св., Ясній П.В., Гомон П.С., Ясній В.П. Класична модель дійсної роботи суцільної та модифікованої деревини осьовим стиском вздовж волокон: монографія. Тернопіль: ТНТУ, 2023. 316 с.

20. Гомон С.С., Гомон П.С. Побудова дійсних діаграм механічного стану деревини « σ - u » суцільного перерізу ялини та берези за жорсткого режиму випробувань. *Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2020. Вип 38. С. 321-330.

21. Гомон Св.Св., Гомон Св.Ст., Караван В., Кулаковський Л. Результати експериментальних досліджень клеєної деревини конструкційних розмірів за жорсткого режиму випробувань. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія «Архітектура та будівництво»*. Львів: ЛНУП, 2022. №23. С. 45-48.

22. Yasniy P., Homon S., Gomon P. On approximation of mechanical condition diagrams of coniferous and deciduous wood species on compression along the fibers. *Scientific Journal of Ternopil National Technical University*. Ternopil: TNTU, 2020. Vol 97. No 1. P. 57–64.

23. Hill C. (2011). Wood modification: An update. *BioResources*, 6 (2), Pp. 918–919.

24. Sandberg D., Kutnar A., Mantanis G. (2017). Wood modification technologies - a review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 10(6), Pp. 895-908.

25. Yasniy, P., Homon, S., Iasnii, V, Gomon, S.S., Gomon, P., Savitskiy, V. (2022). Strength properties of chemically modified solid woods. *Procedia Structural Integrity*, 36, 211-216.

26. Yasniy P., Gomon S. Timber with improved strength and deformable properties. *Scientific Journal of Ternopil National Technical University*. Ternopil: TNTU, 2020. Vol 99. No3. P. 17–27.

27. Гомон С.Ст., Гомон С.С., Зінчук А.В. Дослідження модифікованої силором клеєної деревини на стиск вздовж волокон. Всеукраїнський науково-технічний журнал “Вісті Донецького гірничого інституту”. Покровськ: ДВНЗ “Донецький НТУ”, 2017. №1. С. 134–138.

28. Гомон С.Ст., Гомон С.С., Зінчук А.В. Деформативність модифікованої силором клеєної деревини за роботи на стиск вздовж волокон. Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2017. Вип. 34. С. 110–117.

29. Гомон Св.Св., Савчук В.О., Мельник Ю.О., Верешко О.В. Область застосування та способи модифікації композиційних матеріалів на основі деревини. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк: ЛНТУ, 2019. Вип. 12. С. 44-50.

30. Довбенко В.С. Дослідження полімерної композиції "Силор" як ефективного засобу ремонту, відновлення та підсилення бетонних та залізобетонних конструкцій. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. Рівне: НУВГП, 2010. Вип. 20. С. 181–186.

31. Gomon S.S., Savchuck V.O., Melnyk Yu.A., Vereshko O.V. Modern testing machines for investigation of wood and timber-based composite materials. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, 2020. Вип.14. С. 73-80.

32. Гомон Св.Св., Довбенко Т.О., Матвіюк О.В., Верешко О.В., Кулаковський Л.Я., Черномаз Н.Ю. Аналіз випробувального обладнання для дослідження матеріалів за жорсткого режиму прикладання навантаження. *Містобудування та територіальне планування*. Київ: КНУБА, 2021. Вип. 78. С. 166-172.

33. Гомон Св.Св., Матвіюк О.В., Кулаковський Л.Я., Черномаз Н.Ю. До побудови повних діаграм деформування деревини вільхи та ялини за стандартної вологості. *Містобудування та територіальне планування*. Київ: КНУБА, 2022. Вип. 79. С. 87–92.

34. ДСТУ EN 338. Лісоматеріали конструкційні. Класи міцності. Київ: Мінрегіонбуд України, 2004. 10 с.

35. ДСТУ EN 384–2001. Лісоматеріали конструкційні. Визначення характеристичних значень механічних властивостей та щільності. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 8 с.

36. ДСТУ EN 380-2008. Лісоматеріали конструкційні. Загальні настанови щодо методів випробування на статичне навантаження. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 8с.

УДК 712.253

Реконструкція та благоустрій парку в селищі Ратне

Reconstruction and landscaping of a park in Ratne village

Мельник Ю.А., к.т.н., доцент, Верешко О.В., к.т.н., доцент, Парфентьєва І.О. к.т.н., доцент, Станкевич Б.Ю. магістр (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)

Melnyk Y.A., Ph.D. associate professor, Vereshko O.V., Ph.D. associate professor, Parfentieva I.O., Ph.D., associate professor, Stankevych B.Y, master (Lutsk National Technical University, Lutsk)

У роботі здійснено передпроектні дослідження існуючих умов, виконано SWOT-аналіз. Обґрунтовано концепцію реконструкції, яка базується на гармонійному поєднанні природного середовища та потреб громади. Запропоновано функціональне зонування території, що включає зони для відпочинку, спорту, культурних заходів, меморіальну та прибережну зони. Передбачено модернізацію інфраструктури, підбір озеленення із максимальним збереження існуючих видів. Проект спрямований на створення сучасного, комфортного та екологічно сталого громадського простору.

This article presents a conceptual framework for the reconstruction and enhancement of the Ratne village park. The primary objective is to enhance the landscape environment by augmenting the appeal of each functional zone and ensuring the provision of comfortable conditions for visitors to reside in the green and coastal areas of the park. In consideration of the desires of the village residents and the extant circumstances, the area designated for reconstruction and improvement was delineated into functional zones, comprising the entrance, parking, greenery, cultural and public gatherings, commercial, entertainment (sports grounds, children's play area), memorial and coastal zones. The division was made on the basis of the intensity of use and purpose, thus ensuring an integrated approach to the organisation of space.

The design concept of the park entails the integration of natural and infrastructural elements to create a space that is responsive to the needs of all age and social groups. Particular attention is paid to ensuring accessibility and safety for visitors, which is achieved through the implementation of a well-developed infrastructure. In particular, the project provides for the arrangement of paved paths, the installation of rubber-coated bicycle routes, and the placement of modern benches and lighting systems. A barrier-free environment has been created for individuals with limited mobility, thereby facilitating their comfortable access to all areas. The park's design incorporates spaces for children's and sports activities, with the objective of promoting a healthy lifestyle. Additionally, a memorial area has been established in accordance with the community's request, serving to honour the memory of fallen heroes and residents of the village.

The park's landscaping was designed with the objective of creating a harmonious combination of tall trees, bushes and ornamental shrubs. Significant effort was made to conserve the existing natural landscape and to introduce new species of trees and shrubs, with a particular emphasis on local flora.

The project will result in the creation of a multifunctional park that incorporates both active and relaxation areas, cultural and memorial elements, and the natural beauty of the surrounding area.

Ключові слова: SWOT аналіз, зелені зони, парк, реконструкція зелених насаджень.

Keywords: SWOT analysis, green areas, park, reconstruction of green spaces.

У сучасному містобудуванні озеленення набуває ключового значення, адже зелені насадження не лише сприяють покращенню якості природного середовища, але й виконують соціальні, екологічні та естетичні функції. Парки є важливими елементами планування населених пунктів, забезпечуючи очищення повітря, покращення мікроклімату та створення комфортного простору для відпочинку. В умовах урбанізації реконструкція парків стає актуальним завданням для забезпечення їх відповідності сучасним екологічним і соціальним вимогам. Парк у селищі Ратне є прикладом зеленого простору, який потребує модернізації задля адаптації до потреб громади та збереження культурної спадщини.

Аналіз літературних джерел свідчить про актуальність реконструкції парків як складової сучасного містобудування. Дослідники акцентують на збереженні культурно-історичної спадщини, адаптації парків до сучасних соціальних, рекреаційних і екологічних вимог. Зокрема, [1] описує гармонізацію природного середовища з архітектурою у відновленні історичних парків Закарпаття, а [2] аналізує екологічні інновації в парку міста Українка. Гончаренко Я.В. [3] вивчає функціональне зонування міських парків, зокрема організацію зон відпочинку та спорту. Ситнік С.А. [4] і Пономарьова О.А. [5] наголошують на важливості залучення громади до проектування зелених зон, що сприяє відповідності простору потребам місцевих жителів.

Реконструкція парків вимагає комплексного підходу, який поєднує історичну спадщину, екологічні рішення та сучасні соціальні запити, створюючи комфортний і функціональний простір для громади.

Парк у селищі Ратне є центральною зеленою зоною для відпочинку та дозвілля мешканців і відвідувачів селища. Проте, на сьогодні він потребує реконструкції для покращення благоустрою, оновлення інфраструктури та забезпечення більшої функціональності. Наразі територія парку характеризується нерівномірним розвитком, що обумовлює низку проблем і потребує комплексного підходу до проектування.

На основі передпроектних досліджень було проведено SWOT-аналіз, який описує сильні та слабкі сторони території (рис. 1).

Враховуючи побажання жителів селища та існуючу ситуацію територія, що підлягає реконструкції та благоустрою, була структурована на функціональні зони: вхідну, зону паркування, озеленення, культурно-масових зібрань, комерційну, розважальну (спортивні майданчики, дитяча ігрова зона), меморіальну та прибережну зону [6]. Розподіл здійснено з урахуванням інтенсивності використання та призначення, що забезпечує комплексний підхід до організації простору.

Можливості <ul style="list-style-type: none">• створення простору для стимулювання творчості серед жителів громади (проведення фестивалів, концертів тощо)• місця для створення сучасних дитячих майданчиків• покращення відпочинку різних верств населення• створення нових насаджень	Загрози <ul style="list-style-type: none">• наявність відносно жвавої траси поруч із локацією• вандалізм
Сильні сторони <ul style="list-style-type: none">• територія парку прилягає до р. Прип'ять• на прилеглий території знаходиться гімназія• популярне місце для проведення різноманітних масових заходів• парк уже є активним місцем відпочинку для жителів громади• бажання жителів громади провести благоустрій території парку• достатня кількість площ для перспективного розвитку• наявні скелетні насадження• розташування локації в самому центрі селища	Слабкі сторони <ul style="list-style-type: none">• хаотичний характер насаджень• відсутнє освітлення території• вбиральні ненадежної якості• проблеми зі збором сміття та утриманням території

Рис.1. SWOT-аналіз території проектування

Територія, що підлягає реконструкції та благоустрою, була структурована на функціональні зони. Розподіл здійснено з урахуванням ступеня відвідуваності та призначення, що забезпечує комплексний підхід до організації простору.

Концепція реконструкції парку в селищі Ратне базується на гармонійному поєднанні природного середовища та потреб людини, створюючи умови для навчання, розвитку спорту, активного відпочинку та популяризації здорового способу життя. Основною метою проекту є розкриття потенціалу ландшафтного середовища та забезпечення комфорту

для відвідувачів у зеленій і прибережній зонах парку, що сприяє підвищенню інтересу до його території (рис. 2).



Рис.2. Проектні рішення реконструкції та благоустрою парку

Дизайн-концепція реконструкції базується на інтеграції природного середовища з інфраструктурними рішеннями, що забезпечують всебічний розвиток і культурну діяльність громади. У проекті передбачено модернізацію інфраструктури, зокрема створення доріжок з бруківки, веломаршрутів із гумовим покриттям, встановлення сучасних лавок і освітлення, а також забезпечення доступності для маломобільних груп населення. Простори для дитячих та спортивних активностей сприяють популяризації здорового способу життя серед усіх вікових груп, а меморіальна зона, створена за ініціативою жителів, покликана вшанувати пам'ять загиблих героїв, мешканців Ратного [7].

Озеленення парку розроблено з урахуванням гармонійного поєднання високих дерев, кущів і декоративних чагарників, які додають візуальної динаміки та забезпечують привабливий вигляд у будь-яку пору року. Особливу увагу приділено збереженню природного ландшафту та висадженню нових дерев і кущів із використанням місцевих видів рослин, що покращують якість повітря, сприяють екологічному балансу та створюють затишні зони для прогулянок [7, 8].

Окремий акцент зроблено на озелененні прибережної зони вздовж річки Прип'ять. Висаджені верби виконують функцію зміцнення берегів і збереження природного вигляду ландшафту, інтегруючись у загальну концепцію парку.

Реконструкція парку в селищі Ратне спрямована на створення сучасного, багатofункціонального простору, що гармонійно поєднує природне середовище, комфортну інфраструктуру та культурну спадщину. Проект забезпечує екологічний баланс, доступність і умови для активного та спокійного відпочинку, відповідаючи потребам громади та сприяючи покращенню якості життя мешканців (рис. 3).



Рис. 3. Візуалізація запроєктованих рішень

References

1. Kucheriavyi, V. P., Kucheriavyi, V. S. Oзелennennia naselenykh mist: pidruchnyk dlia studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv: Lviv: Vydavnytstvo «Novyi Svit-2000», 2020. 666 c.
2. Zibtseva O. V. Bioriznomanittia derevno-chaharnykovykh roslyn u nasadzhenniakh malykh mist. Vseukrainskoi naukovy-praktychnoi konferentsii suchasnyi landshaft: proektuvannia, formuvannia, zberezhenntia. 2016. С. 29-30.
3. Honcharenko Ya.V. Systematychnyi ta dekoratyvnyi analiz dendroflory parku «Peremoha» (m. Kharkiv). Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. 2012. Vol. 171. С. 234-239.
4. Sytник S. A., Lovynska V. M., Zaitseva I. A., V. O. O. Dendroflora Sevastopolskoho parku mista Dnipropetrovsk. Pytannia bioindykatsii ta ekolohii. 2010. Vol. 15.1. С. 80–87.
5. Ponomarova O. A., Bessonova V. P., I. O. Ye. Dendroflora parku im. Yu. Haharina u Dnipropetrovsku. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. 2014. Vol. 24.1. С. 63-69.
6. DBN B.2.2-5:2011 Blahoustrii terytorii. – Kyiv : Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 2012. – 64 s.
7. Sokolan Yu.S. Doslidzhennia efektyvnosti systemy blahoustroiu pry ryznykh metodakh rekonstruktsii terytorii / Yu.S. Sokolan, L.V. Kucherenko, O.H. Lialiuik // Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia «Innovatsiini tekhnolohii v budivnytstvi - 2020». 10-12.11.2020, m. Vinnytsia
8. Time-Saver Standards For Landscape Architecture: Design and Construction Data. 2nd edition / Charles W. Harris, Nicholas T. Dines. – 1998 – 923 p.

Література

1. Кучерявий, В. П., Кучерявий, В. С. Озеленення населених місць: підручник для студентів вищих навчальних закладів: Львів: Видавництво «Новий Світ-2000», 2020. 666 с.
2. Зібцева О. В. Біорізноманіття деревно-чагарникових рослин у насадженнях малих міст. Всеукраїнської науково-практичної конференції сучасний ландшафт: проєктування, формування, збереження. 2016. С. 29-30.
3. Гончаренко Я.В. Систематичний та декоративний аналіз дендрофлори парку «Перемога» (м. Харків). Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2012. Vol. 171. С. 234-239.
4. Ситнік С. А., Ловинська В. М., Зайцева І. А., В. О. О. Дендрофлора Севастопольського парку міста Дніпропетровськ. Питання біоіндикації та екології. 2010. Vol. 15.1. С. 80–87.
5. Пonomарьова О. А., Бессонова В. П., І. О. Є. Дендрофлора парку ім. Ю. Гагаріна у Дніпропетровську. Науковий вісник НЛТУ України. 2014. Vol. 24.1. С. 63-69.
6. ДБН Б.2.2-5:2011 Благоустрій територій. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2012. – 64 с.
7. Соколан Ю.С. Дослідження ефективності системи благоустрою при різних методах реконструкції території / Ю.С. Соколан, Л.В. Кучеренко, О.Г. Лялюк // Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві - 2020». 10-12.11.2020, м. Вінниця
8. Time-Saver Standards For Landscape Architecture: Design and Construction Data. 2nd edition / Charles W. Harris, Nicholas T. Dines. – 1998 – 923 p.

Вплив модифікаторів на структурно-фізичні характеристики жорстких пінополіуретанів

Influence of modifiers on the structural and physical characteristics of rigid polyurethane foam

Мікулич О.А., д.т.н., професор, Фурс Т.В., к.т.н., доцент, Шемет В.Я., к.х.н., доцент, Войтюк І.М., аспірант (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)

Mikulich O.A., Doctor of Engineering, Professor, Furs T.V., PhD in Engineering, Associate Professor, Shemet V.Ya, PhD in Chemical Sciences, Associate Professor, Voitiuk I.M., PhD student (Lutsk National Technical University, Lutsk)

В роботі проведено дослідження впливу модифікаторів на структурні та фізичні властивості пінополіуретанів. Порівняння проведено для двох класів модифікаторів: в'язких та гранульованих. У якості в'язкого модифікатора використано силоксановий каучук. Як гранульований модифікатор використовувався перліт спучений. Проаналізовано мікроструктуру отриманих піноматеріалів з різним ваговим вмістом модифікуючих добавок й оцінено їх структурно-фізичні характеристики. Наявність модифікаторів дозволяє збільшити захист пінополіуретану від впливу ультрафіолету.

Experimental studies of the influence of modifiers on the structural and physical characteristics of rigid polyurethane foams were carried out in this work. The article analyzes the structure and properties of polyurethane foam material. The methods of manufacturing PPU materials are presented with an assessment of the advantages and disadvantages of each method.

Rigid polyurethane foams were manufactured by pouring into open molds. The main components for obtaining foam were polyol (component A), which included a foaming agent, and polyisocyanate (component B). We used different weight ratios of polyol and polyisocyanate for preparing experimental samples. As a viscous modifier siloxane rubber was used. As a granular modifier of two types swollen perlite of volcanic origin was used.

It is shown that the modifying additives of siloxane rubber and granular perlite enter the structure of polyurethane foam heterogeneously, forming an independent phase. The microstructure of the test samples was characterized, their morphology was described, the average density was determined, and the porosity of the modified foam material was investigated. It was established that the addition of silicone into the polyurethane system leads to a change in the morphology of the pores and the emergence of a mixed type of porosity. For some samples, it was the presence of both closed and open pores. In the case of using as a modifier expanded granular perlite, the foam's porosity does not change and all pores in obtained foam are closed.

Further studies of the properties of PPU modified with expanded perlite in the direction of practical application as a heat-insulating material were described.

Ключові слова: пінополіуретан, модифікування, мікроструктура, пористість.

Keywords: polyurethane foam, modification, microstructure, porosity.

Вступ. Пінополіуретани (ППУ) належать до класу пористих матеріалів, які завдяки оптимальним фізико-механічним характеристикам (низька теплопровідність, невелика густина, закрита пористість, водостійкість, хороші міцнісні та механічні властивості) широко використовуються в будівництві для теплоізоляції, паро-, гідро- та шумоізоляції. Ці матеріали за вказаними характеристиками вирізняються й мають певні переваги серед інших аналогів будівельних ізоляційних матеріалів [1-2].

Втім, універсальність і багатофункціональність ППУ забезпечується можливістю коригування та управління властивостями внаслідок нескладних операцій, таких як спосіб одержання, зміна складу і співвідношення компонентів.

Аналіз останніх досліджень. Поліуретани (ПУ) отримують у результаті реакції ізоціанатів з поліолами, внаслідок чого утворюються різні структурні домени, які поділяються на сегменти жорсткого та м'якого ланцюга. Ці сегменти ланцюга визначають властивості ПУ, такі як м'якість, гнучкість, твердість, жорсткість [6-7]. Поліоли у структурі ПУ утворюють сегменти м'якого ланцюга, які надають матеріалу м'якість та еластичність. Саме довгі ланцюги та низьке зшивання поліолів роблять полімер вискоеластичним, утворюючи м'які поліуретанові матеріали. Натомість ізоціанати надають поліуретанам жорсткості [6].

Власне на основі поліолів й ізоціантів з додаванням спіноувача та інших добавок отримують пінополіуретани. Змінюючи співвідношення цих двох компонентів, можна корелювати такою співзалежністю властивостей як «м'якість, еластичність – твердість, жорсткість».

У співвідношенні компонентів гнучкої піни переважає вміст поліолу над вмістом поліізоціанату, що забезпечує більшу гнучкість та м'якість матеріалу піни. І навпаки, тверді пінополіуретани мають вищий вміст поліізоціанату, що призводить до більш жорсткої та стабільної структури. Для створення комірчастої (пористої) структури в ППУ використовуються спіноувачі [6-7].

Традиційно пінополіуретани отримують такими способами, як метод лиття, метод розпилення піни та метод реакційного лиття під тиском [6]. Дані методики мають спільне технологічне походження, основане на реакції взаємодії поліолу та ізоціанату, що каталізується добавками та приводиться в дію спіноувачем.

Технологія отримання ППУ способом лиття полягає у контрольованому змішуванні компонентів, що дозволяє отримувати прогнозовані властивості піни [8-9]. Для досягнення оптимальних характеристик піни необхідний точний контроль за різними параметрами (співвідношення поліол-ізоціанат, вміст добавок, умови середовища, час затвердіння). Управління співвідношенням поліол-ізоціанат дозволяє регулювати густину, пористість і механічні властивості піни до вимог конкретного застосування. Особливістю цього методу називають адаптивність до складних форм і здатність до інтегрування добавок з метою модифікування властивостей для певних застосувань. Тому метод лиття вирізняється універсальністю для отримання ППУ і має важливе значення у сучасній інженерії матеріалів [10].

Техніка отримання пінополіуретанів способом розпилення демонструє такі переваги як ефективно змішування компонентів суміші, швидке затвердіння та точний контроль щільності піни [11]. Досягнення оптимальних характеристик піни залежить від таких контрольованих параметрів, як співвідношення ізоціанат-поліол, тип і концентрація спінювача та умови затвердіння. Варіації цих факторів призводять до відмінностей у розмірі комірок, густини (щільності) і, як наслідок, - до регулювання властивостей [12].

Дослідження структурно-фізичних властивостей ППУ, одержаних способом реакційного лиття під тиском показують, що щільність піни, розмір комірок і механічні характеристики визначаються температурою формування та тиском упорскування [13]. Метод характеризується винятковістю швидко виробляти складні вироби з точним дизайном, що робить його придатним для застосування у різних галузях промисловості, від автомобільної до електроніки [14].

Незважаючи на значні досягнення у дослідженнях технології отримання ППУ, оптимізації їх фізико-механічних параметрів, орієнтованих на певні сфери практичного застосування, дана наукова тематика нині не втрачає своєї актуальності. Зокрема, окремим напрямком досліджень, пов'язаним з оптимізацією властивостей щодо підвищення ефективності використання пінополіуретанових матеріалів, виділяють процес модифікування і вивчення властивостей модифікованих ППУ [3-5].

Метою даної роботи є дослідження впливу двох видів модифікаторів: гранульованих та в'язких, на структурно-фізичні характеристики жорстких пінополіуретанів.

Методика експериментальних досліджень. Основними компонентами для отримання піни були поліол (компонент А), у склад якого входив також спінювач, та поліізоціанат (компонент В). Полііоли містять реакційноздатні гідроксильні (ОН) групи, які реагують із ізоціанатними (NCO) групами на ізоціанаті з утворенням поліуретанів.

Введення спіновача у систему поліол-ізоціанат ініціює утворення бульбашок, що призводить до характерної комірчастої структури поліуретанового матеріалу.

Жорсткі поліуретанові піни отримували способом заливки у відкриті форми. Для цього механічним способом ретельно змішували компоненти поліолу та поліізоціанату до утворення однорідної суміші. Дослідження проводилися для різного співвідношення поліолу та поліізоціанату у суміші. Вагове співвідношення поліол – поліізоціанат 1 : 2 є оптимальним для отримання жорстких ПУ пін, що встановлено попередніми дослідженнями [15].

В отриману двокомпонентну суміш (матрицю) вводили модифікатори (компонент С) певної вагової частки. У якості модифікаторів для першої серії зразків використовували добавку в'язкого матеріалу – силосановий каучук, а для другої серії зразків – гранульовану добавку (перліт спучений вулканічної породи). Вибір модифікуючих добавок ґрунтувався на способі підвищення ефективності (оптимізації) властивостей матеріалу пінополіуретану для використання у будівництві та інших галузях промисловості із забезпеченням більшого захисту матеріалу від впливу ультрафіолету.

Силосановий каучук (силікон) – це диметилсилосанова рідина з низькою молекулярною масою, стабілізована оксидом кремнію; в'язка високоеластична речовина, термостійка в діапазоні температур від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$; володіє вогнестійкістю, термостійкістю та хімічною стійкістю

Перліт спучений являє собою легкий, пористий за структурою, матеріал магматичної гірської породи, отриманий за певною методикою у результаті подрібнення й термічної обробки. Цей матеріал завдяки високій повітряній пористості (70...90%), низькій насипній густині, термостійкості, гігроскопічності, стійкості до вологи та гниття, підвищеній водонепроникності, довговічності використовується в якості наповнювачів та розпушувачів у багатьох галузях, зокрема, для тепло та шумоізоляції. Унікальні властивості перліт отримує саме під час термічної обробки. У процесі нагрівання перлітова порода розширюється та утворюються легкі гранули.

У дослідженнях використано гранульований перліт з розміром частинок 0,5 ... 2,5 мм та густиною 110 ... 150 кг/м³.

Утворену реакційну суміш заливали у пластикові контейнери, в яких відбувалося спінювання, формування та затвердіння пінополіуретанів. Під час спінювання відбувалося швидке збільшення об'єму реакційної суміші у 10 ... 30 разів протягом 2 ... 4 хв з виділенням тепла (екзотермічна реакція).

У такий спосіб отримували модифіковані жорсткі ППУ-композиції двох видів за природою добавок (рис. 1, рис. 2). Всі піни витримували при кімнатній температурі протягом 24 годин.



Рис. 1. Зовнішній вигляд модифікованої силіконом композиції ППУ



Рис. 2. Зовнішній вигляд серії композицій ППУ, модифікованих слученим перлітом

Дослідження виконували для двох серій зразків ППУ з різним вмістом модифікаторів, характеристика яких приведена у таблиці 1. Густина піни визначали розрахунково за формулою $\rho = m/V$. Для аналізу пористості використовували програмне забезпечення [16], розроблене на мові Swift, що дозволяє виконувати обчислення на основі фотознімків структури матеріалу.

Таблиця 1

Характеристика дослідних зразків модифікованих ППУ

Модифікування силосановим каучуком			Модифікування спученим перлітом		
Вагове співвідношення компонентів, А:В:С*	ρ , кг/м ³	p , %	Вагове співвідношення компонентів, А:В:С*	ρ , кг/м ³	p , %
2:4:0	69.9	64	10:20:0	69.8	61
2: 4:1	71.8	62	10:20:1	60.2	63
2:4:1.5	75.9	61	10:20:2	57.3	66
2:4:2	97.9	60	10:20:3	63.3	72
2:4:2.5	105.4	56	10:20:4	65.9	75
2:4:3	180.7	53	10:20:5	68.2	77
2:4:4	189.6	51			

* А – поліол, В – поліізоціанат, С – модифікуюча добавка

Результати досліджень

На основі аналізу мікроструктури дослідних зразків ППУ (рис. 3) встановлено, що силікон входить у структуру пінополіуретану гетерогенно, утворюючи самостійну фазу (включення білого кольору на мікроснімках структури, рис. 3).

Модифікування силіконом призводить до зміни пористості матеріалу ППУ. А саме, відбувається видозміна морфології пор від сферичної форми комірок (1-3, рис. 3) до довільної асиметричної з нерівномірною товщиною стінок комірок пор, що має виражений випадковий характер (4-7, рис. 3). Чим більший вміст силікону, тим більш виражена така видозміна структури матеріалу.

Водночас, введення силікону в поліуретанову систему призводить до виникнення змішаного типу пористості (наявність одночасно закритих і відкритих пор). Такий характер пористості виникає при вмісті силікону від 1 мас.ч. і більше. Зростає відсоток відкритих пор матеріалу зі збільшенням вмісту силікону від 1 до 4 мас.ч. Разом з тим пористість матеріалу зменшується від 64 % до 51%.

Загалом, введення в поліуретанову систему модифікуючої добавки силікону і збільшення її частки призводить до таких змін структурно-фізичних характеристик: зростання середньої густини матеріалу (включаючи порожнечу пор); збільшення відсотка відкритих пор; видозміни морфології пор (зростає розмір комірок, їх форма змінюється від сферичної до довільної асиметричної, потовщуються стінки комірок); дрібнопориста структура (0,01 ... 0,1 мм) змінюється в напрямку крупнопористої (0,1 ... 3мм); підвищуються твердість і крихкість та знижується пластичність матеріалу піни.

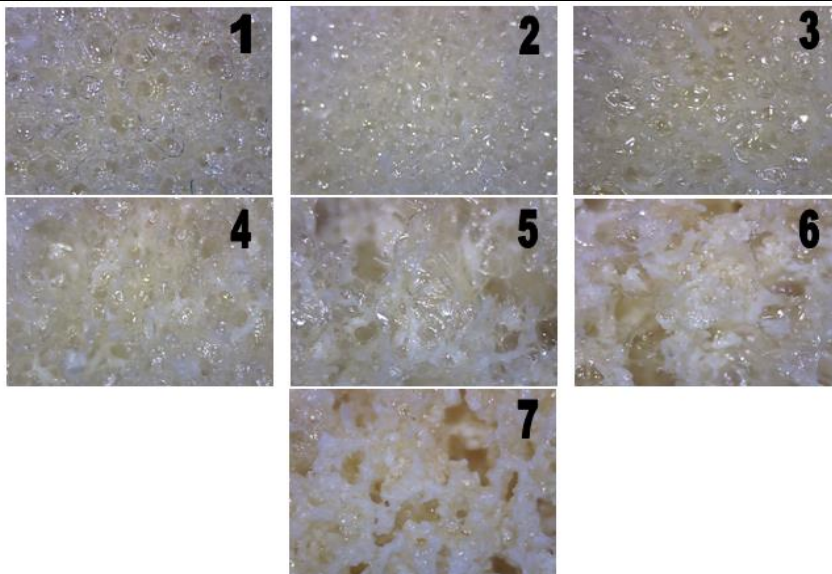


Рис. 3. Мікроструктура зразків пінополіуретанів, модифікованих силіконом ($\times 30$ разів)

Дещо по-іншому відбувається зміна структурно-фізичних характеристик внаслідок модифікування ППУ гранульованим спученим перлітом. Оскільки спучений перліт має низьку насипну густину, високу повітряну пористість (70 ... 90%) і в об'ємному співвідношенні компонентів має значну частку, яка суттєво зростає у серії зразків, то відбувається кореляція густини і пористості суміші компонентів модифікованого матеріалу. Так, до вагового співвідношення компонентів 10:20:2 (поліол : ізоціанат : перліт) середня густина (включає пори і пустоти) модифікованої ПУ піни зменшується від 69,8 до 57,3 кг/м^3 , а з подальшим підвищенням вмісту модифікатора зростає до 68,2 (10:20:5) (табл. 1). А пористість такої піни зростає від 61% до 77% і незмінно залишається закритою (табл. 1) для даної серії зразків. Незалежно від вмісту перліту, форма пор залишається сферичною, а структура матеріалу дрібнопористою (0,1 ... 2 мм) з поодинокими порами розміром до 5 мм (рис. 4).

Втім, структура матеріалу, як і при модифікуванні силіконом, теж є гетерогенною, що відображається окремими включеннями перліту на мікрознімках рис. 4. Зауважимо, що матеріал піни повністю покриває (обволікає) поверхні гранул перліту, що вказує на адгезійну здатність даного модифікатора до пінополіуретану.

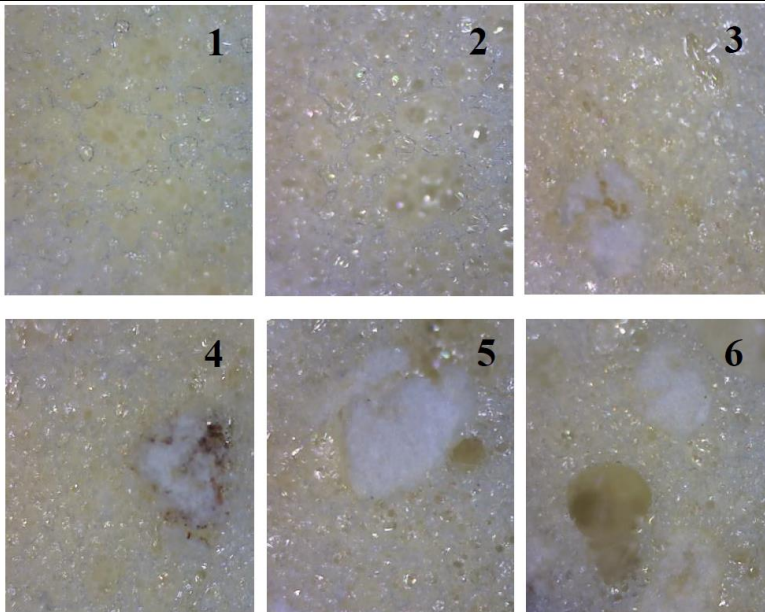


Рис. 4. Мікроструктура зразків пінополіуретанів, модифікованих слученим перлітом

Оскільки спучений перліт характеризується низьким значенням коефіцієнта теплопровідності, а пористість модифікованої ним піни є закритою, то очікується у подальших дослідженнях, що модифіковані перлітом поліуретанові піни матимуть покращену тепло- та звукоізоляційну здатність.

Висновки. На основі результатів проведених досліджень зроблено висновок про зміну структурно-фізичних характеристик матеріалу ППУ внаслідок введення модифікаторів у поліуретанову систему. Встановлено, що в'язкий модифікатор (силікон) впливає на структуру поліуретану інакше, ніж гранульований модифікатор (спучений перліт).

Додавання до ППУ модифікуючої добавки силікону і збільшення її частки призводить до таких структурно-фізичних змін: зростання середньої густини матеріалу (включаючи порожнини пор), зниження пористості, наявність змішаної пористості (одночасно відкриті і закриті пори) і відсоткове збільшення відкритих пор; видозміни пористості (зростає розмір комірок, їх форма змінюється від сферичної до довільної асиметричної); дрібнопориста структура (0,01 ... 0,1 мм) змінюється до крупнопористої (0,1...3 мм); підвищуються твердість і крихкість матеріалу з одночасним зниженням пластичності піни.

Натомість гранульований спучений перліт мало впливає на середню густину матеріалу піни. Разом з тим, зростає пористість, форма пор залишається сферичною, а структура матеріалу дрібнопористою (0,1 ... 2 мм) з поодинокими порами розміром до 5 мм. При підвищенні вмісту перліту пористість піни зростає незначно і незмінно залишається закритою.

Прогнозується, що модифіковані перлітом поліуретанові піни можуть мати покращену термостійкість, тепло-, паро-, гідро та звукоізоляційну здатність.

Одержані дані мають новизну й корисне значення та можуть бути використані для подальших досліджень у модифікуванні пінополіуретанів в напрямку прикладних аспектів їх використання у будівництві та інших галузях інженерної діяльності.

References

1. Tychanicz-Kwiecien, M.; Wilk, J.; Gil, P. Review of high-temperature thermal insulation materials. *J. Thermophys. Heat Transf.* 2019, 33, 271–284.
2. Pan, L. A review of research on the performance of building insulation materials. *Urban Constr. Theory Res. Electron. Ed.* 2015, 1776–1777.
3. Ates, M., Karadag, S., Eker, A.A. and Eker, B. (2022), Polyurethane foam materials and their industrial applications. *Polym Int*, 71: 1157-1163. <https://doi.org/10.1002/pi.6441>
4. Stanzione, M., Oliviero, M., Cocca, M., et al. Tuning of polyurethane foam mechanical and thermal properties using ball-milled cellulose, *Carbohydrate Polymers*, 231, 2020, 115772, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115772>.
5. Baferani, A.H., Keshavarz, R., Asadi, M. and Ohadi, A.R. (2018), Effects of Silicone Surfactant on the Properties of Open-Cell Flexible Polyurethane Foams. *Adv. Polym. Technol.*, 37: 71-83. <https://doi.org/10.1002/adv.21643>
6. Wang Z., Wang C., Gao Y., Li Z., Shang Y, Li H. Porous Thermal Insulation Polyurethane Foam Materials. *Polymers*. 2023, 15(18):3818. <https://doi.org/10.3390/polym15183818>
7. Šebenik, U.; Krajnc, M. Influence of the soft segment length and content on the synthesis and properties of isocyanate-terminated urethane prepolymers. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2007, 153, 527–535.
8. Smith, J.R.; Johnson, E.M. Polyurethane foam preparation techniques: A comprehensive review. *J. Mater. Sci.* 2018, 45, 2897–2910.
9. Brown, A.B.; White, C.D. Casting method for tailored polyurethane foams. *Polym. Eng. Sci.* 2020, 60, 1800–1812.
10. Garcia, F.A.; Lee, K.Y. Influence of additives on casting polyurethane foam properties. *J. Cell. Plast.* 2019, 56, 329–344.
11. Johnson, A.B.; Smith, C.D. Spray-Foaming techniques for tailored polyurethane foams. *J. Appl. Polym. Sci.* 2019, 136, 47512.
12. Garcia, E.F.; Lee, K.Y. Advances in polyurethane spray foaming: From fundamentals to applications. *Polym. Rev.* 2021, 61, 284–301.
13. Smith, A.B.; Johnson, C.D. Reaction injection moulding of polyurethane foam: Process advancements. *Polym. Process.* 2020, 25, 215–230.

14. Garcia, E.F.; Lee, K.Y. Polyurethane foam via rim: Mechanical and thermal properties. *J. Cell. Plast.* 2022, 58, 412–425.
15. Olena Mikulich, Olga Hulay, Tetiana Furs, Vasylyna Shemet. Strength and mechanical characteristics of modified polyurethane foams. *Procedia Structural Integrity* (January 2024) 59(21):460-465. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.065>
16. Mikulich O.A., Zaiakin D.K. Porus material software analisis. *Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*. Lutsk, LNTU. 2024, V. 21. C. 121-127.

Література

1. Tychanicz-Kwiecien, M.; Wilk, J.; Gil, P. Review of high-temperature thermal insulation materials. *J. Thermophys. Heat Transf.* 2019, 33, 271–284.
2. Pan, L. A review of research on the performance of building insulation materials. *Urban Constr. Theory Res. Electron. Ed.* 2015, 1776–1777.
3. Ates, M., Karadag, S., Eker, A.A. and Eker, B. (2022), Polyurethane foam materials and their industrial applications. *Polym Int*, 71: 1157-1163. <https://doi.org/10.1002/pi.6441>
4. Stanzione, M., Oliviero, M., Cocca, M., et al. Tuning of polyurethane foam mechanical and thermal properties using ball-milled cellulose, *Carbohydrate Polymers*, 231, 2020, 115772, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115772>.
5. Baferani, A.H., Keshavarz, R., Asadi, M. and Ohadi, A.R. (2018), Effects of Silicone Surfactant on the Properties of Open-Cell Flexible Polyurethane Foams. *Adv. Polym. Technol.*, 37: 71-83. <https://doi.org/10.1002/adv.21643>
6. Wang Z., Wang C., Gao Y., Li Z., Shang Y, Li H. Porous Thermal Insulation Polyurethane Foam Materials. *Polymers*. 2023, 15(18):3818. <https://doi.org/10.3390/polym15183818>
7. Šebenik, U.; Krajnc, M. Influence of the soft segment length and content on the synthesis and properties of isocyanate-terminated urethane prepolymers. *Int. J. Adhes. Adhes.* 2007, 153, 527–535.
8. Smith, J.R.; Johnson, E.M. Polyurethane foam preparation techniques: A comprehensive review. *J. Mater. Sci.* 2018, 45, 2897–2910.
9. Brown, A.B.; White, C.D. Casting method for tailored polyurethane foams. *Polym. Eng. Sci.* 2020, 60, 1800–1812.
10. Garcia, F.A.; Lee, K.Y. Influence of additives on casting polyurethane foam properties. *J. Cell. Plast.* 2019, 56, 329–344.
11. Johnson, A.B.; Smith, C.D. Spray-Foaming techniques for tailored polyurethane foams. *J. Appl. Polym. Sci.* 2019, 136, 47512.
12. Garcia, E.F.; Lee, K.Y. Advances in polyurethane spray foaming: From fundamentals to applications. *Polym. Rev.* 2021, 61, 284–301.
13. Smith, A.B.; Johnson, C.D. Reaction injection moulding of polyurethane foam: Process advancements. *Polym. Process.* 2020, 25, 215–230.
14. Garcia, E.F.; Lee, K.Y. Polyurethane foam via rim: Mechanical and thermal properties. *J. Cell. Plast.* 2022, 58, 412–425.
15. Olena Mikulich, Olga Hulay, Tetiana Furs, Vasylyna Shemet. Strength and mechanical characteristics of modified polyurethane foams. *Procedia Structural Integrity* (January 2024) 59(21):460-465. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.065>
16. Mikulich O.A., Zaiakin D.K. Porus material software analisis. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, ЛНТУ. 2024, Випуск 21. С. 121-127.

Дослідження занедбаних будівель Волинської області та оцінка їх адаптаційного потенціалу для потреб громади

Research of neglected buildings in Volyn region and assessment of their adaptation potential for community needs

Парфентьєва І.О., к.т.н., доцент, Мельник Ю.В., к.т.н., доцент
Степанюк В.О., студентка (Луцький національний технічний університет, Луцьк)

Parfentieva I. O., Ph.D., associate professor, Melnyk Y.A, Ph.D., associate professor, Stepaniuk V. O., student (Lutsk National Technical University, Lutsk)

Для забезпечення населення Волинської області новими приміщеннями для коменційних, виробничих та інших цілей необхідно звертати увагу на старі покинуті будівлі, що не експлуатуються вже багато років. Дуже часто конструкції таких будівель перебувають в нормальному стані, а тому будівля може експлуатуватися після проведення реконструкції або капіального ремонту.

With the current rapid population growth in the Volyn region, the need for the construction of a larger number of buildings is growing. However, cities are quite densely built up these days and it is very difficult to find vacant land for construction.

We must to pay attention to old abandoned buildings that have not been used for many years to provide the population of the Volyn region with new premises for commercial, industrial and other purposes,. Very often, the structures of such buildings are in normal condition, and the building can be used after reconstruction or major repairs. Using old buildings as a foundation for new ones is one of the most environmentally friendly and economical ways to build. People should make the most of urban areas and prevent areas from remaining unused. In addition, reconstruction takes much less time to implement than new construction. This factor contributes to a faster commissioning of the facility.

It is necessary to conduct a technical inspection of old buildings to check the load-bearing structures and confirm their condition, which meets the requirements for strength and reliability. First of all, load-bearing and enclosing structures are checked. It is also necessary to take into account the condition of non-capital structures for budget planning.

This article examines the problem of old buildings without exploitation, examines individual buildings, analyzes their technical condition, and draws conclusions about the possibilities of further exploitation. The examples given show only a small part of the abandoned buildings that can get a new life.

One building in the city of Lutsk and one building in the village of Zhuravychi were selected for the research. Both buildings have not been used for more than 15 years, but their structures are in good condition and suitable for use.

Ключові слова: занедбані будівлі, обстеження будівель, реконструкція, капітальний ремонт.

Keywords: abandoned buildings, building inspections, reconstruction, repairs.

Аналіз останніх досліджень. В медіа неодноразово висвітлювалась проблема занедбаних будівель в м. Луцьк та Волинській області [1, 2]. В інформаційному просторі з'являються світлини давно покинутих і забутих будівель, які руйнуються під впливом атмосферних опадів, механічних впливів і часу. «Всі ці будівлі за розумного підходу можна передати під бізнес, житло, інвестиційні проекти. І таким чином втримати людей від виїзду за кордон, створити тут робочі місця», – каже голова районної ради. [3]. Дані будівлі займають цінні земельні площі, а також псують архітектурну композицію міста.

Прикладом вирішення такої проблеми є реконструювання занедбаної адміністративної будівлі в місті Ковель Волинської області під житлові приміщення для ВПО [4]. Проект та реалізація були здійснені за фінансування ЄС та із залученням міжнародної фінансової організації НЕФКО.

Постановка задачі. У зв'язку з веденням бойових дій на Сході країни, чисельність населення західних регіонів значно зросла за рахунок ВПО. Як наслідок збільшення кількості жителів виникає потреба у будівлях різного функціонального призначення: житлових, комерційних, адміністративних, виробничих тощо. Одним із способів отримання необхідних приміщень є реконструкція та капітальний ремонт старих будівель, що не експлуатуються. Таким чином, приміщення будуть готові до експлуатації в більш короткі терміни та із залученням меншої кількості ресурсів в порівнянні з новим будівництвом.

На території Волинської області знаходиться велика кількість збудованих в попередньому столітті будівель, які перебувають в занедбаному стані та не експлуатуються. Нашим завданням сьогодні є пошук таких будівель, оцінка можливості їх ремонту або реконструкції під необхідні приміщення. Для цього розглянемо два варіанти занедбаних будівель, проаналізуємо стан їхніх несучих конструкцій та проведемо оцінку можливості подальшого використання цих будівель.

Виклад основного матеріалу. Дослідження буде проведено на основі технічного обстеження стану будівель та їх окремих конструкцій візуально-інструментальним методом [5].

Будівля №1 (рис.1) – адміністративна будівля Волинської обласної СЕС з лабораторними приміщеннями, що розташована у місті Луцьке по вул. Банковій. Орієнтовний рік забудови – 1960. Зі слів місцевого населення, будівля не експлуатується вже близько 15-ти років.

Конструктивно будівля являє собою цегляну споруду з поздовжніми і поперечними зовнішніми і внутрішніми несучими стінами. Під стінами влаштовані стрічкові цегляні фундаменти. Перекриття дерев'яне по дерев'яних балках, що спираються на несучі стіни. Над будівлею влаштований двосхилий горищний дах з покрівлею з азбестоцементних хвилястих листів. Несучими конструкціями даху є дерев'яна кроквяна система.



Рис.1. Фото фактичного стану будівлі №1 зовні та всередині

За результатами проведення обстеження та обмірів було виконано креслення плану на відм.0,000 (рис. 2).

Основними причинами, що знижують експлуатаційну придатність будівлі та окремих її конструкцій є :

- відсутність планування території з ухилом від стін будівлі;
- тріщини в зовнішніх стінах внаслідок осідання фундаментів;
- наявність рослинності в безпосередній близькості до стін будівлі;
- руйнування цегляної кладки карнизних звисів, зсув окремих цеглин з небезпекою випадіння;
- неналежна організація повітрообміну в приміщеннях, порушення температурно - вологісного режиму, ураження конструкцій грибком;
- повне руйнування конструкції підлоги (її несучих елементів і покриття);
- наявні отвори і тріщини в азбестоцементних листах даху;
- внаслідок затікання опадів наявні ураження гнилизною окремих балок перекриття та елементів кровляної системи.

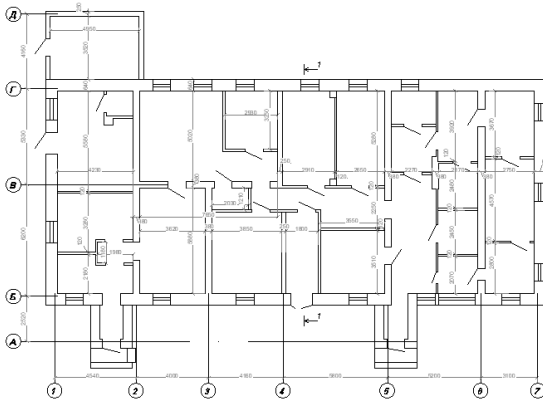


Рис. 2. План на відм. 0,000 будівлі №1

Будівля №1 перебуває в непридатному до нормальної експлуатації стані, проте суттєвих дефектів в несучих конструкціях, які б унеможливили подальше використання будівлі, не виявлено. Для повернення будівлі до експлуатації необхідна розробка проекту капітального ремонту згідно норм і правил чинних державних будівельних документів України [6].

Будівля №2 (рис. 3) – житлова будівля в складі санаторного комплексу «Журавка» в с. Журавичі Луцького району Волинської області.

На території даного санаторію знаходяться цінні джерела, що володіють лікувальними властивостями. Будівля не експлуатується вже близько 20-ти років. Заяви про відновлення санаторію поступають з 2014

року [7], проте досі жодна з них не втілюється в реальність. В 2023 році стало відомо про викуп санаторію ТзОВ «Карлеоне» [8].

Об'єктом нашого дослідження є двоповерхова будівля прямокутної форми в плані 20-х років забудови.



Рис. 3. Фото фактичного стану будівлі №2 ззовні та всередині

Конструктивно будівля являє собою цегляну споруду з поздовжніми і поперечними зовнішніми і внутрішніми несучими стінами. Перекриття зі

збірних залізобетонних пустотних плит, що спираються на несучі стіни. Під зовнішніми і внутрішніми стінами влаштовані стрічкові цегляні фундаменти. Над будівлею влаштований односхилий горишний дах з покрівлею з азбестоцементних хвилястих листів. Несучими конструкціями даху є дерев'яна кроквяна система.

За результатами проведення обстеження та обмірів було виконано креслення планів першого та другого поверхів (рис. 4).

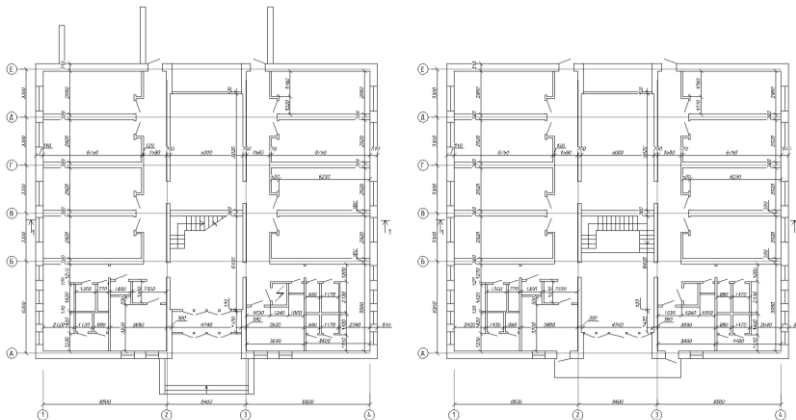


Рис. 4. Плани першого та другого поверхів будівлі №2

Основними причинами, що знижують експлуатаційну придатність будівлі та окремих її конструкцій є :

- наявність рослинності в безпосередній близькості до стін будівлі, що сприяє їхньому зволоженню;
- відсутнє вимощення по периметру будівлі;
- руйнування дерев'яних віконних блоків;
- розтріскування бетону та оголення арматури залізобетонних плит перекриття та балконних плит;
- осідання фундаментів під зовнішньою стіною, наскрізні тріщини в цегляних перегородках;
- відсутність водовідведення з покрівлі, що спричиняє значні замокання стіни по осі E;
- неналежна організація повітрообміну в приміщеннях, порушення температурно-вологісного режиму, ураження конструкцій грибок;
- наявні отвори і тріщини в азбестоцементних листах даху, замокання конструкцій перекриття другого поверху.

Будівля №2 перебуває в стані непридатному до нормальної експлуатації. Конструкцій в аварійному стані не знайдено. Виявлені дефекти можна усунути шляхом виконання капітального ремонту.

Висновок. В даному дослідженні розглянуто лише кілька будівель, що можуть використовуватися для потреб населення, насправді таких будівель сотні на Волині. Вони займають цінні міські площі, псують архітектурну композицію вулиць. Повернути їм життя можна за допомогою проведення реконструкції або капітального ремонту. Їх відновлення принесе нові робочі місця, місця для відпочинку та розваг населення, нові площі для комерційних та офісних приміщень тощо. Такий підхід може зекономити час та фінанси, необхідні для будівництва.

References

- 1.Unfinished and abandoned facilities in Lutsk that need renovation. PHOTO [Digital source] .– Access: https://www.volynpost.com/news/62989-nedobudovani-ta-zakynuti-objekty-u-lucku-i-aki-potrebuyut-onovlennia-foto#google_vignette
- 2.Abandoned buildings of Old Lutsk. PHOTO REPORT [Digital source] .– Access: <https://volynonline.com/zanedbani-budivli-starogo-lutska-fotoreportazh/>
3. New life for abandoned buildings. Lutsk District Council is looking for investors [Digital source] .– Access: https://pershyj.com/p-nove-zhittya-zanedbanim-budivlyam-lutska-rairada-shukaye-investoriv-49137#google_vignette
- 4.In Volyn, abandoned buildings were turned into housing for IDPs: how does this solution work? [Digital source] .– Access: <https://rubryka.com/2024/04/09/na-volyni-zanedbani-budivli-peretvoryly-na-zhytlo-dlya-vpo-yak-pratsyuye-tse-rishennya/>
- 5.DSTU 9273:2024 Guidelines for the inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition. Mechanical resistance and stability: Kyiv: Order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2023.
- 6.SBR V.2.2-28:2010 Buildings and structures. Administrative and residential buildings: Kyiv: Order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2010.
- 7.They want to restore a unique resort in Volyn [Digital source] .– Access: <https://www.volynnews.com/news/society/unikalnyy-kurort-na-volyni-khochut-vidnovyty/>
8. A unique sanatorium in Volyn was sold for 8 million [Digital source] .– Access: <https://vsn.ua/news/na-volini-unikalny-stadion-prodali-za-8-milyoniv-scho-vidomo-28998>

Література

1. Недобудовані та закинуті об'єкти у Луцьку, які потребують оновлення. ФОТО [Електронний ресурс].– Режим доступу: https://www.volynpost.com/news/62989-nedobudovani-ta-zakynuti-objekty-u-lucku-iaki-potrebuyut-onovlennia-foto#google_vignette
2. Занедбані будівлі Старого Луцька. ФОТОРЕПОРТАЖ [Електронний ресурс].– Режим доступу: <https://volynonline.com/zanedbani-budivli-starogo-lutska-fotoreportazh/>
3. Нове життя занедбаним будівлям. Луцька райрада шукає інвесторів [Електронний ресурс].– Режим доступу: https://pershyj.com/p-nove-zhittya-zanedbanim-budivlyam-lutska-rairada-shukaye-investoriv-49137#google_vignette
4. На Волині занедбані будівлі перетворили на житло для ВПО: як працює це рішення? [Електронний ресурс].– Режим доступу: <https://rubryka.com/2024/04/09/na-volyni-zanedbani-budivli-peretvoryly-na-zhytlo-dlya-vpo-yak-pratsyuye-tse-rishennya/>
5. ДСТУ 9273:2024 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість»: Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2024. 64с.
6. ДБН В.2.2-28:2010 "Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення": Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. 64с.
7. Унікальний курорт на Волині хочуть відновити [Електронний ресурс].– Режим доступу: <https://www.volynnews.com/news/society/unikalnyy-kurort-na-volyni-khochut-vidnovyty/>
8. На Волині унікальний санаторій продали за 8 мільйонів [Електронний ресурс].– Режим доступу: <https://vsn.ua/news/na-volyni-unikalniy-stadion-prodali-za-8-milyoniv-scho-vidomo-28998>

Модульні системи: концепція, енергоефективність та функціональні можливості в умовах реконструкції

Modular systems: concept, energy efficiency, and functional capabilities in the context of reconstruction

Пасічник Р.В., к.т.н., доцент, Боярчук Б.А., к.т.н., доцент, Пасічник О.С., к.арх., доцент, Задорожнікова І.В., к.т.н., доцент (Луцький національний технічний університет, Луцьк)

Pasichnyk R.V., Ph.D., Associate Professor, Boyarchuk B.A., Ph.D., Associate Professor, Pasichnyk O.S., Ph.D. (Arch.), Associate Professor, Zadorozhnikova I.V., Ph.D., Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk)

У статті розглядається концепція, енергоефективність та функціональність модульних систем в умовах реконструкції. Концепція модульного будівництва ґрунтується на принципах заводського виробництва модулів, що забезпечує високу точність, якість і відповідність стандартам, а також універсальність та швидкість монтажу і гнучкість дизайну. Модульний підхід дозволяє легко адаптувати будівлі до індивідуальних потреб. У рамках цього підходу використовуються різні типи модулів, які виконують конкретні функції: фасадні, структурні, інженерні, функціональні. Модульні системи мають явні переваги перед традиційними методами реконструкції. Вони забезпечують швидкість і якість виконання робіт, дозволяють зменшити витрати та мають позитивний екологічний вплив.

The article examines the concept, energy efficiency, and functional capabilities of modular systems in the context of reconstruction. Modular construction is based on the principles of factory production of modules, ensuring high precision, quality, compliance with standards, modular versatility, rapid assembly, and design flexibility. The modular approach allows buildings to be easily adapted to individual needs. Within this approach, various types of modules are used, each fulfilling specific functions: facade modules, structural modules, engineering modules, and functional modules. Modular systems have clear advantages over traditional reconstruction methods. They ensure speed and quality of work, reduce costs, and have a positive environmental impact. In the context of post-war recovery, these characteristics make modular systems the optimal choice for fast and sustainable reconstruction of the housing stock. Strengthening load-bearing structures and using replaceable modules for damaged walls and floors are key technologies in restoring damaged buildings. These technologies provide a quick, cost-effective, and high-quality return of buildings to operation, meeting modern construction and safety requirements. The integration of modular systems enables efficient solutions for reconstruction tasks while minimizing disruption to residents and reducing resource consumption. Modular

systems are among the most effective approaches to building reconstruction in post-conflict conditions. They not only ensure rapid and high-quality restoration but also contribute to improving the energy efficiency of buildings. Considering current requirements for reducing energy consumption, modular solutions allow for minimizing energy losses and providing comfortable living conditions for residents. One of the key advantages of modular systems is the ability to integrate insulation materials directly into facade modules. This significantly enhances the energy efficiency of buildings, especially in cases of reconstructing old concrete buildings that typically have low thermal insulation properties. In modern conditions of housing stock reconstruction after military actions, it is essential not only to restore damaged buildings but also to ensure their environmental sustainability. An ecological approach involves minimizing environmental impact through the use of environmentally friendly materials, recycling damaged structures, and reducing the volume of construction waste. In this context, modular systems play a crucial role as they combine efficiency with environmental care. Modular systems provide extensive opportunities for improving the design and aesthetics of buildings. The use of diverse materials, the creation of harmonious appearances, and integration into urban environments make such systems the optimal solution for reconstructing the housing stock under modern conditions. They not only meet aesthetic demands but also contribute to the creation of a comfortable and functional urban space.

Ключові слова: модульні системи, збірні конструкції, відновлення зруйнованого житла, реконструкція, міцність, стійкість, деформації, енергоефективність.

Keywords: modular systems, prefabricated structures, restoration of destroyed housing, reconstruction, strength, itability, deformations, energy efficiency

Вступ. Модульні системи – це інноваційний підхід у будівництві, який базується на використанні попередньо виготовлених компонентів (модулів), які легко транспортуються та монтуються на місці. Ця технологія стала відповіддю на необхідність швидкого, економічного та якісного будівництва, що особливо актуально в умовах реконструкції житлового фонду після війни. Завдяки своїй гнучкості та універсальності, модульні системи дозволяють забезпечити ефективне відновлення будівель різної складності, адаптуючи їх до сучасних стандартів.

Метою цього дослідження є вивчення особливостей застосування модульних систем для реконструкції пошкоджених війною та застарілих будівель.

Основна частина. Концепція модульних систем та їх застосування у реконструкції

Модульний підхід ґрунтується на ідеї стандартизації та попереднього виготовлення компонентів будівлі. Основні принципи цієї концепції це заводське виробництво, універсальність, швидкий монтаж, гнучкість дизайну [2].

Основні елементи конструкцій, такі як стіни, перегородки, фасадні панелі, інженерні системи виготовляють у контрольованих умовах на спеціалізованих заводах. Це забезпечує високу точність, якість і відповідність стандартам.

Модулі мають стандартизовані розміри та конструктивні особливості, що дозволяє їх використовувати у будівлях різного призначення – від житлових до комерційних.

Завдяки підготовці модулів на заводі, їх монтаж на місці потребує мінімальних витрат часу і зусиль. Це особливо важливо в умовах повоєнного відновлення, коли необхідно швидко забезпечити житлом значну кількість людей.

Модульний підхід дозволяє легко адаптувати будівлі до індивідуальних потреб. Наприклад, модулі можуть бути використані для створення сучасних фасадів, утеплення або добудови додаткових приміщень.

У рамках модульного підходу використовуються різні типи модулів, які виконують конкретні функції: фасадні, структурні, інженерні, функціональні.

Фасадні модулі використовують для відновлення або оновлення зовнішніх стін будівлі, можуть включати теплоізоляцію, оздоблювальні матеріали та навіть інтегровані інженерні рішення, такі як сонячні панелі, забезпечують як естетичну, так і енергоефективну реконструкцію.

Структурні модулі включають несучі елементи, такі як колони, балки та перекриття. Використовуються для посилення пошкоджених конструкцій або створення нових.

Інженерні модулі інтегрують системи опалення, вентиляції, кондиціонування, водопостачання та електропостачання, легко монтуються та підключаються до основних мереж.

Функціональні модулі призначені для створення додаткових просторів, таких як балкони, лоджії, тераси або ліфтові шахти, можуть бути використані для збільшення корисної площі будівлі.

Модульні системи мають низку переваг, які роблять їх ідеальним рішенням для реконструкції житлового фонду. Це такі переваги, як: швидкість реалізації, якість і точність, економічність, мінімальний вплив на мешканців, екологічність [6].

В умовах відновлення житлового фонду після війни модульний підхід має надзвичайно важливе значення. Він дозволяє швидко і ефективно відновлювати пошкоджені будівлі, підвищувати енергоефективність, розширювати функціональність, оновлювати естетику будівель [5].

Принципи модульного підходу відкривають нові можливості для реконструкції житлового фонду [4]. Їх впровадження дозволяє швидко, економічно та якісно відновлювати будівлі, забезпечуючи комфортні умови

для проживання мешканців і відповідність сучасним стандартам. У повоєнних умовах ці технології можуть стати ключовим інструментом для швидкого відновлення інфраструктури та стабілізації соціально-економічного середовища.

Модульні системи вирізняються екологічною ефективністю, оскільки значна частина будівництва здійснюється у контрольованих умовах на заводі, де усі елементи виготовляються з максимальною точністю, що дозволяє уникнути перевитрат матеріалів. Залишки матеріалів у заводських умовах можуть бути перероблені чи використані повторно. Модулі доставляють в готовому вигляді, що знижує потребу у різанні, свердлінні чи інших процесах, які супроводжуються утворенням сміття.

Крім того, модульні системи дозволяють частково використовувати вже наявні будівельні конструкції або повторно інтегрувати матеріали зі зруйнованих будівель. Це особливо важливо в умовах обмежених ресурсів та екологічних викликів.

Модульні системи є надзвичайно гнучкими і можуть бути застосовані як для створення тимчасових, так і для постійних будівель. Ця універсальність є однією з ключових переваг технології.

Модульні системи також ефективно використовують для створення постійних будівель з високим рівнем енергоефективності та комфортності. Такі конструкції відповідають усім сучасним будівельним стандартам і можуть слугувати десятки років.

Завдяки використанню сучасних матеріалів та інтеграції інженерних систем модульні будівлі забезпечують високу якість і довговічність.

Гнучкість модульних систем дозволяє адаптувати їх до різних потреб, починаючи від невеликих житлових будинків і закінчуючи великими багатофункціональними комплексами.

Модульні системи мають значні переваги, які роблять їх оптимальним вибором для відновлення будівель у повоєнний період. Швидкість виробництва і монтажу дозволяє оперативно забезпечувати житлом постраждалих, мінімізація будівельного сміття сприяє екологічній сталості, а можливість застосування у тимчасових і постійних конструкціях робить цю технологію універсальною. Модульний підхід є не лише технічно ефективним, але й економічно доцільним, що робить його ключовим інструментом для вирішення сучасних викликів у сфері реконструкції.

Фасадні, інженерні та добудовчі модулі є ключовими елементами у процесі відновлення пошкоджених будівель та модернізації існуючого житлового фонду. Їхня універсальність, ефективність і естетична привабливість роблять модульні системи оптимальним вибором для вирішення складних завдань реконструкції.

Одним із ключових завдань у відновленні пошкоджених будівель є забезпечення їхньої конструктивної міцності та стійкості. В умовах

повоєнного відновлення, де будівлі зазнали значних руйнувань, основною вимогою є посилення несучих конструкцій. Цей процес включає ретельне обстеження технічного стану будівлі, визначення ступеня пошкоджень та впровадження технологій, які дозволяють відновити або покращити здатність конструкцій витримувати навантаження.

Першим кроком є оцінка стану несучих елементів, таких як стіни, колони, балки та перекриття. За допомогою спеціалізованих методів діагностики (ультразвукове сканування, рентгенографія бетону, випробування на міцність) визначають наявність тріщин, корозії арматури, зниження несучої здатності бетону. [1]

Карбонові або скловолоконні стрічки та сітки є ефективним засобом для зміцнення бетону. Вони наносяться на поверхню конструкцій, забезпечуючи додаткову міцність і стійкість до динамічних навантажень.

Для відновлення колон, балок чи фундаментів застосовують технологію заливки нового шару бетону, що об'єднується з існуючою конструкцією. Встановлення сталевих обойм або стрижнів навколо пошкоджених елементів дозволяє компенсувати втрату несучої здатності та рівномірно розподілити навантаження.

Для герметизації тріщин та відновлення монолітності конструкцій використовують полімерні матеріали, які вводяться під тиском.

У процесі посилення конструкцій необхідно враховувати можливі динамічні навантаження, зокрема, сейсмічну активність або повторні вибухи. Це досягається шляхом використання спеціальних армуючих систем або демпфуючих елементів.

Посилення несучих конструкцій дозволяє не лише відновити функціональність будівлі, але й значно продовжити термін її експлуатації, забезпечуючи безпеку мешканців.

У випадках, коли пошкодження стін і перекриттів є критичними, доцільним рішенням є використання заміних модулів. Модульний підхід до відновлення дозволяє швидко та ефективно замінювати зруйновані елементи, забезпечуючи відновлення будівлі з мінімальними витратами часу і ресурсів.

Замінні модулі виготовляють у заводських умовах із точним дотриманням необхідних стандартів. Їхня конструкція забезпечує легкий монтаж на місці пошкоджень, навіть у складних умовах будівельного майданчика. Модулі виготовляють з міцних і легких матеріалів, таких як високоякісний бетон, армовані композити або сталеві панелі.

Стінові модулі використовують для заміни зовнішніх і внутрішніх стін, які зазнали значних пошкоджень. Можуть включати утеплювальні шари, оздоблювальні матеріали та системи герметизації. Забезпечують енергоефективність і захист від вологи.

Модулі перекриттів замінюють пошкоджені або зруйновані міжповерхові перекриття. Оснащуються армуванням для підвищення міцності і стійкості до навантажень. Легкість конструкції модулів зменшує навантаження на існуючі несучі елементи.

Модулі комбінованого типу включають функціональні елементи, такі як вентиляційні канали, системи опалення чи електромережі.

Після демонтажу пошкоджених елементів на будівельному майданчику виконується підготовка для встановлення модулів (укріплення стиків, вирівнювання основи). Замінні модулі монтують за допомогою спеціальних кріплень або монтажного обладнання. Герметизація стиків забезпечує цілісність конструкції та її стійкість до зовнішніх впливів.

Модулі виготовляються одночасно з демонтажем пошкоджених елементів, що значно скорочує тривалість робіт. Заводське виготовлення гарантує високу якість матеріалів і точність конструкцій. Замінні модулі можуть бути адаптовані до будь-яких архітектурних і технічних вимог.

Замінні модулі ідеально інтегруються з іншими модульними системами, такими як фасадні панелі або інженерні модулі. Це дозволяє проводити комплексне оновлення будівель, забезпечуючи їх естетичність, функціональність та енергоефективність.

Енергоефективність та екологічність модульних систем. Модульні системи є одним із найефективніших підходів до реконструкції будівель у повоєнних умовах. Вони не лише забезпечують швидке та якісне відновлення, але й сприяють підвищенню енергоефективності будівель [3]. Ураховуючи сучасні вимоги до зниження енергоспоживання, модульні рішення дозволяють мінімізувати втрати енергії та забезпечити комфортні умови проживання для мешканців.

Однією з головних переваг модульних систем є можливість інтеграції теплоізоляційних матеріалів безпосередньо у фасадні модулі. Це значно підвищує енергоефективність будівлі, особливо у випадках реконструкції старих бетонних будинків, які зазвичай мають низькі теплоізоляційні властивості.

Фасадні модулі оснащують сучасними ізоляційними матеріалами, такими як мінеральна вата, пінополістирол або пінополіуретан. Ці матеріали мають високі теплоізоляційні показники та забезпечують зменшення тепловтрат до 50–70%. Утеплювачі інтегруються у багат шарові конструкції модулів, що поєднують теплоізоляційні шари з декоративними панелями. Це покращує мікроклімат всередині приміщень: взимку будівлі зберігають тепло, а влітку – прохолоду, а також призводить до зменшення витрат на опалення та кондиціонування, продовжує термін служби будівлі завдяки захисту стін від впливу зовнішніх факторів, таких як волога чи температурні перепади.

У реконструйованих будівлях, оснащених фасадними модулями з теплоізоляцією, енергоспоживання на опалення може знижуватися на 30–50%, що суттєво зменшує витрати мешканців та сприяє екологічності будівель.

Модульні системи передбачають високий рівень герметизації конструкцій, що є важливим фактором для досягнення енергоефективності будівель. Герметичність конструкцій дозволяє мінімізувати тепловтрати через стики між елементами будівлі, що є типовою проблемою для традиційних методів реконструкції.

Для герметичних з'єднань у модульних системах використовують спеціальні ущільнювачі, герметики та монтажні піни, які забезпечують високу щільність стиків. Стики між модулями додатково покривають теплоізоляційними матеріалами або спеціальними мембранами, що запобігають утворенню «містків холоду». Зменшуються тепловтрати через конструкційні елементи, зокрема стики. Покращується шумоізоляція, що забезпечує комфортні умови проживання. Виключається проникнення вологи, яка може спричинити утворення конденсату та пошкодження матеріалів.

Завдяки ретельній герметизації в модульних будівлях зберігається до 20% більше тепла порівняно з традиційними конструкціями. Це забезпечує зниження енергоспоживання та підвищує загальну ефективність реконструйованих будівель.

Ще однією важливою перевагою модульних систем є можливість інтеграції відновлюваних джерел енергії, що відповідає сучасним стандартам екологічності та сталого розвитку. Інтеграція таких систем дозволяє не лише зменшити залежність від традиційних енергоресурсів, але й зробити будівлі енергетично автономними.

Фасадні модулі можуть бути оснащені інтегрованими сонячними панелями, які виробляють електроенергію для освітлення, роботи побутових приладів та інженерних систем. Використання сонячної енергії дозволяє знизити витрати на електроенергію та зменшити викиди вуглекислого газу. На дахах будівель можуть бути встановлені сонячні батареї більшої потужності, які забезпечують повне або часткове енергозабезпечення.

Теплові насоси можуть бути інтегровані у системи опалення та кондиціонування будівель. Ці пристрої використовують енергію землі, повітря або води для обігріву приміщень взимку та охолодження влітку, забезпечуючи економію енергії до 70% у порівнянні з традиційними системами.

Таблиця 1

Порівняння традиційних методів з модульними системами

Критерій	Традиційні методи	Модульні системи
Швидкість	Тривалий процес	Висока швидкість монтажу
Якість	Залежить від умов	Висока якість завдяки заводському виробництву
Вартість	Висока	Оптимізована, економічна
Екологічність	Значні відходи	Мінімізація сміття
Енергоефективність	Обмежена	Висока завдяки сучасним технологіям

Порівнюючи енергоефективність, традиційні методи часто залишають будівлю без достатньої теплоізоляції та герметизації, що спричиняє високі енергетичні витрати. Модульні системи, завдяки інтеграції сучасних утеплювачів, герметичних з'єднань та відновлюваних джерел енергії сприяють зменшенню енергоспоживання та скороченню викидів парникових газів.

Функціональні та архітектурні можливості модульних систем.

Модульні системи пропонують унікальні можливості для розширення функціональності існуючих будівель. Завдяки своїй гнучкості, вони дозволяють не тільки відновлювати пошкоджені конструкції, але й створювати нові функціональні простори, які значно покращують комфорт, естетику та зручність експлуатації будівлі. Серед ключових рішень – інтеграція балконів, терас, дахових зон, а також облаштування додаткових приміщень, таких як ліфти, пандуси чи технічні кімнати.

Забезпечення доступності будівель для людей із інвалідністю або маломобільних груп є важливою вимогою сучасного будівництва. Модулі для пандусів виготовляють з легких металевих або композитних матеріалів і встановлюють біля входів до будівлі. Вони можуть бути стаціонарними та знімними або складними для тимчасового використання. Пандуси роблять будівлю інклюзивною, що покращує якість життя мешканців.

Елементи безбар'єрного доступу це пандуси, широкі дверні отвори, ліфти, поручні та підйомні платформи.

Завдяки стандартизації модулі для пандусів, ліфтів та платформ можуть бути швидко виготовлені та змонтовані. Використання інноваційних матеріалів дозволяє знизити вагу конструкцій та зменшити навантаження на будівлю. Гнучкість модулів забезпечує можливість адаптації до різних типів будівель.

Висновок

1. Посилення несучих конструкцій та використання замічних модулів для пошкоджених стін і перекриттів є ключовими технологіями у відновленні пошкоджених будівель. Вони забезпечують швидке, економічне і якісне повернення будівель до експлуатації, враховуючи

вимоги сучасного будівництва та безпеки. Інтеграція модульних систем дозволяє ефективно вирішувати завдання реконструкції, мінімізуючи вплив на мешканців і знижуючи витрати ресурсів.

2. Модульні системи мають явні переваги перед традиційними методами реконструкції. Вони забезпечують швидкість і якість виконання робіт, дозволяють зменшити витрати та мають позитивний екологічний вплив. У контексті повоєнного відновлення ці характеристики роблять модульні системи оптимальним вибором для швидкої та стійкої реконструкції житлового фонду.

References

1. Kotsiuba, S. V. Architectural and Structural Features of the Modernization of Multi-Story Buildings / S. V. Kotsiuba. – Kyiv: Naukova Dumka, 2020. – 284 p.
2. Modular Construction: Prospects and Challenges: Monograph / Edited by I. I. Doroshenko. – Dnipro: DNU, 2018. – 356 p.
3. Moroz, V. A., Boyko, L. V. Energy-Efficient Technologies in the Renovation of the Housing Stock / V. A. Moroz, L. V. Boyko. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020. – 248 p.
4. National Strategy for the Renovation of the Housing Stock in Ukraine: Analytical Report / Edited by M. I. Bobr. – Kyiv: UkrNDI of Urban Design, 2021. – 192 p.
5. Yasuhara, K., Fujita, T. Modular Construction Techniques in Post-War Housing Rehabilitation / K. Yasuhara, T. Fujita. – London: Routledge, 2018. – 364 p.
6. Modular Building Institute. Modular Construction Reports: Trends and Innovations. – Washington D.C.: MBI, 2021. – 225 p.
7. United Nations Habitat. Sustainable Urban Development and Housing Reconstruction: Guidelines and Best Practices. – New York: UN, 2020. – 142 p.

Література

1. Коцюба, С. В. Архітектурні та конструктивні особливості модернізації багатоповерхових будинків / С. В. Коцюба. – К. : Наукова думка, 2020. – 284 с.
2. Модульне будівництво: перспективи та виклики : монографія / за ред. І. І. Дорошенко. – Д. : ДНУ, 2018. – 356 с.
3. Мороз, В. А. Енергоефективні технології у відновленні житлового фонду / В. А. Мороз, Л. В. Бойко. – Х. : НТУ «ХПІ», 2020. – 248 с.
4. Національна стратегія з відновлення житлового фонду в Україні : аналітичний звіт / за ред. М. І. Бобра. – К. : УкрНДІ проектування міст, 2021. – 192с.
5. Yasuhara, K., Fujita, T. Modular Construction Techniques in Post-War Housing Rehabilitation / K. Yasuhara, T. Fujita. – London: Routledge, 2018. – 364 p.
6. Modular Building Institute. Modular Construction Reports: Trends and Innovations. – Washington D.C.: MBI, 2021. – 225 p.
7. United Nations Habitat. Sustainable Urban Development and Housing Reconstruction: Guidelines and Best Practices. – New York: UN, 2020. – 142 p.

Рівень тепловтрат систем опалення існуючих будівель

Level of heat loss of heating systems in existing buildings

Пахолюк О.А., к.т.н., доц., Самчук В.П., к.т.н., доц., Чапюк О.С., к.т.н., доц., Онищук О.М., магістр (Луцький національний технічний університет, Луцьк)

Pakholiuk O.A., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Samchuk V.P., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Chapiuk O.S., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Onyshchuk O.M., Master (Lutsk National Technical University, Lutsk)

Проаналізовано втрати через поверхню утеплених та неутеплених трубопроводів систем опалення.

Energy consumption in buildings is largely dependent on losses through the building envelope and through engineering systems.

It is known that the largest losses in engineering systems occur at the stage of transportation of energy resources to the building, as well as in places where they are located in unheated premises. Therefore, it is very important to provide high-quality, full-fledged insulation of engineering systems to minimize energy losses.

A significant number of heating systems currently operating in our buildings were designed and commissioned more than 30 years ago. The materials and thickness of insulation used at that time differ significantly from the current requirements set out in Annex B of the relevant DBN.

It should also be noted that the condition of the pipelines themselves is quite different. In some buildings, although not insulated, they are well maintained, painted, and protected from moisture. In others, the pipelines are in disrepair, the walls are covered with rust, leaking in places, and can lead to an emergency.

Comparing the dependence of heat loss changes in insulated and non-insulated pipelines, we can note the similarity of their character in the form of a polynomial of degree 3.

It is also worth noting that the heat loss of pipelines with outer diameters of 50 mm or more increases sharply (in uninsulated pipelines) or gradually (in insulated pipelines).

During the heating period, the level of losses corresponds to the temperature of the heat carrier in the system, and therefore to the ambient temperature. For pipelines of other diameters, we observe a similar dependence.

Regardless of the diameter of the pipelines, losses in non-insulated pipelines significantly depend on the temperature of the heat carrier and fluctuate within significant limits. Losses in insulated pipelines fluctuate within insignificant limits. The highest losses will occur in January, and the lowest - in April. We do not take into account the months when there is no heating.

An average heating system in a five-story building with damaged or missing insulation will lose UAH 378,294.3 during the heating season compared to a well-insulated one. On average, buildings that have been in operation for a long time can usually have localized damage or lack of insulation in the amount of up to 30% for various reasons. In this case, the cost of losses in such systems will amount to UAH 113488.3.

Ключові слова: тепловтрати, трубопровід, система опалення.

Keywords: heat loss, pipeline, heating system.

Енергоспоживання в будівлях значною мірою залежить від втрат через оболонку зовнішніх огорожувальних конструкцій та через інженерні системи.

Відомо, що найбільші втрати в інженерних системах відбувається на етапі транспортування енергетичних ресурсів до будівлі, а також у місцях, де вони знаходяться в неопалюваних приміщеннях. Тому дуже важливо забезпечувати якісне повноцінне утеплення інженерних систем для максимального зменшення втрат енергоносіїв.

Значна кількість систем опалення, які працюють в наших будівлях на даний момент, була запроєктована і введена в експлуатацію більше 30 років тому. Матеріали і товщина утеплювача, які застосовувались у той період значно відрізняються від сучасних вимог, викладених у додатку Б профільного ДБН [1].

Досвід обстеження значної кількості житлових та громадських будівель показує, що тепловий захист трубопроводів у неопалюваних приміщеннях може бути як відсутній повністю, так і знаходитись у технічно справному вигляді. А також може існувати значна кількість проміжних варіантів: від систем, які мають шар утеплювача зруйнований частково або повністю – до систем утеплених підручними матеріалами (починаючи з очерету, глини, саману та інших подібних речей і закінчуючи елементами гардеробу та матрацами).

Також слід відзначити, що стан самих трубопроводів достатньо відрізняється. У деяких будівлях вони, хоч і не утеплені, проте доглянуті, пофарбовані та захищені від вологи. В інших трубопроводи знаходяться в аварійному стані, стінки покриті іржею, місцями підтікають і можуть призвести до аварійної ситуації.

Зважаючи на стан та рівень утеплення трубопроводів проаналізуємо втрати теплової енергії одним метром неутепленої та утепленої згідно із нормативом [1] сталевих труб: водогазопровідних з умовним проходом 25; 32; 40; 50 мм [2] та електрозварної із зовнішнім діаметром 89 мм [3].



Рис. 1. Стан утеплення трубопроводів

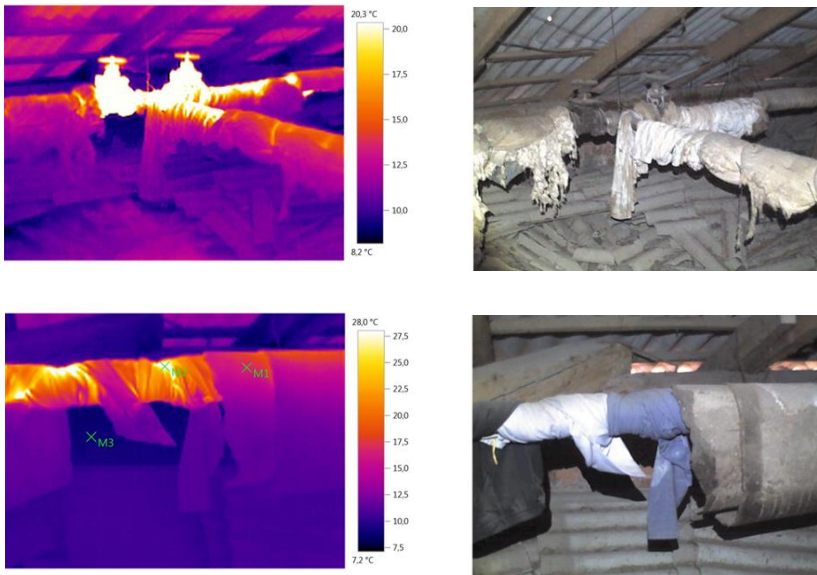


Рис. 2. Аналіз тепловтрат трубопроводів

Якісну оцінку тепловтрат можна провести за допомогою тепловізора.



Рис. 3. Стан трубопроводів

Методика визначення тепловтрат прийнята за [4] та застосована для м. Луцька при температурному графіку мережі 95/70°C та температурі середовища +10°C. Теплопровідність матеріалу утеплювача прийнята 0,045 Вт/м*К.

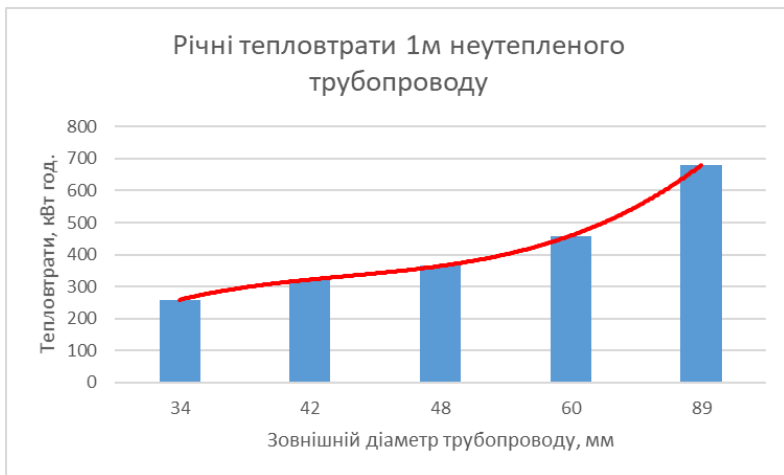


Рис. 4. Річні тепловтрата 1 м неутепленого трубопроводу

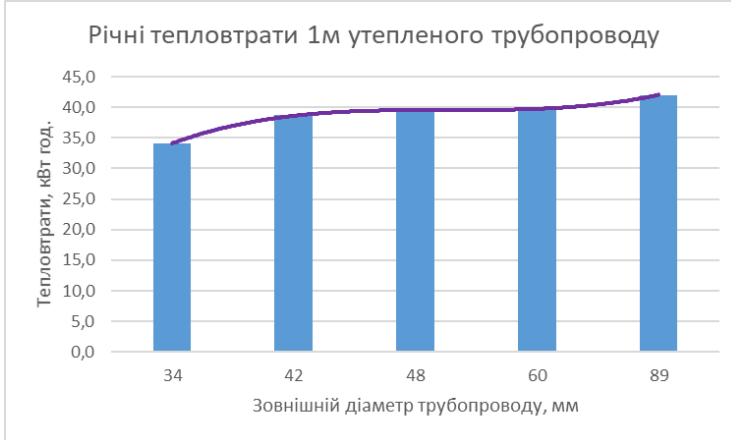


Рис. 5. Річні тепловтрати 1 м утепленого трубопроводу

Порівнюючи залежності зміни тепловтрат в утеплених та неутеплених трубопроводах можемо відзначити схожість їх характеру у вигляді полінома 3 ступеня. Також варто відзначити, що тепловтрати трубопроводів при зовнішніх діаметрах від 50 мм різко (в неутеплених) або плавно (в утеплених) зростають.

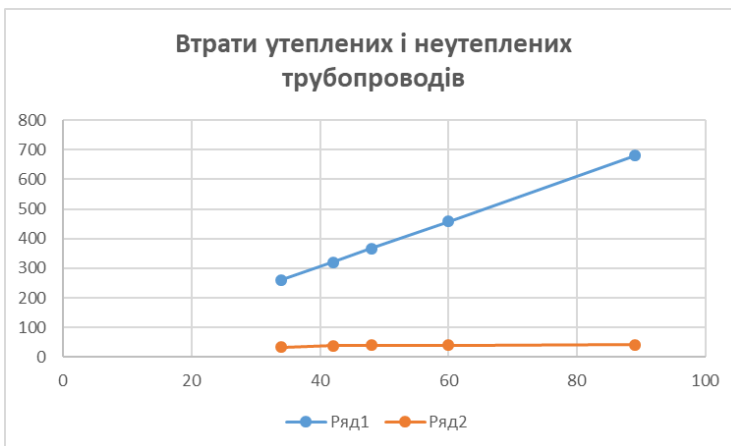


Рис. 6. Втрати через поверхню неутепленого (Ряд 1) та утепленого (Ряд 2) трубопроводів

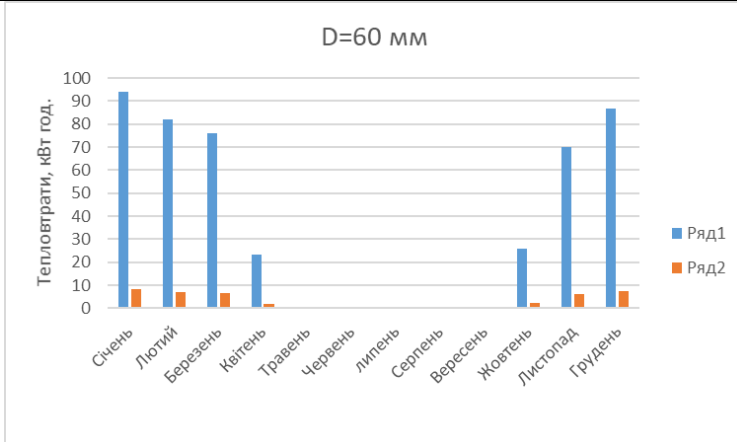


Рис. 7. Місячні тепловтрати 1 м трубопроводу зовнішнім діаметром 60мм
 Ряд 1 – неутепленого, Ряд 2 - утепленого

Протягом опалювального періоду спостерігається відповідність рівня втрат температурі теплоносія в системі, а отже температурі зовнішнього середовища. Для трубопроводів інших діаметрів спостерігаємо подібну залежність. Помісячні дані для трубопроводів інших діаметрів зведено у табл. 1.

Аналіз даних таблиці 1 показав, що незалежно від діаметра трубопроводів втрати у неутеплених суттєво залежать від температури теплоносія і коливаються у значних межах. Втрати в утеплених трубопроводах коливаються у незначних межах. Найбільші втрати будуть відбуватись у січні, найменші – у квітні. Місяці, в які опалення відсутнє, до уваги не беремо.

Коливання між найбільшими і найменшими втратами (кВт год.) складатиме:

- для неутеплених трубопроводів					
Зовнішній діаметр, мм	34	42	48	60	89
Втрати	40,10	49,53	56,63	70,76	105,02
- для утеплених трубопроводів					
Зовнішній діаметр, мм	34	42	48	60	89
Втрати	5,26	5,98	6,07	6,16	6,48

Таблиця 1

Помісячні втрати у 1 м трубопроводів, кВт год.

Місяць	34		42		48		60		89	
	неіз.	ізол.	неіз.	ізол.	неіз.	ізол.	неіз.	ізол.	неіз.	ізол.
1	53,26	6,98	65,79	7,94	75,21	8,06	93,99	8,18	139,49	8,61
2	46,54	6,10	57,49	6,94	65,72	7,04	82,13	7,14	121,89	7,53
3	43,03	5,64	53,14	6,42	60,76	6,51	75,93	6,61	112,68	6,96
4	13,16	1,73	16,26	1,96	18,59	1,99	23,23	2,02	34,47	2,13
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	14,69	1,93	18,15	2,19	20,75	2,22	25,92	2,26	38,47	2,38
11	39,79	5,22	49,15	5,94	56,19	6,02	70,22	6,11	104,21	6,43
12	49,27	6,46	60,86	7,35	69,58	7,46	86,95	7,56	129,04	7,97
Разом	259,75	34,06	320,83	38,74	366,80	39,32	458,36	39,88	680,25	42,00

Таблиця 2

Помісячна різниця втрат у 1 м неутеплених та утеплених трубопроводів, кВт год.

Місяць	34	42	48	60	89
1	46,28	57,84	67,15	85,81	130,88
2	40,44	50,54	58,68	74,98	114,36
3	37,39	46,73	54,25	69,32	105,72
4	11,44	14,30	16,60	21,21	32,34
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	12,77	15,95	18,52	23,67	36,10
11	34,57	43,21	50,17	64,11	97,78
12	42,81	53,51	62,12	79,38	121,07
Разом	225,70	282,09	327,48	418,48	638,25

Очевидно, що втрати через неутеплені трубопроводи будуть значно вищими, ніж через утеплені, тому для оцінки рівня втрат будемо використовувати різницю між втратами у трубопроводах однакових діаметрів. Дані розрахунків зведено у табл. 2. Приймаючи середню вартість гікалорії 2500 грн. отримаємо наступну вартість втрат через 1 м трубопроводу після якісного утеплення за діючими нормативами.

Зовнішній діаметр, мм	34	42	48	60	89
Вартість втрат, грн.	485,16	606,38	703,96	899,577	1371,99

Таким чином, із збільшенням діаметра суттєво зростає вартість тепла, втраченого через поверхню трубопроводу.

Якщо взяти рандомний будинок, скажімо п'ятиповерховий, то довжина трубопроводів різних діаметрів може набути наступних значень.

Зовнішній діаметр, мм	34	42	48	60	89
Довжина, м	202	84	116	62	67

Тоді вартість тепла, втраченого через систему тепlopостачання будівлі:

Зовнішній діаметр, мм	34	42	48	60	89	Разом
Вартість втрат, грн.	98001,73	50935,75	81659,84	55773,81	91923,16	378294,3

Таким чином, середньостатистична система опалення п'ятиповерхового будинку, теплоізоляція якої була знищена або відсутня, у порівнянні з якісно утепленою, за опалювальний сезон буде втрачати 378294,3 грн. В середньому будівлі, які тривалий час експлуатуються, як правило з різних причин можуть мати місця з локальними пошкодженнями або відсутністю утеплювача в кількості до 30%. Тоді вартість втрат у таких системах становитиме 113488,3 грн. Дані розрахунки свідчать про важливість якісного утеплення та підтримання його у справному стані.

References

1. DBN V.2.5-67_2013 Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia.
2. DSTU 8936:2019 Truby stalevi vodohazoprovodni. Tekhnichni umovy.
3. DSTU 8943:2019 Truby stalevi elektrozvarni. Tekhnichni umovy.
4. DSTU 9190:2022 Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pid chas opalennia, okholodzhennia, ventyliatsii, osvittlennia ta hariachoho vodopostachannia.

Література

1. ДБН В.2.5-67_2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
2. ДСТУ 8936:2019 Труби сталеві водогазопровідні. Технічні умови.
3. ДСТУ 8943:2019 Труби сталеві електрозварні. Технічні умови.
4. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання.

Розвиток методики визначення необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій

Improvement of the method for determining the necessary heat transfer resistance of building enclosures

**Пашинський В.А., д.т.н., проф., Пашинський М.В., к.т.н., доц.,
Фоміна Т.В., к.т.н., доц., (Центральноукраїнський національний
технічний університет, м. Кропивницький)**

**Pashynskiy V.A., Sc.D., prof, Pashynskiy M.V., PhD, assoc. prof.,
Fomina T.V., PhD, assoc. prof. (Central Ukrainian National Technical
University, Kropyvnytskyi)**

Розроблена методика визначення необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій за заданою величиною допустимих втрат тепла, кількістю градусо-днів опалювального періоду в певній адміністративній області України та розрахунковою температурою повітря в приміщенні. Виконане адміністративно-територіальне районування України за кількістю градусо-днів опалювального періоду при температурі повітря в приміщенні +20°C та отримана формула для перерахунку до інших значень температури повітря в приміщенні. Порівняно з проектуванням за ДБН В.2.6-31:2021, запропонована методика сприяє кращому вирівнюванню втрат тепла по території за рахунок диференціації необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій.

The study was carried out with the aim of developing a method of more precisely determining the required heat transfer resistance of building envelope, taking into account the climate conditions of their operation and permissible heat losses. The methodology is based on the dependence of heat loss on the heat transfer resistance and the mutual relationship between the number of heating degree days determined for different values of the air temperature in the premises.

The administrative-territorial zoning of Ukraine by the number of heating degree days at an indoor air temperature of +20°C is based on the published results of meteorological observations at 367 weather stations located at an altitude of up to 400 m above sea level. For each of the oblasts of Ukraine, Autonomous Republic of Crimea, and separately for the South Bank of Crimea, regional values with zoning coverage of 0.9 and 0.95 are set. In order to reduce the spread of data across the territory, the Odesa region and the Southern coast of Crimea are divided into groups of administrative districts.

The effect of using the proposed method of determining the heat transfer resistance of building envelopes is analyzed on the example of the walls of residential buildings. The walls are designed for the climate conditions of 24 regional centers of Ukraine, Simferopol, the capital of Crimea, and Yalta, located on the southern coast of Crimea. The

results of the experimental design showed that when designing according to DBN B.2.6-31:2021, the values of the required heat transfer resistance of the walls within the territory of Ukraine differ by only 14%, and the difference in heat loss through the designed walls in different cities reaches 89%. When designing according to the proposed method, the values of the required heat transfer resistance of the walls within the territory of Ukraine differ by 2.17 times, due to which the territorial variability of heat losses decreases to 20%.

The proposed method contributes to the equalization of heat losses through the building envelopes on the territory of Ukraine due to the differentiation of the necessary heat transfer resistance of the envelopes by region. The significant influence of the permissible amount of heat loss on the required value of the heat transfer resistance of the envelopes requires the determination and normalization of the permissible heat loss through the building envelopes of various types in buildings of various purposes.

Ключові слова: огорожувальні конструкції, необхідний опір теплопередачі, кількість градусо-днів, втрати тепла.

Keywords: building envelope, required heat transfer resistance, heating degree days, heat losses.

Постановка проблеми. Основною тепловою характеристикою огорожувальних конструкцій, яка визначає втрати тепла через них, є опір теплопередачі. Вітчизняні норми проєктування ДБН В.2.6-31:2021 [1] вимагають, щоб опір теплопередачі був не меншим від мінімально допустимого значення, яке залежить від виду конструкції та розташування будівельного об'єкта в одній з двох температурних зон України. Таким чином, для огорожувальних конструкцій одного виду (стіни, покриття тощо) норми [1] встановлюють лише два значення опору теплопередачі. Настільки обмежений вибір не відображає різноманіття кліматичних умов України та призводить до значного розкиду величини річних втрат тепла через огорожувальні конструкції по території. Вирівняти втрати тепла через огороження в різних географічних районах можна за рахунок більш диференційованого вибору їх опору теплопередачі.

Аналіз останніх досліджень. Згідно з даними статті [2], офіційні вимоги до теплових характеристик огорожувальних конструкцій на території України вперше були встановлені в "Урочному положенні" від 1896 року, яким була регламентована товщина стін з керамічної цегли у 2,5 цеглини, тобто близько 64...67 см. "Технічні вказівки та норми" 1929 року вводять поняття опору теплопередачі огороження та стійкості теплового режиму при періодичному опаленні. При одній топці печі протягом доби товщина стіни мала становити 640 мм. Норми проєктування 1954...1986 років базуються на розрахунковому визначенні необхідного опору теплопередачі для забезпечення комфортних санітарно-гігієнічних умов перебування в приміщеннях, згідно з якими різниця температури повітря в приміщенні та температури внутрішньої поверхні огороження не повинна перевищувати встановленого нормами допустимого значення.

У нормах теплової ізоляції України прийнята спрощена методика визначення мінімально необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій за належністю до однієї з температурних зон України. У наказі Міністерства у справах будівництва і архітектури від 27.12.1993 року [3] та в ДБН В.2.6-31:2006 [4] територія України була розділена на чотири температурні зони, а в наступних виданнях норм теплової ізоляції кількість температурних зон зменшена до двох. З кожною новою редакцією ДБН В.2.6-31 від 2013, 2016 і 2021 років реалізувалася тенденція до збільшення мінімально необхідних значень опору теплопередачі, у результаті чого в чинних ДБН В.2.6-31:2021 [1] вони стали приблизно у п'ять разів більшими порівняно з нормами 1954...1986 років. Таке поліпшення теплових характеристик досягається за рахунок упровадження комплексних конструкцій огорожень з використанням ефективних теплоізоляційних матеріалів та обумовлює істотне зменшення втрат тепла на опалення будівель.

Другим фактором, який визначає втрати тепла через огороження, є температура атмосферного повітря. Узагальнені в [5] результати досліджень дозволяють представити її у формі квазістаціонарного випадкового процесу. Ця модель враховує як сезонні та добові циклічні зміни, так і випадкові міждобові коливання температури. Для аналізу втрат тепла достатньо мати річну функцію математичного сподівання температури повітря, задану послідовністю з 12-ти середньомісячних значень. Такі послідовності для базової мережі з 57 метеостанцій України наведені в ДСТУ [6], де вказані також необхідні для подальшого аналізу середні температури й тривалості опалювального періоду, протягом якого температура повітря не перевищує $+8^{\circ}\text{C}$. Більший обсяг даних містить довідник [7] та монографія [5], у якій наведені середньомісячні температури повітря для 485 пунктів спостереження України.

З метеорології відомо, що з ростом висоти над рівнем моря температура повітря знижується приблизно на 6°C з кожним кілометром висоти, що не враховується при виборі опору теплопередачі огорожень за нормами [1]. В роботі [8] обґрунтовані коефіцієнти географічної висоти, які збільшують опір теплопередачі огорожувальних конструкцій при їх розміщенні вище 400 м над рівнем моря.

Аналіз втрат тепла через огорожувальні конструкції в різних районах України [9] показав, що обмежений вибір значень опору теплопередачі лише для двох температурних зон не повною мірою відображає різноманітність кліматичних умов України. Це обумовлює значний розкид величин втрат тепла через огорожувальні конструкції в різних географічних районах і спонукає до більш диференційованого вибору значень опору теплопередачі з метою вирівнювання величини втрат тепла по усій території України.

Мета дослідження полягає в розробленні методики визначення необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій з урахуванням кліматичних умов їх експлуатації та допустимих втрат тепла.

Передумови й методика визначення необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Рациональне значення опору теплопередачі слід призначати з умови обмеження втрат тепла через огорожувальну конструкцію. Допустимі втрати тепла можна визначити, виходячи з встановлених у ДБН [1] показників енергетичної ефективності будівель, методики їх визначення [10] та встановлених наказом [11] граничних значень. Для цього необхідно розробити практичну методику визначення допустимих значень питомих втрат тепла через усі елементи теплозахисної оболонки будівель. Оскільки розроблення такої методики є задачею окремого дослідження, у подальшому будемо вважати втрати тепла через один квадратний метр огорожувальної конструкції на протязі опалювального періоду відомою та наперед заданою величиною.

Фактичні втрати тепла через один квадратний метр огорожувальної конструкції протягом опалювального періоду визначаються за формулою, отриманою з відомих залежностей будівельної теплофізики:

$$Q = 0,0206 \times \frac{G_{heat}}{R_0}, \text{ Мкал}, \quad (1)$$

де G_{heat} – кількість градусо-днів опалювального періоду;

R_0 – опір теплопередачі огорожувальної конструкції;

0,0206 – коефіцієнт переходу від ват-годин до мегакалорій.

Кількість градусо-днів опалювального періоду G_{heat} обчислюється через тривалість t_{heat} та середню температуру θ_{heat} опалювального періоду, а також розрахункову температуру повітря в приміщенні θ_{in} :

$$G_{heat} = (\theta_{in} - \theta_{heat}) \times t_{heat}. \quad (2)$$

Якщо виконати територіальне районування України за кількістю градусо-днів опалювального періоду G_{heat} , необхідний опір теплопередачі огороження легко визначити з формули (1) за допустимим значенням втрат тепла Q . Проблема полягає у тому, що ДБН [1] встановлюють три різні розрахункові значення температури внутрішнього повітря θ_{in} :

+22°C – для закладів дошкільної освіти та охорони здоров'я,

+20°C – для житлових будинків, готелів та інших громадських закладів,

+18°C – для спортивних закладів.

Це обумовлює необхідність територіального районування трьох величин G_{heat} , що відповідають вказаним температурам θ_{in} . Для усунення цього недоліку за даними 57 метеостанцій України з ДСТУ [6] обчислені кількості градусо-днів для широкого діапазону температур внутрішнього

повітря від $+16^{\circ}\text{C}$ до $+24^{\circ}\text{C}$ та встановлена їх залежність від кількості градусо-днів G_{20} , що відповідає $\theta_{in} = +20^{\circ}\text{C}$:

$$G_{heat} = [1 + 0,034 \times (\theta_{in} - 20)] \times G_{20} + 57,1 \times (\theta_{in} - 20). \quad (3)$$

Відносні похибки апроксимуючої формули (3) не виходять за межі $-1,3\% \dots +2,0\%$.

Підставивши (3) до (1), можна отримати робочу формулу для визначення необхідного опору теплопередачі огорожувальної конструкції за допустимим значенням річних втрат тепла:

$$R_0 = \frac{[1 + 0,034 \times (\theta_{in} - 20)] \times G_{20} + 57,1 \times (\theta_{in} - 20)}{48,5 \times Q_0}, \quad (4)$$

де θ_{in} – розрахункове значення температури повітря в приміщенні;

G_{20} – кількість градусо-днів опалювального періоду при температурі внутрішнього повітря $\theta_{in} = +20^{\circ}\text{C}$;

Q_0 – допустиме значення втрат тепла (у мегакалоріях) через один квадратний метр огороження протягом опалювального періоду.

Кількість градусо-днів опалювального періоду на території України. Для забезпечення практичного використання формули (4) виконане адміністративно-територіальне районування України за кількістю градусо-днів опалювального періоду G_{20} для температури в приміщенні $\theta_{in} = +20^{\circ}\text{C}$. Оскільки наведених в ДСТУ [6] даних 57 метеостанцій недостатньо для здійснення територіального районування України, використана інформація з монографії [5], де наведені послідовності середньомісячних значень температури повітря на 485 пунктах спостереження.

У роботі [8] показано, що основна частина території України має висоту над рівнем моря, не більшу за 400 м. Для гірських місцевостей з висотою понад 400 м над рівнем моря у [8] отримані поправки до опору теплопередачі, представлені у вигляді коефіцієнтів географічної висоти.

Виходячи з викладених міркувань, з [5] вибрані дані для 367 рівнинних пунктів спостереження, які створюють досить густу мережу на території України. При формуванні бази даних вилучені пункти спостереження з надто малою тривалістю спостережень, а також об'єднані дані декількох пунктів спостереження, які розміщені в одному крупному місті та не мають значних відмінностей висоти над рівнем моря, середньомісячних температур повітря чи інших географічних параметрів.

Для кожного з обраних пунктів спостереження обчислена кількість градусо-днів G_{20} шляхом чисельного інтегрування функції середніх температур атмосферного повітря в межах тривалості опалювального періоду (при температурі повітря, меншій за $+8^{\circ}\text{C}$), що відповідає формулі

(2). Порівняння з наявними даними ДСТУ [6] підтвердило достатню точність обчислення кількості градусо-днів опалювального періоду G_{20} . Для 50 з 57 метеостанцій похибка не виходить за межі $-1\% \dots +2\%$ і в середньому становить $0,7\%$.

Згідно з методикою [12], обласні значення кількості градусо-днів визначаються за формулою, яка базується на нормальному розподілі значень G_{20} в межах кожної області

$$G_P = M_G + t_P \cdot S_G \quad (5)$$

де M_G та S_G – середнє значення й стандарт вибірки кількості градусо-днів для метеостанцій області;

t_P – аргумент функції нормального розподілу, що відповідає забезпеченості P обласного значення кількості градусо-днів;

При забезпеченості $P = 0,9$ $t_P = 1,282$, а при $P = 0,95$ $t_P = 1,645$. Рівень забезпеченості $P = 0,9$ означає, що обласне значення (5) встановлене в запас надійності приблизно для 90% території області.

Статистичні характеристики кількості градусо-днів опалювального періоду та округлені до 10 градусо-днів обласні значення G_{20} для забезпеченості районування $0,9$ і $0,95$ наведені в таблиці 1 для 24 адміністративних областей України, степової частини АР Крим та окремо – Південного берега Криму з особливо теплим кліматом.

В останньому стовпці таблиці 1 наведені відношення найбільших по території області значень G_{20} до найменших, які характеризують міру розкиду кількості градусо-днів в межах області та імовірні запаси їх територіального районування. Найбільший розкид кількості градусо-днів спостерігається на територіях Південного берега Криму, де найбільше по регіону значення перевищує найменше на 50% , та в Одеській області де ця різниця становить 40% . Детальний аналіз наявних даних дозволив розділити території кожного з цих регіонів на групи адміністративних районів, для кожної з яких за описаною вище методикою визначені статистичні характеристики та розрахункові значення кількості градусо-днів $G_{0,9}$ і $G_{0,95}$. Ці дані наведені в додаткових рядках таблиці 1 під рядками для області в цілому. Отримані розрахункові значення відрізняються від загальних по області у більший та в менший бік, а розкид значень G_{20} у межах груп районів не перевищує $1,31$. Це вказує на диференціацію та вищу точність визначення кількості градусо-днів $G_{0,9}$ і $G_{0,95}$.

Для обчислення необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій за формулою (4) рекомендується використовувати кількості градусо-днів опалювального періоду $G_{0,9}$ чи $G_{0,95}$ з таблиці 1. Характер територіальної мінливості значень $G_{0,9}$ проілюстрований схематичною картою з рисунка 1. Найбільша кількість градусо-днів опалювального періоду спостерігається в північно-східних областях, а найменша – в південних регіонах і на Закарпатті.

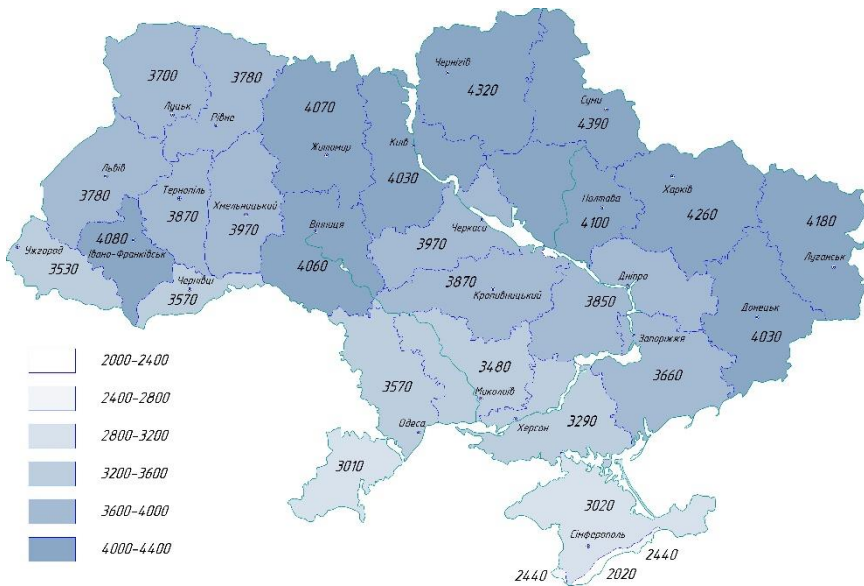


Рис. 1. Територіальна мінливість обласної кількості градусо-днів $G_{0,9}$

Ефективність розробленої методики проаналізована на прикладі проектування стін житлових і громадських будівель. Стіни проектується для кліматичних умов 24 обласних центрів України, столиці АР Крим м. Сімферополь та м. Ялта, розміщеного на Південному березі Криму. Температура повітря в приміщеннях прийнята рівною $\theta_{in} = +20^{\circ}\text{C}$. Втрати тепла у умовах кожного міста обчислені за (1) з урахуванням тривалості й середньої температури опалювального періоду з ДСТУ [6]. Розглянуті три способи встановлення опору теплопередачі:

- 1) за вказівками ДБН [1], тобто $4,0 \text{ м}^2 \times \text{К}/\text{Вт}$ для першої температурної зони України та $3,5 \text{ м}^2 \times \text{К}/\text{Вт}$ для другої температурної зони;
- 2) за формулою (4) з урахуванням наведеної в таблиці 1 та на карті з рисунка 1 обласної кількості градусо-днів опалювального періоду $G_{0,9}$ та допустимих втрат тепла $Q_0 = 10 \text{ Мкал}/\text{м}^2$, близьких до найменших втрат через стіни, запроєктовані згідно з ДБН [1];
- 3) таким же чином для допустимих втрат тепла $Q_0 = 20 \text{ Мкал}/\text{м}^2$, близьких до найбільших втрат через стіни, запроєктовані згідно з ДБН [1].

Таблиця 1. Результати адміністративно-територіального районування кількості градусо-днів опалювального періоду G_{20} при $\theta_{in} = +20^{\circ}\text{C}$

№	Області України	Кількість ПС	Статистичні характеристик.		Обласні значення		Роз-кид G_{20}
			M_G	S_G	$G_{0,9}$	$G_{0,95}$	
1	Вінницька	16	3812	196,7	4060	4140	1,27
2	Волинська	6	3630	56,3	3700	3720	1,05
3	Дніпропетровська	13	3669	141,9	3850	3900	1,16
4	Донецька	14	3836	148,0	4030	4080	1,15
5	Житомирська	13	3943	96,2	4070	4100	1,08
6	Закарпатська	10	3192	266,4	3530	3630	1,32
7	Запорізька	13	3413	193,0	3660	3730	1,21
8	Івано-Франківська	15	3760	250,6	4080	4170	1,25
9	Київська	17	3925	81,7	4030	4060	1,06
10	Кіровоградська	12	3708	126,0	3870	3920	1,13
11	Крим, степова зона	31	2816	160,0	3020	3080	1,23
12	Крим, Південний берег	18	2017	261,9	2350	2450	1,50
	<i>Феодосійський район, зона м. Севастополь</i>	8	2256	145,8	2440	2500	1,22
	<i>Ялтинський район</i>	10	1827	148,9	2020	2070	1,31
13	Луганська	9	4015	129,7	4180	4230	1,11
14	Львівська	29	3593	142,0	3780	3830	1,16
15	Миколаївська	9	3249	180,9	3480	3550	1,19
16	Одеська	19	3109	293,0	3490	3590	1,40
	<i>Райони: Ізмайльський, Білгород-Дністровський, Болградський</i>	8	2841	130,8	3010	3060	1,16
	<i>Райони: Березівський, Одеський, Подільський, Роздільнянський</i>	11	3304	208,2	3570	3650	1,19
17	Полтавська	16	3920	143,7	4100	4160	1,13
18	Рівненська	4	3694	65,7	3780	3800	1,04
19	Сумська	14	4215	133,9	4390	4440	1,11
20	Тернопільська	7	3719	119,3	3870	3920	1,09
21	Харківська	17	4093	129,5	4260	4310	1,11
22	Херсонська	17	3126	123,8	3290	3330	1,14
23	Хмельницька	11	3808	122,1	3970	4010	1,12
24	Черкаська	19	3829	106,6	3970	4000	1,11
25	Чернівецька	2	3433	106,2	3570	3610	1,04
26	Чернігівська	16	4161	127,0	4320	4370	1,12
	Мінімум	2	1827	56,3	2020	2070	1,04
	Максимум	30	4215	302,2	4390	4440	1,65
	Розкид		2,31	5,37	2,17	2,14	

Результати експериментального проектування стін для 26 міст України узагальнені в таблиці 2, де вказані межі зміни опору теплопередачі та втрат тепла через стіни, а також показники їх територіального розкиду, рівні відношенню найбільшого по території України показника до найменшого.

Таблиця 2

Зведені результати експериментального проектування

Показники	За ДБН [1]	За (4) при Q_0	
		10 Мкал/м ²	20 Мкал/м ²
Опір теплопередачі, м ² ×К/Вт	3,5...4,0	4,2...9,0	2,1...4,5
Річні втрати тепла, Мкал/м ²	10,9...20,6	8,0...9,6	15,9...19,2
Розкид опору теплопередачі	1,14	2,17	2,17
Розкид втрат тепла	1,89	1,20	1,20

З таблиці видно, що при проектуванні за ДБН [1] значення необхідного опору теплопередачі стін в межах території України відрізняються лише на 14%, а різниці втрат тепла через запроєктовані стіни в різних містах сягають 89%. При проектуванні за запропонованою методикою значення необхідного опору теплопередачі стін в межах території України відрізняються у 2,17 рази, але при цьому відмінності втрат тепла зменшуються до 20%. Отже, запропонована методика сприяє вирівнюванню втрат тепла по території України за рахунок диференціації необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій.

Таблиця 2 вказує також на значний вплив допустимих втрат тепла на необхідне значення опору теплопередачі огорожень. При допустимих річних втратах тепла $Q_0 = 20$ Мкал/м² опір теплопередачі стін необхідно встановлювати в межах від 2,1 до 4,5 м²×К/Вт, що виходить за межі вимог ДБН В.2.6-31:2021 [1], але в середньому наближається до них. Для зменшення річних втрат тепла до 10 Мкал/м² опір теплопередачі стін необхідно підвищити до 4,2...9,0 м²×К/Вт.

Висновки та перспективи подальших досліджень

1. Розроблена методика дозволяє визначати необхідний опір теплопередачі огорожувальних конструкцій, виходячи з величини допустимих втрат тепла та кількості градусо-днів опалювального періоду. Температура повітря в приміщенні враховується шляхом коригування кількості градусо-днів за отриманою апроксимуючою залежністю.

2. За опублікованими результатами метеорологічних спостережень на 367 метеостанціях і метеопостах, розташованих на висоті до 400 м над рівнем моря, виконане адміністративно-територіальне районування України за кількістю градусо-днів опалювального періоду при температурі повітря в приміщенні +20°C.

3. Результати експериментального проектування стін житлових будівель для кліматичних умов 26 міст України показали, що порівняно з проектуванням за вимогами ДБН В.2.6-31:2021, запропонована методика сприяє вирівнюванню втрат тепла по території за рахунок диференціації необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій для кожної з адміністративних областей України.

4. На необхідне значення опору теплопередачі огорожень істотно впливає допустима величина втрат тепла, що вимагає визначення та унормування допустимих втрат тепла через огорожувальні конструкції різних видів у будівлях різного призначення.

References

1. DBN V.2.6-31:2021. Konstruktsii budynkiv i sporud. Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel. K., 2022, 23 p.
2. Serheichuk O.V. Istoriia ta perspektyvy rozvytku norm z enerhoefektyvnosti budivel v Ukraini. *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi. Vypusk № 9*. K.: KNUBA, 2017, Pp. 211-221. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/21/2017_9/39.pdf.
3. Pro vvedennia v diiu novykh normatyviv oporu teploperedachi ohorodzhuiuchykh konstruktsii zhytlovo-tsyvilnykh budynkiv i sporud dlia novoho budivnytstva, rekonstruktsii ta kapitalnykh remontiv: Nakaz Minbudu Ukrainy vid 27.12.1993 № 247. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0247307-93#Text>
4. DBN V.2.6-31:2006. Konstruktsii budynkiv i sporud. Teplova izoliatsiia budivel. K., 2006, 65 p.
5. Pashynskiy V.A., Pushkar N.V., Kariuk A.M. Temperaturni vplyvy na ohorodzhuvanni konstruktsii budivel. Odesa: ODABA, 2012, 180 p.
6. DSTU-N B V.1.1-27:2010 Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivelna klimatolohiia. K., 2010, 101 p.
7. Kinash R.I. Burnaiev O.M. Temperaturnyi rezhym povitria i gruntu v Ukraini. *Lviv: Vydavnytstvo naukovo-tekhnichnoi literatury*, 2001, 800 p.
8. Pashynskiy V.A., Nastoiashchyi V.A., Pashynskiy M.V., Karpushyn S.O. Urakhuvannia heografichnoi vysoty pry proiektuvanni ohorodzhuvannykh konstruktsii u hirs'kii mistsevastii. *Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy : Zbirnyk naukovykh prats*. Rivne, 2024, vypusk 45. Pp. 214-222. URL: <https://bud.nuwm.edu.ua/index.php/budres/article/view/588/595>
9. Pashynskiy V.A., Nastoiashchyi V.A., Pashynskiy M.V., Bohatyrov D.V. Vplyv pidvyshchennia normatyvnykh vymoh na riven teplovoi nadiinosti ta vtraty tepla cherez stiny u pokryttia zhytlovykh i hromadskykh budivel. *Tsentrálnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky. № 9 (40), ch. 1*. Kropyvnytskyi: TsNTU, 2024. Pp. 64-74. URL: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).1.64-74](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).1.64-74).
10. DSTU 9190:2022. Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pid chas opalennia, okholodzhennia, ventyliatsii, osviltennia ta hariachoho vodopostachannia. DP «UkrNDNTs», 2022, 132 p.
11. Pro zatverdzhennia Minimalnykh vymoh do enerhetychnoi efektyvnosti budivel. Nakaz Ministerstva rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy vid 27.10.2020 № 260.

12. Pashynskiy V.A. Metodyka administratyvno-terytorialnoho raionuvannya klimatychnykh navantazhen na budivelni konstruktzii. *Resursoekonomni materialy, konstruktzii, budivli ta sporudy: Zbirnyk naukovykh prats.* Rivne, випуск 32, 2016. Рр. 387-393.

Література

1. ДБН В.2.6-31:2021. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. К., 2022, 23 с.

2. Сергейчук О.В. Історія та перспективи розвитку норм з енергоефективності будівель в Україні. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі.* Випуск № 9. К.: КНУБА, 2017, с. 211-221. Режим доступу: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/21/2017_9/39.pdf

3. Про введення в дію нових нормативів опору теплопередачі огорожуючих конструкцій житлово-цивільних будинків і споруд для нового будівництва, реконструкцій та капітальних ремонтів: Наказ Мінбуду України від 27.12.1993 № 247. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0247307-93#Text>

4. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. К., 2006, 65 с.

5. Пашинський В.А., Пушкар Н.В., Карюк А.М. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель. Одеса: ОДАБА, 2012, 180 с.

6. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. К., 2010, 101 с.

7. Кінаш Р.І. Бурнаєв О.М. Температурний режим повітря і ґрунту в Україні. Львів: Видавництво науково-технічної літератури, 2001, 800 с.

8. Пашинський В.А., Настоящий В.А., Пашинський М.В., Карпушин С.О. Урахування географічної висоти при проєктуванні огорожувальних конструкцій у гірській місцевості. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : Збірник наукових праць.* Рівне, 2024, випуск 45. С. 214-222. Режим доступу: <https://bud.nuwm.edu.ua/index.php/budres/article/view/588/595>

9. Пашинський В.А., Настоящий В.А., Пашинський М.В., Богатирьов Д.В. Вплив підвищення нормативних вимог на рівень теплової надійності та втрати тепла через стіни й покриття житлових і громадських будівель. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. № 9 (40), ч. 1.* Кропивницький: ЦНТУ, 2024. С. 64-74. Режим доступу: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).1.64-74](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).1.64-74)

10. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. ДП «УкрНДНЦ», 2022, 132 с.

11. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 27.10.2020 № 260.

12. Пашинський В.А. Методика адміністративно-територіального районування кліматичних навантажень на будівельні конструкції. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць.* Рівне, випуск 32, 2016. С. 387–393.

Визначення пластичності литої асфальтобетонної суміші за значенням крутного моменту

Determination of plasticity of the cast asphalt mixture by torque value

Пиріг Я.І., к.т.н., с.н.с., Оксак С.В., к.т.н., доц., Лійн Я.В., к.т.н., асист., Місніченко С.О., аспірант (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків)

Pyrig Y.I., Ph.D. in Engineering, S. Researcher, Oksak S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Piiyn I.V., Ph.D. in Engineering, Assistant, Misnichenko S.O., Postgraduate student (Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv)

У статті розглянуто метод визначення пластичності литих асфальтобетонних сумішей, оснований на встановленні значення крутного моменту мішалки під час перемішування суміші за технологічних температур. Представлена конструкцію вітчизняного приладу та методики визначення пластичності. Наведені переваги та недоліки даного методу.

Mastic asphalt concrete, unlike other types of hot asphalt concrete, has a long history and a wide range of applications in both industrial and road construction. The peculiarities of the composition of mastic asphalt mixtures and asphalt concrete are the reason for the use of non-standard quality indicators, which include, in particular, the indicator of technological plasticity. Many different methods have been proposed to determine the technological plasticity of mastic asphalt mixtures, but there is no single generally accepted method. Each country uses certain methods to assess the plasticity (mobility) of mastic asphalt mixtures during their manufacture and placement in pavement layers. The aim of the study is to review the method for determining the plasticity of mastic asphalt mixtures based on the establishment of the value of the mixer torque during mixing of the mixture at technological temperatures. To achieve this goal, a corresponding device was manufactured at the Department of Road Construction Materials of Kharkiv National Automobile and Highway University and the plasticity of mastic mixtures was experimentally determined with an assessment of the sensitivity of this method to the parameters of the mixtures. During the first tests, the advantages and disadvantages of this method and the device were identified. A significant advantage is the ability to conduct the entire test cycle of one mixture at different temperatures without the need to unload/load the mixture into the mold during the test at each temperature. This, in turn, significantly reduces the test time. A certain disadvantage of the method is its subjectivity and relatively low reproducibility of the results. This disadvantage can be corrected by replacing the manual rotation of the shaft with mechanical rotation using a motor with a constant

rotation speed. The experimental verification of this method of determining plasticity was carried out on a mastic asphalt mixture of the LABS-10 type, made with three concentrations of bitumen. It was determined that the experimentally obtained temperature dependences of the torque are described by power functions of the second order and are characterized by determination coefficients not lower than 0.985. During the experimental verification of the manufactured device, its advantages and disadvantages were identified, based on the analysis of which ways to improve the design of the equipment were proposed. It has been established that this method (after making improvements to the design of the device and changes in the test methodology) can be recommended for use in production laboratories of the domestic road industry to design the composition of mastic asphalt mixtures and check their quality.

Ключові слова: літа суміш, пластичність, крутний момент, прилад.

Keywords: mastic asphalt mix, fluidity, torque, device.

Вступ. Литий асфальтобетон, на відміну від інших видів гарячих асфальтобетонів, має давню історію та широку сферу застосування як в промисловому, так і в дорожньому будівництві (для влаштування покриттів автомобільних доріг, мостових переходів, підлогових покриттів різноманітних промислових споруд, гідроізоляції тунелів і резервуарів, та інше) [1, 2].

Завдяки особливостям складу литих асфальтобетонів, до яких відносяться підвищена кількість бітумного в'язучого та наповнювача, даному матеріалу притаманні такі переваги, як знижена пористість і підвищена щільність, завдяки чому забезпечується підвищена водо-, морозо- та зносостійкість, міцність та довговічність. Основними перевагами литої асфальтобетонної суміші є відсутність ущільнення під час укладання на місці проведення робіт, завдяки чому даний матеріал може використовуватися для влаштування покриттів на важкодоступних ділянках (тротуарні зони, зони примикання до цоколів різноманітного огороження, примикання до металоконструкцій та інше), а також на ділянках з нерівною поверхнею основи покриття [1, 2].

Особливості складу литих асфальтобетонних сумішей та асфальтобетонів є причиною використання нестандартних показників якості, до яких, зокрема, відносяться показники пластичності – експлуатаційної та технологічної [3].

Аналіз публікацій

Експлуатаційна пластичність литих асфальтобетонів визначається методом вдавлювання штамп, який дозволяє визначати як безпосередньо глибину вдавлювання штамп за температури 40 °С, так і збільшення глибини вдавлювання штамп після 30 хв дії навантаги. Даний метод було розроблено в 20-ті роки минулого століття. Після певних удосконалень та

модифікацій його було стандартизовано в європейській та американській системах оцінки якості асфальтобетонних сумішей та асфальтобетонів. На даний час цей метод є загальноприйнятим в різних країнах світу.

Для визначення технологічної пластичності литих асфальтобетонних сумішей запропоновано досить багато різноманітних методів, але єдиний загальновизнаний метод відсутній. Кожна країна застосовує ті чи інші методи, які дозволяють оцінити пластичність (рухомість) литих асфальтобетонних сумішей під час їх виготовлення та укладання в шари дорожнього одягу.

Залежно від принципу визначення показника пластичності всі відомі методи розподіляються на три групи: методи, в яких пластичність оцінюється за глибиною занурення випробувального пристрою в суміші; методи, в яких пластичність визначається за діаметром розтікання литої суміші під власною вагою та методи, в яких пластичність визначається за значенням крутного моменту мішалки під час перемішування суміші.

Лабораторні методи перших двох груп беруть початок з 20-х років минулого століття. Суттєвою перевагою цих методів є простота та не висока вартість обладнання, що використовується, відносно малий час проведення випробування, гарна вивченість методів та встановлення залежностей з стандартними показниками, які використовуються для оцінювання властивостей литих сумішей. Загальними недоліками методів є: відносно великий обсяг литої суміші (може сягати 10 кг), потрібної для проведення випробування (виготовлення такої кількості суміші в лабораторних умовах для регулярного контролювання їх якості створює певні труднощі); швидке остигання литої асфальтобетонної суміші (особливо у випадку проведення випробування за надто високих технологічних температур, які сягають 250 – 260 °С), що може позначатися на результатах випробування; налипання суміші на внутрішню поверхню випробувальних пристроїв (особливо у випадку проведення випробування за відносно низьких температур – 160 – 180 °С, або якщо в якості бітумних в'язучих використовуються бітуми, модифіковані полімерними добавками), що знижує відтворюваність отримуваних результатів.

Методи, які основані на принципі визначення крутного моменту лопатей мішалки, що обертається в обсязі литої суміші, є відносно новими. Перший метод визначення пластичності (зручнокладальності) асфальтобетонних сумішей було розроблено в 1978 р. американськими дослідниками J. Marvillet та R. Bougault [4].

Згідно даних, представлених в [5], методи, що використовують даний принцип для оцінювання пластичності литих сумішей, характеризуються найбільш точними і відтворюваними результатами, оскільки в приладах використовується лабораторне обладнання, до складу якого зазвичай входять комп'ютеризовані системи отримання та обробки результатів. За

рахунок чого методи є чутливими до різноманітних особливостей литих асфальтобетонних сумішей: їх гранулометричного складу, реологічного типу та складу бітумних в'язучих, а також різноманітних технологічних факторів (температура приготування, час витримання до укладання в покриття та інша). Однак завдяки недолікам, до яких відноситься складність випробувального обладнання та обмеженість у використанні сумішей з максимальним розміром зерен крупного заповнювача 8 мм, мають обмежене застосування у виробничих лабораторіях.

На даний час є відомими декілька приладів, сконструйованих в різних країнах світу (США [4, 6], Нідерландах [7], Малайзії [8], Німеччині [9, 10]) в основі яких лежить подібний принцип роботи. Особливостями цих приладів є: різна конструкція лопатевих мішалок; різні форми та розміри мішалок та ємностей, в яких знаходиться суміш, конструкція яких сприяє зменшенню сегрегації та алгомерації кам'яних матеріалів під час проведення випробування; різна швидкість обертання суміші (15 об/хв в [6], 25 об/хв в [7], 17 об/хв або інша в [9], 13 об/хв в [10]); одночасна реєстрація температури на поверхні та в обсязі суміші [6]; зміна висоти ємності, в якій розташовується суміш, безпосередньо під час проведення випробування, за рахунок чого є можливим усунення утворення площини зсуву [7]; вдосконалення системи оцінювання крутного моменту [7]; можливість приготування (змішування кам'яних матеріалів з бітумним в'язучим) асфальтобетонної суміші безпосередньо в обертовій ємності [8] з одночасним контролюванням за допомогою вбудованих датчиків крутного моменту, швидкості обертання лопатей, необхідної потужності при змішуванні матеріалів та співставлення отриманих даних з властивостями асфальтобетону (об'ємні властивості, модуль пружності, водостійкість); різні критерії вибору найбільш прийнятої пластичності (зручнукладальності) сумішей, наприклад в [9] оптимальною для укладки в покриття литої суміші вважається температура, за якої опір змішування не перевищує $100 \pm 5 \text{ Н} \cdot \text{см}$.

З усіх відомих методів оцінювання пластичності литих асфальтобетонних сумішей, основаних на принципі визначення крутного моменту лопатей мішалки, найбільш простим є метод, який було запропоновано в 2009 р. [11]. Прилад складався з металевого відра, який наповнювався нагрітою до технологічної температури асфальтобетонною сумішшю вагою 18 кг, та $\frac{3}{4}$ дюймового динамометричного ключа, закріпленого за допомогою подовжувача на осі, стабілізованій подвійною системою підшипників. До осі прикріплювались дві металеві лопаті, нижня з яких розташовувалась під кутом 45° до осі, а верхня була зігнута на відстані 2 дюймів від осі. Перед випробуванням у відро встановлювали вісь з лопатями та наповнювали його сумішшю, після чого розташовували прилад в сушильній шафі з технологічною температурою та витримували

впродовж 4 год. Під час випробування за допомогою динамометричного ключа лопать повертали на повний оберт чотири рази, визначаючи кожний оберт крутний момент, який перетворювали в показник зручності шляхом множення величини середнього крутного моменту на 1000.

На кафедрі технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету було запропоновано використовувати цей простий прилад для оцінювання пластичності вітчизняних литих асфальтобетонних сумішей. На відмінність від приладу, представленого в [11], в конструкцію розробленого на кафедрі приладу були внесені наступні модифікації: вдосконалено конструкцію вузла з лопатями, за рахунок чого забезпечується більш повне перемішування суміші під час випробування; обладнано форму теплоізоляційним кожухом; вдосконалено вузол з підшипниками, що попереджає їх забруднення.

Мета і задача дослідження. Метою роботи є оцінювання можливості і доцільності застосування даного методу для визначення пластичності вітчизняних литих асфальтобетонних сумішей. Для досягнення поставленої мети було виготовлено відповідний прилад та проведено експериментальне визначення пластичності литих сумішей з оцінюванням чутливості даного методу до параметрів сумішей.

Методи та об'єкти дослідження

Конструктивно виготовлений прилад складається з наступних складових (рис. 1): металева циліндрична форма з теплоізоляційним кожухом (1), в якій розміщується лита асфальтобетонна суміш; вал (2), що обертається у вузлі з підшипниками (3) та вузол з лопатями (4), що складається з трьох розташованих одна над одною лопатей – нижня лопать розташована під кутом 45° до горизонтальної поверхні, за рахунок чого здійснюється підняття суміші від дна форми угору; середня лопать розташована вертикально за рахунок чого здійснюється перемішування суміші; верхня лопать розташована під кутом 45° до горизонтальної поверхні, за рахунок чого суміш спрямовується вниз; динамометричний ключ (5), що закріплюється на вузлі та використовується для визначення зусилля під час перемішування литої суміші.

Визначення пластичності за значенням крутного моменту здійснювалось на литій суміші типу ЛАБС-10, виготовленій на гранітних заповнювачах (Шматковський кар'єр Полтавська область, Полтавський р-н, с. Карпівка), вапняковому наповнювачі та дорожньому бітумі марки БНД 35/50 (пенетрація за 25°C – $41 \times 0,1$ мм, температури розм'якшеності та крихкості відповідно $52,2^\circ\text{C}$ та мінус 11°C , індекс пенетрації – мінус 1,11). Для експериментальної перевірки можливості визначення пластичності методом, що розглядається, використовували суміш ЛАБС-10, виготовлену з трьома концентраціями бітуму – 9 %, 10 % та 11 %.

Підготовка до проведення випробування полягає у виготовленні литої асфальтобетонної суміші в кількості 6 кг згідно з ДСТУ Б В.2.7-319 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробування».

Перед випробуванням суміш викладають на піддон та разом з циліндричною формою зі штоком та закріпленим вузлом з лопатями розташовують в сушильній шафі за температури $(260 \pm 2) ^\circ\text{C}$ та витримують впродовж 30 хв. Після термостатування литу суміш завантажують у металеву циліндричну форму з теплоізоляційним кожухом та встановлюють вал з закріпленим вузлом з лопатями.

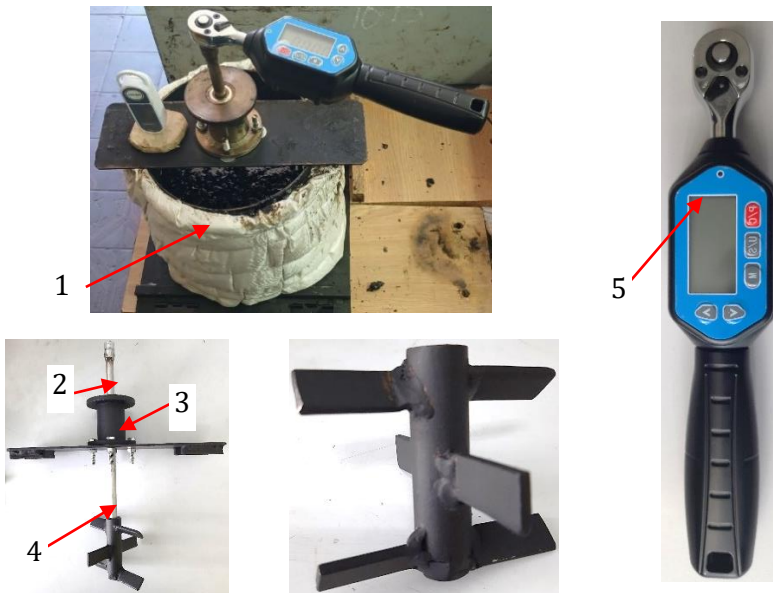


Рис. 1. Зовнішній вигляд виготовленого приладу для визначення пластичності суміші за значенням крутного моменту

За допомогою вимірювача температури визначають температуру суміші у формі, після чого за допомогою динамометричного ключа повертають вручну вал з лопатями на повний оберт 3 рази, таким чином, щоб один повний оберт здійснювати за 5 с, при цьому фіксуючи крутний момент після кожного повного обороту. За значення крутного моменту приймається середнє значення після трьох оборотів.

Форму з литою асфальтобетонною сумішшю витримують за темпера-

тури навколишнього повітря, при цьому кожну хвилину здійснюють обертання валу з лопатями для перемішування суміші та забезпечення її рівномірного охолодження, постійно визначаючи температуру суміші. Після зниження температури литої асфальтобетонної суміші на кожні 10 °С повторюють визначення крутного моменту. Випробування закінчують при досягненні температури литої суміші 190 °С або за більш нижчої температури за потреби.

За експериментальними значеннями крутних моментів, визначених за різних температур в діапазоні від 260 °С до 190 °С (або більш низьких за потреби) будують залежність крутного моменту від температури (рис. 2) та визначають коефіцієнт кореляції.

Різниця між трьома результатами випробування крутного моменту за однієї температури не повинна перевищувати 10 % від середнього значення.

Коефіцієнт кореляції залежності крутного моменту від температури випробування повинен бути не меншим ніж 0,9.

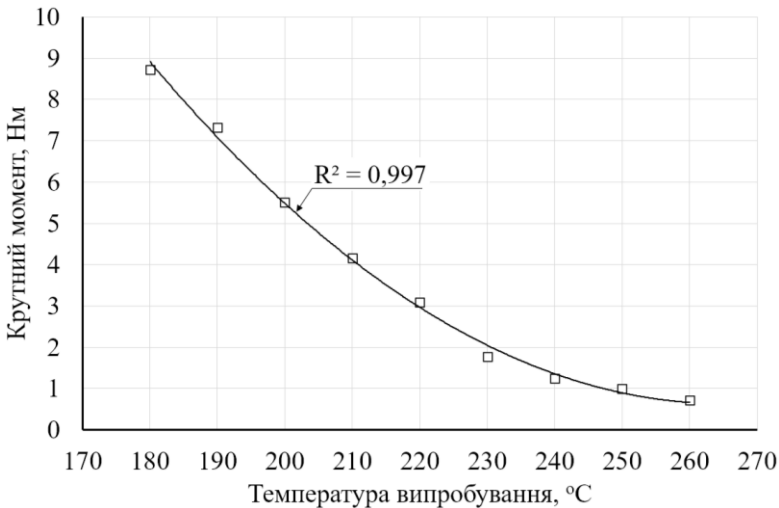


Рис. 2. Температурна залежність крутного моменту

Під час проведення перших випробувань встановлено переваги та недоліки даного методу та приладу. Суттєвою перевагою є можливість проведення всього циклу випробувань однієї суміші за різних температур без необхідності вивантаження / завантаження суміші в форму під час випробування за кожної температури. Це в свою чергу суттєво зменшує час проведення випробування. Ще однією перевагою даного методу є

можливість значної кількості визначень крутного моменту за різних температур (за необхідності, можливо визначати крутний момент навіть за зміни температури суміші на 1 – 2°C), що значно підвищує точність отримання температурної залежності крутного моменту.

Певним недоліком методу є його суб'єктивність та відносно низька відтворюваність отримуваних результатів: через те, що обертання валу з лопатями здійснюється вручну, швидкість обертання відрізняється як в процесі циклу обертання (за низької температури необхідно прикладати значні зусилля на початку обертання, що призводить до певного зниження швидкості обертання, а за високої температури за рахунок менших зусиль навпаки спостерігається збільшення швидкості обертання валу), так і у випадку проведення випробування різними операторами. Виправлення цього недоліку може бути здійснено за рахунок заміни ручного обертання валу на механічне обертання за допомогою двигуна з постійною швидкістю обертання.

Результати дослідження

Результати використання даного методу для визначення пластичності литих сумішей, представлені на рис. 3.

Встановлено, що експериментально отримані температурні залежності крутного моменту описуються ступеневими функціями другого порядку та характеризуються коефіцієнтами детермінації не нижче 0,985.

Для методу оцінювання пластичності литої асфальтобетонної суміші, що розглядається, вагомим фактором впливу на пластичність є кількість в'язучого в суміші. При збільшенні кількості бітуму суттєво знижується динаміка зменшення крутного моменту з підвищенням температури випробування. Так, для суміші ЛАБС-10 з 9 % бітуму підвищення температури випробування з 230 °C до 280 °C призводить до зменшення крутного моменту в 4,9 рази, для ЛАБС-10 з 10 % бітуму підвищення температури випробування з 200 °C до 250 °C призводить до зменшення крутного моменту в 2,5 рази, а для ЛАБС-10 з 11 % бітуму підвищення температури з 190 °C до 220 °C – в 2,2 рази. Для ЛАБС-10, випробуваної за температури 230 °C, значення крутного моменту при підвищенні вмісті бітуму з 9 % до 10 % та 11 % призводить до зниження крутного моменту відповідно з 8,45 Нм до 3,28 Нм та 1,5 Нм.

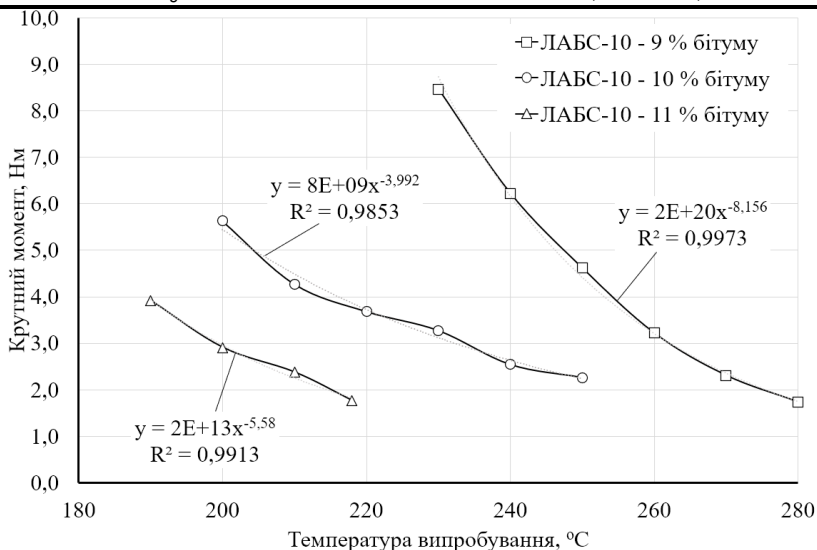


Рис. 3. Залежність крутного моменту від температури випробування ЛАБС-10 та кількості бітуму в її складі

Висновки. Здійснено виготовлення та експериментальну перевірку приладу для визначення пластичності, оснований на встановленні значення крутного моменту мішалки під час перемішування литої асфальтобетонної суміші за технологічних температур, в ході якої розроблено методику проведення випробування.

В ході експериментальної перевірки виготовленого приладу встановлено його переваги та недоліки, на основі аналізу яких запропоновано шляхи подальшого вдосконалення конструкції обладнання.

Встановлено, що даний метод (після внесення вдосконалень в конструкцію приладу та змін в методику проведення випробування) може бути рекомендовано для використання у виробничих лабораторіях вітчизняної дорожньої галузі для проектування складу литих асфальтобетонних сумішей та перевірки їх якості.

References

1. Wang C. et al. Review on Status and Development of Gussasphalt Concrete. *Materials Reports*, 2017, 31(9). P. 135-145.
2. Nikolaides A. Highway Engineering: Pavements, materials, and control of quality. CRC Press, 2014.
3. Staritzky M. Gussasphalt. Berlin, 1934. 112 p.
4. Ali A. et al. Workability evaluation of foamed warm-mix asphalt. *Journal of materials in civil engineering*. 2014. Т. 26. №. 6. P. 1-6.
5. Sikinger T., Simmleit N. Prüfung der Verarbeitbarkeit von Gussasphalt. *Bitumen*.

Heft 4, 2001. P. 27-29.

6. Bennert T. et al. Assessment of workability and compactability of warm-mix asphalt. *Transportation research record*. 2010. T. 2180. №. 1. P. 36-47.

7. Poeran N., Sluer B. Workability of asphalt mixtures. 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. 1-3 June 2016. Prague, Czech Republic. P. 1-11.

8. Abdelgalil S.M.K., Abdul Rahman M., Arshad A.K. Development of workability measuring device for asphalt mixture using electronic transducer and temperature regulator. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. 2011. T. 1. P. 721-726.

9. Radenberg M., Gehrke M. Untersuchungen zur Möglichkeit der Verarbeitung von Gussasphalt bei maximal 230 Grad Celsius ohne viskositätsverändernde Zusätze. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Straßenbau*. 2020. №. 146. 80 p.

10. Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt: M TA. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Asphaltbauweisen. Köln – Aug. 2011 (Deutsch). 22 p.

11. Tao M., Mallick R.B. Effects of warm-mix asphalt additives on workability and mechanical properties of reclaimed asphalt pavement material. *Transportation Research Record*. 2009. T. 2126. №. 1. P. 151-160.

Література

1. Wang C. et al. Review on Status and Development of Gussasphalt Concrete. *Materials Reports*, 2017, 31(9). P. 135-145.

2. Nikolaidis A. *Highway engineering: Pavements, materials and control of quality*. CRC Press, 2014.

3. Staritzky M. *Gussasphalt*. Berlin, 1934. 112 p.

4. Ali A. et al. Workability evaluation of foamed warm-mix asphalt. *Journal of materials in civil engineering*. 2014. T. 26. №. 6. P. 1-6.

5. Sikinger T., Simmleit N. Prüfung der Verarbeitbarkeit von Gussasphalt. *Bitumen*. Heft 4, 2001. P. 27-29.

6. Ali A. et al. Workability evaluation of foamed warm-mix asphalt. *Journal of materials in civil engineering*. 2014. T. 26. №. 6. P. 1-6.

7. Bennert T. et al. Assessment of workability and compactability of warm-mix asphalt. *Transportation research record*. 2010. T. 2180. №. 1. P. 36-47.

8. Poeran N., Sluer B. Workability of asphalt mixtures. 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. 1-3 June 2016. Prague, Czech Republic. P. 1-11.

9. Abdelgalil S.M.K., Abdul Rahman M., Arshad A.K. Development of workability measuring device for asphalt mixture using electronic transducer and temperature regulator. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. 2011. T. 1. P. 721-726.

10. Radenberg M., Gehrke M. Untersuchungen zur Möglichkeit der Verarbeitung von Gussasphalt bei maximal 230 Grad Celsius ohne viskositätsverändernde Zusätze. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Straßenbau*. 2020. №. 146. 80 p.

11. Merkblatt für Temperaturabsenkung von Asphalt: M TA. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Asphaltbauweisen. Köln – Aug. 2011 (Deutsch). 22 p.

Проектування багатопверхових виробничих будівель із врахуванням стійкості до прогресуючого обвалення у ПК SCAD++

Design of multi-story industrial buildings taking into account resistance to progressive collapse in the SCAD++ PC

**Ротко С.В., к.т.н., доц., Талах Л.О., к.т.н., доц., Дудка С.С., магістр
(Луцький національний технічний університет, Луцьк)**

**Rotko S., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Talakh L.O., Ph.D.
in Engineering, Dudka S.S., master (Lutsk National Technical University,
Lutsk)**

У роботі виконано дослідження конструктивної системи багатопверхової виробничої будівлі на стійкість до прогресуючого обвалення у ПК SCAD++ для забезпечення її живучості протягом усього періоду експлуатації. Встановлено, що врахування можливого локального руйнування на етапі проектування дає можливість убезпечити будівлю від ймовірного прогресуючого обвалення.

Progressive collapse is a process in which local damage to a structure leads to a chain reaction of destruction that spreads to the entire building or a significant part of it. This phenomenon can have catastrophic consequences, so understanding its causes is extremely important for ensuring the safety of buildings and structures.

The most common causes of progressive destruction are external influences caused by natural or man-made factors. Traditionally, the highest percentage of such destruction is occupied by brittle destruction (for example, during fires) and loss of stability (due to seismic effects, explosions, impacts, etc.), less often by fatigue and ductile destruction.

To prevent progressive destruction when making design decisions, it is necessary first to reduce the level of risk by directly calculating such risk. It is important to use such calculation and design solutions that will make possible damage impossible (general strengthening of the entire building, local strengthening, interconnection). Structural interconnection of elements (or structural continuity) is also noted among the methods of general or local strengthening.

Progressive collapse usually begins with the loss of stability and strength of one or more vertical structural elements of a building or structure (columns or pylons). For the building to withstand, it is necessary to provide an alternative path for transferring the load to other structural elements. Adjacent elements must be designed to resist these redistributed loads (those that the collapsed structure would have to bear). Otherwise, collapse will inevitably occur, and further load redistribution will occur until equilibrium is reached. This in turn will lead to partial or complete collapse of the building or structure.

Protection against progressive collapse involves computer modeling using finite element and limit equilibrium methods. It allows you to create full-fledged models that almost completely correspond to the response of the building to local destruction.

The work performed a calculation of a multi-story building of the production building of a compound feed plant with a steel frame for progressive collapse. The calculation was performed using licensed software - SCAD Office - an integrated system for strength analysis and design of structures of the MSE.

Ключові слова: локальне пошкодження, прогресуюче обвалення, живучість будівлі.

Keywords: local damage, progressive collapse, building survivability.

Вступ. Миттєве руйнування будівель може бути викликане силовими чи деформаційними впливами (наприклад, вибухом, ударом при зіткненні, пожежею, руйнуванням фундаментів через зсуви чи підтоплення ґрунтовими водами, аварії на водоводах).

Серед причин можуть бути також помилки на стадії проектування (зокрема, при розрахунках вузлів кріплень і несучих конструкцій), ослаблення структури матеріалів елементів через корозію тощо. Це може стати причиною зміни конструктивної схеми будівлі внаслідок зниження жорсткісних характеристик конструкцій і вплинути на безпеку будівлі загалом або якоїсь її частини. Якщо ж виникає загроза найгіршого поєднання негативних впливів, то це може може закінчитись миттєвим руйнуванням, т.зв. прогресуючим обваленням [1].

Аварії на виробництвах можуть мати катастрофічні наслідки – як економічні, так і соціальні, часто – з людськими жертвами.

З початку повномасштабного вторгнення росії наша країна несе величезні втрати активів підприємств та промисловості. Руйнування великої кількості будівель і споруд при цьому часто мають ознаки прогресуючого обвалення. Тому для попередження випадків миттєвого руйнування необхідно при проектуванні об'єктів вести розрахунки з урахуванням стійкості до прогресуючого обвалення.

Аналіз публікацій. Найчастішими причинами прогресуючого руйнування вважають зовнішні впливи, спричинені природними чи техногенними факторами. Найвищий відсоток таких руйнувань займає крихке руйнування (наприклад, при пожежах) і втрата стійкості (внаслідок сейсмічних впливів, вибухів, ударів тощо), рідше – втомне та в'язке руйнування [2].

При прийнятті проектних рішень для зменшення ризиків прогресуючого обвалення важливо в першу чергу використовувати такі розрахунково-конструктивні рішення, які унеможливають якісь пошкодження. Йдеться про загальне зміцнення всієї будівлі, місцеве зміцнення і взаємозв'язок. Конструктивний взаємозв'язок елементів (або

безперервність конструкції) також відзначається серед способів загального чи місцевого зміцнення [2].

Якщо йдеться про місцеве зміцнення, тобто, про підсилення найбільш чутливих місць, то іноді буває важко стандартизувати ці моменти – з тим, щоб включити їх до норм проектування. Повністю забезпечити будівлю від можливих терористичних атак, вибухів під час бомбардувань, від влучання снарядів конкретного виду та визначеної потужності надзвичайно важко, тому що прорахувати усі можливі варіанти практично неможливо.

Прогресуюче обвалення зазвичай розпочинається з втрати стійкості та міцності одного чи кількох вертикальних конструктивних елементів будівлі чи споруди (колон або пілонів). Щоб не допустити подальшого руйнування, необхідно забезпечити альтернативний шлях передачі навантаження на інші елементи конструкції. Важливо, щоб сусідні елементи були розраховані на опір цим перерозподіленим навантаженням (тим, які б мала нести зруйнована конструкція). Інакше руйнування обов'язково станеться, а подальший перерозподіл навантаження відбуватиметься аж до досягнення рівноваги. Це у свою чергу призведе до часткового або повного руйнування будівлі чи споруди [3].

Формулювання «прогресуючого обвалення» у чинних нормативах [4-7] можуть трохи відрізнитись, проте суть цього поняття однозначна: якщо у якомусь конструктивному елементі будівлі чи споруди внаслідок аварійних впливів (вибухів, пожеж, ударів) виникає локальне руйнування, то будівля в цілому має встояти, мінімум – до того часу, доки будуть евакуйовані люди.

Постановка мети. Дослідження конструктивної схеми багатоповерхової виробничої будівлі на стійкість до прогресуючого обвалення у ПК SCAD++ для забезпечення її живучості протягом усього періоду експлуатації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для розрахунку було взято будівлю виробничого корпусу підприємства з виготовлення комбікормів зі сталевим каркасом. Застосоване ліцензоване програмне забезпечення - SCAD Office - інтегрована система міцнісного аналізу та проектування конструкцій MCE [8].

Характеристики досліджуваної будівлі:

- частина виробничого корпусу в осях А-К і 3-5 розмірами 21х12 м 8-ми поверхової будівлі загальною висотою 43,5 м у металевому каркасі;
- крок колон у напрямку цифрових осей – 6м, у напрямку буквених – по 6 і 3м;
- колони суцільного постійного двотаврового перерізу, прокатні, схема опирання на фундаменти – защемлення;

- головні балки покриття і перекриття – складеного перерізу, суцільні, з ребрами жорсткості з кроком 1000 мм. Схема обпирання на колони – жорстка, збоку;
- другорядні балки – прокатні, двотаврового перерізу, схема обпирання – шарнірна, в одному рівні з головними балками.

Розрахунок на стійкість до прогресуючого руйнування виконували у квазістатичній постановці [8].

На першому етапі визначали найбільш навантажені конструктивні елементи. Для цього було створено модель будівлі у просторовій постановці (рис. 1).

Розрахунок будівлі за першою групою граничних станів в умовах нормальної експлуатації виконували за [9, 10] на усі діючі навантаження: постійні (від власної ваги конструкцій каркасу, ваги конструкції підлоги на перекриття, ваги конструкції покриття; змінні, у т.ч. квазіпостійні (від ваги обладнання) і короточасні (корисне від ваги людей та снігове). Розрахунок виконували на розрахункові сполучення зусиль (РСЗ) і за його результатами визначали найбільш навантажені вертикальні елементи (колони).

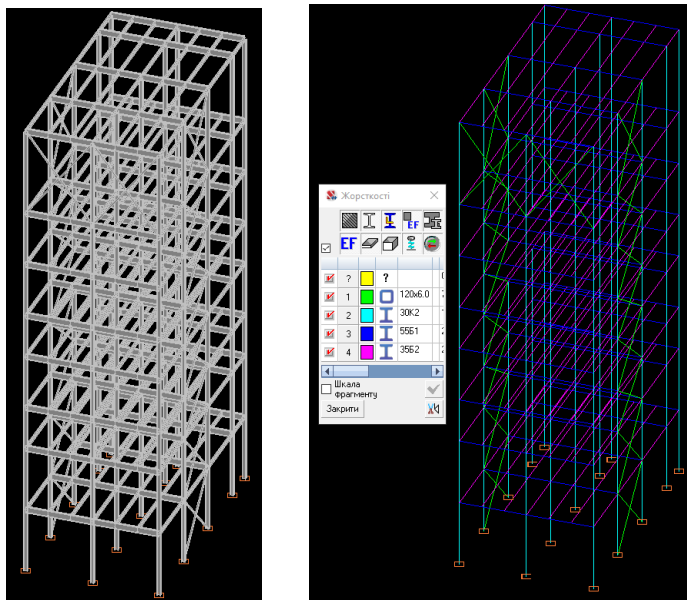


Рис. 1. Схема просторового каркасу в осях 3-5 з призначеними жорсткостями

На другому етапі, після видалення найнавантаженішої колони, виконали розрахунок конструктивної системи на стійкість до

прогресуючого обвалення. Цей розрахунок виконують на спеціальне поєднання навантажень і впливів, що містять постійні та змінні квазіпостійні навантаження. При цьому приймають нормативні характеристики міцності та деформативності матеріалів.

Результати дослідження

За результатами статичного розрахунку було визначено місце можливого локального руйнування – найбільш завантажену середню колону К-20 нижнього поверху на перетині осей 4 і Г (виділено на рис. 2).

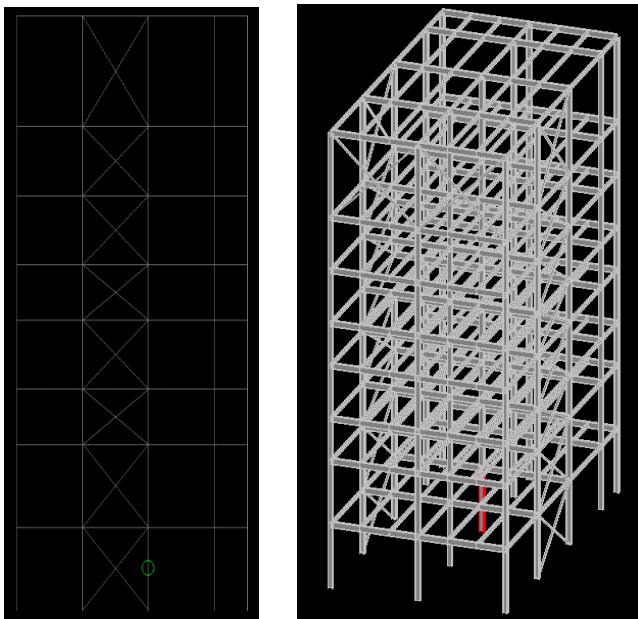


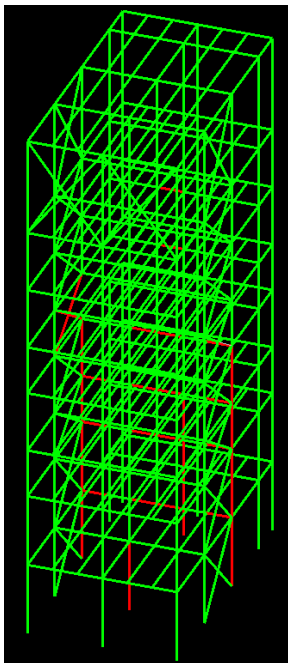
Рис. 2. Видалення найбільш завантаженої колони (К-20)

Після видалення цієї колони і проведення розрахунку на стійкість до прогресуючого обвалення експертиза встановила, що міцність деяких елементів розрахункової схеми (на рис. 3 виділені червоним кольором) недостатня.

Для захисту даної ділянки будівлі та забезпечення стійкості до прогресуючого обвалення було прийнято рішення про підсилення визначених програмою елементів за рахунок заміни їх перерізів, а також встановлення додаткових вертикальних в'язів для забезпечення більшої жорсткості та стійкості. Після зміни розрахункової схеми, заміни жорсткостей та повторної експертизи було встановлено, що проведені заходи довели свою ефективність (рис. 4). Для подальшого коригування

жорсткісних характеристик залишається ще невикористана можливість зміни марки сталі.

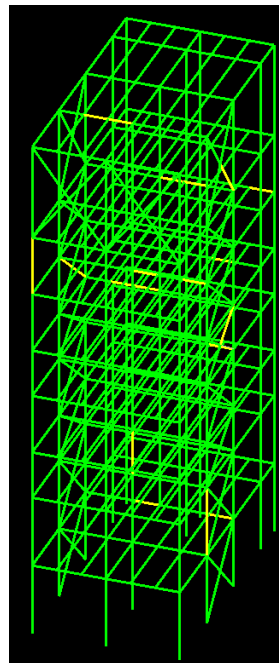
Під час аналізу екстремальних факторів експертизи підібраних програмою перерізів сталевих елементів каркасу встановлено, що врахування можливого локального руйнування на етапі проектування дає можливість забезпечити будівлю від ймовірного прогресуючого обвалення. Цього можна досягти улаштуванням додаткових в'язів, заміною марки сталі чи підбором потужнішого перерізу для конструктивного елемента розрахункової моделі.



Результати експертизи

Критичний фактор K_{max}			
<input checked="" type="checkbox"/>	0.25	0.99	619
<input checked="" type="checkbox"/>	0.99	1.01	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1.01	1243.64	32

Рис. 3. Результати експертизи елементів (після видалення колони К-20)



Результати експертизи

Критичний фактор K_{max}			
<input checked="" type="checkbox"/>	0.53	0.99	631
<input checked="" type="checkbox"/>	0.99	1	20

Рис. 4. Результати експертизи після заміни перерізів

Висновки. Єдиної методики розрахунку на стійкість до прогресуючого обвалення на сьогодні немає. Важливим завданням у цьому напрямку є ґрунтовне дослідження впливів запроектних і аварійних навантажень, усіх можливих найнесприятливіших їх комбінацій на конструктивні елементи будівель і споруд. Особливо актуальним це завдання є в умовах воєнного часу.

Метод можливого пошкодження є наразі найпоширенішим методом розрахунку на стійкість до прогресуючого обвалення. При цьому найбільш навантажений (чи ушкоджений) елемент видаляють із розрахункової моделі, як зруйнований. Саму ж модель розраховують так, щоб забезпечити будівлю від подальшого руйнування.

Встановлено, що врахування можливого локального руйнування на етапі проектування дає можливість забезпечити будівлю від ймовірного прогресуючого обвалення. Цього можна досягти улаштуванням додаткових в'язів, заміною марки сталі чи підбором потужнішого перерізу для конструктивного елемента розрахункової моделі.

References

1. Barmin I.V. KRM za spets. 192. Zabezpechennia zhyvuchosti budivelnnykh konstruksii pry nadzvychainykh sytuatsiiakh. Kyiv: NAU, 2022.
2. О.М. Pustovoitova, S.M. Kamchatna, Ye.F. Orel, S.Iu. Naboka. Stratehii proektuvannia sporud z urakhuvanniam prohresuiuchoho ruinuvannia. Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT, 2015, vyp.151, s. 128-134.
3. Otrosh Yu. A., Maiboroda R. I., Rashkevych N. V., Romin A. V. Doslidzhennia metodyk rozrakhunku prohresuiuchoho obvalennia. Mekhanika ta matematychni metody, 2023. T. V. № 2. S. 25–40. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://doi.org/10.31650/2618-0650-2023-5-2-25-40>
4. DBN V.1.2-14:2018 Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnnykh ob'ektiv. Zahalni pryntsyzy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktynnoi bezpeky budivel i sporud. Zi Zminoiu № 1
5. DBN V.2.2-41:2019 Vysotni budivli. Osnovni polozhennia. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/v_2_2_41/1-1-0-1855
6. Proiekt DSTU KhKhKhKh:202Kh. Rozrakhunok budivel na stiikist do prohresuiuchoho (neproportsiinoho) obvalennia. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu:https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=109531
7. DBN V.1.1-7:2016 Pozhezhna bezpeka ob'ektiv budivnytstva. Zahalni vymohy. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2017.
8. SCAD Office. Versiia 23. Vychyslytelnyi kompleks SCAD++ / V.S. Karpylovskiy, Э.З. Kryksunov, A.A. Maliarenko, A.V. Perelmuter, M.A. Perelmuter, S.Iu. Fyalko. 992 s. Elektronna versiia. K.: SSAD Soft, 2024.

9. DBN V.1.2-2:2006. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia. Kyiv: MINBUD Ukrainy, 2006. 75c.
10. DBN V.2.6-198:2014 Stalevi konstruksii. Normy proektuvannia. Zi Zminoiu №1 K.: Minrehion Ukrainy, 2014.
11. A.V. Radkevich, I.I. Davydov, V.P. Chaban, K.A. Kovtun. Analiz metodiv rozrakhunku na prohresuiuche obvalennia odnopolykh karkasnykh vyrobnychkykh budivel ta poshuk mozhlyvosti pidvyshchennia tochnosti rozrakhunkiv. Ukrainnyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury, № 1 (019), 2024. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://doi.org/10.30838/j.bpsacea.2312.270224.122.1032>
12. Rotko S.V., Dudka S.S. Otsinka konstruktivnoi skhemy bahatopolykhovykh vyrobnychoi budivli na stiiist do prohresuiuchoho obvalennia u PK SCAD // Innovatsiini protsesy v haluzi dorozhnoho budivnytstva: zbirnyk tez dopovidei II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv (6 lystopada 2021 r., m. Lutsk) – Lutsk: Lutskiy NTU, 2024. – S. 78-81. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://drive.google.com/file/d/1o_opa3hksqd3QCzy78yns-NxAOqcEhmR/view
13. Rotko, Zadorozhnikova, Murafa, Riabyi, Kozak. Rozrakhunok konstruksii na stiiist do prohresuiuchoho ruinuвання za dopomohoiu prohramnoho zabezpechennia. Innovatsii u budivnytstvi: zb. tez dop. IX Mizhn. nauk.-prakt. internet-konf. zdob. vyshchoi osvity ta mol. uch., 14 travnia 2024 r., m. Lutsk. LNTU, 2024. S. 63-65. <https://sites.google.com/view/iic-2024/tezy-dopovidei>

Література

1. Бармін І.В. КРМ за спец. 192. Забезпечення живучості будівельних конструкцій при надзвичайних ситуаціях. Київ: НАУ, 2022.
2. О.М. Пустовойтова, С.М. Камчатна, Є.Ф. Орел, С.Ю. Набока. Стратегії проектування споруд з урахуванням прогресуючого руйнування. Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2015, вип.151, с. 128-134.
3. Отрош Ю. А., Майборода Р. І., Рашкевич Н. В., Ромін А. В. Дослідження методик розрахунку прогресуючого обвалення. Механіка та математичні методи, 2023. Т. V. № 2. С. 25–40. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.31650/2618-0650-2023-5-2-25-40>
4. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1.
5. ДБН В.2.2-41:2019 Висотні будівлі. Основні положення. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/v_2_2_41/1-1-0-1855

6. Проект ДСТУ XXXX:202X. Розрахунок будівель на стійкість до прогресуючого (непропорційного) обвалення. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=109531
7. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. К.: Мінрегіонбуд України, 2017.
8. SCAD Office. Версія 23. Вычислительный комплекс SCAD++ / В.С. Карпиловский, Э.З. Криксунов, А.А. Маляренко, А.В. Перельмутер, М.А. Перельмутер, С.Ю. Фиалко. 992 с. Електронна версія. К.: SCAD Soft, 2024.
9. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ: МІНБУД України, 2006. 75с.
10. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування. Зі Зміною №1 К.: Мінрегіон України, 2014.
11. А.В. Радкевіч, І.І. Давидов, В.П. Чабан, К.А. Ковтун. Аналіз методів розрахунку на прогресуюче обвалення одноповерхових каркасних виробничих будівель та пошук можливостей підвищення точності розрахунків. Український журнал будівництва та архітектури, № 1 (019), 2024. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30838/j.bpsacea.2312.270224.122.1032>
12. Ротко С.В., Дудка С.С. Оцінка конструктивної схеми багатоповерхової виробничої будівлі на стійкість до прогресуючого обвалення у ПК SCAD // Інноваційні процеси в галузі дорожнього будівництва: збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих вчених та студентів (6 листопада 2024 р., м. Луцьк) – Луцьк: Луцький НТУ, 2024. – С. 78-81. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://drive.google.com/file/d/1o_оpa3hksqd3QCzy78yns-NxAOqcEhmR/view
13. Ротко, Задорожнікова, Мурафа, Рябий, Козак. Розрахунок конструкцій на стійкість до прогресуючого руйнування за допомогою програмного забезпечення. *Інновації у будівництві: зб. тез доп. IX Міжн. наук.-практ. інтернет-конф. здоб. вищої освіти та мол. уч., 14 травня 2024 р., м. Луцьк.* ЛНТУ, 2024. С. 63-65. <https://sites.google.com/view/iic-2024/тези-доповідей>

Аналіз ефективності використання високоміцних бетонів у стиснутих елементах монолітних каркасних будівель

Analysis of the effectiveness of using high-strength concrete in compressed elements of monolithic frame buildings

Ротко С.В., к.т.н., доц., Ужегова О.А., к.т.н., доц., Задорожнікова І.В., к.т.н., доц., Рябий О.І., магістр (Луцький національний технічний університет, Луцьк)

Rotko S., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Uzhehova O., Ph.D. in Engineering, Zadoroznikova I., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Ryabiy O.I., master (Lutsk National Technical University, Lutsk)

У роботі наведено матеріали з дослідження ефективності використання високоміцних бетонів при зведенні багатопверхових монолітних каркасних будівель. Встановлено, що використання бетонів високих класів замість традиційних у колонах нижніх поверхів дозволяє одержати економію на матеріалах за рахунок зменшення їх поперечного перерізу.

Traditionally, reinforced concrete is the most common material for constructing multi-story civil buildings. Modern construction is characterized by a significant increase in the number of storeys of buildings and at the same time a significant increase in the complexity of architectural solutions. Therefore, high-strength concretes are quite popular materials, especially in implementing ambitious architectural projects, where it is necessary to ensure high strength and reliability of structural elements.

The issue of increasing the strength and durability of concrete has long been on the agenda of scientists around the world. Many of them believe that the main method of improving the physical, mechanical construction, and operational indicators of concrete is to ensure the quality of its micro- and mesostructure, i.e., high density, impermeability, and minimal cracking.

It has been proven that the use of high-quality aggregates, highly active cement, and a low W/C ratio is the simplest and most economical way to obtain high-strength concrete using traditional manufacturing technology.

Among the advantages of using high-strength concretes are higher early strength, the possibility of early stripping (and therefore, earlier commissioning of the facility), increased load-bearing capacity, reduced costs for formwork due to a reduction in the cross-section of structural elements (respectively, a reduction in the weight of the latter, and therefore, the load on the structures below). This, in turn, will contribute to a reduction in the volumes of concrete and reinforcement, i.e., the installation mass of the elements, and, accordingly, a reduction in transport costs for the delivery of materials. Important advantages are also higher density, water and gas impermeability due to a reduction in

capillary pores, increased resistance to chemically active substances; high corrosion resistance, and therefore, protection of reinforcement; and reduced costs for formwork.

The paper studies the feasibility of using high-strength concrete for the manufacture of vertical elements operating in compression - columns and pylons of multi-story residential buildings.

To study the effectiveness of the use of high-strength concrete, a monolithic 13-story frame residential building with commercial premises located on the first floor was taken. The calculation was carried out in the MONOMAKH-SAPR PC using the finite element method (FEM).

The study found that replacing concrete in columns of class C20/25 with concrete of class C50/60 allowed a total economic effect of 223,693 thousand UAH due to the reduction in the cross-sectional dimensions of the columns and the reduction in the cost of reinforcing steel. The savings on materials amounted to 17.9%. It is also important that the useful area of the building increased when the cross-sections of the columns were reduced, which will also have a significant economic effect.

Therefore, we can conclude that it is economically feasible to use high-strength concrete for columns of multi-story buildings, especially in high-rise construction.

Ключові слова: високоміцні бетони, колони, каркасні будівлі економічна ефективність.

Keywords: high-strength concrete, columns, frame buildings, cost-effectiveness.

Вступ. Традиційно протягом останніх десятиліть найпоширенішим матеріалом для зведення багатопверхових цивільних будівель є залізобетон. Сучасне будівництво характеризується значним ростом поверховості будівель і водночас – суттєвим підвищенням складності архітектурних рішень. А тому високоміцні бетони є досить затребуваними матеріалами, особливо – при реалізації амбітних архітектурних проєктів, де необхідно забезпечити високу міцність і надійність конструктивних елементів.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання підвищення міцності та довговічності бетонів уже давно стоять на порядку денному перед вченими всього світу. Багато з них вважає, що основним методом підвищення фізико-механічних і будівельно-експлуатаційних показників бетону є забезпечення якості його мікро- та мезоструктури, тобто, висока щільність, непроникність і мінімальне тріщиноутворення [1, 2, 6, 7].

Високоміцними конструкційними (важкими та надважкими) бетонами вважають бетони з міцністю на стиск 60-130 МПа [3] або міцність яких вища за 6000 psi, тобто понад 41 МПа [4].

Згідно з вітчизняними стандартами [5], що адаптовані до Європейських норм EN 206-1:2000, високоміцний бетон відповідає класу за міцністю вище C50/60 (до C100/115). Отже, кубикова міцність бетону має бути не нижче 60 МПа.

Основними перевагами високоміцних бетонів вважають серед іншого високу ранню міцність, яка дозволяє швидше зняти опалубку, підвищену несучу здатність, можливість зменшувати перерізи конструктивних елементів, а отже, знижувати витрати бетону та арматури, матеріалів на опалубку. Можна говорити також про зниження транспортних витрат на доставку матеріалів. Зменшені перерізи конструкцій передаватимуть менше навантаження на нижчерозташовані конструкції, зокрема, на фундаменти, що знову ж таки дозволить суттєво зекономити на матеріалах.

До важливих переваг високоміцних бетонів над традиційними можна віднести вищу щільність структури, водо- та газонепроникність – через зменшення капілярних пор. А ще – підвищену хімічну та корозійну стійкість, а отже, захист арматури [1, 2, 6, 7, 9].

Завдяки використанню високоякісних бетонів нового покоління, стійких до впливу морської води, світ побачив за останні десятиліття чимало унікальних проектів мостів. Серед них – Akashi Kaikyo Bridge (Японія) – один із найдовших підвісних мостів у світі, Erasmusbrug (Роттердам, Голандія), Rùnyáng Chángjiāng Dàqiáo (Жуньянський міст, Китай), залізничний міст Цинма (Гонконг, Китай), міст-акведук (Магдебург, Німеччина) [8].

Відомі хмарочоси Burj Khalifa (Дубай), Shanghai Tower (Шанхай), PETRONAS (Куала-Лумпур, Сінгапур), Абрадж аль-Бейт (Мекка, Саудівська Аравія), Taipei 101 (Тайбей), Two Prudential Plaza (Чикаго, США) зведені з використанням високоміцних бетонів для забезпечення стійкості до сильних вітрів і землетрусів [8].

В Україні теж зводять висотні будівлі, на сьогодні їх 31 (20 – висотою від 100 до 125 м, 9 – від 125 до 150 м, 2 – понад 200 м). Загалом у Києві збудовано понад тисячу будівель висотою понад 35 м, це дозволяє столиці займати восьме місце у світовому рейтингу (після Нью-Йорка (6097), Торонто (2393), Дубая (1574), Токіо (1319), Гонконгу (1293), Шанхая (1234) і Чикаго (1233) [10]. Тому тема використання високоміцних бетонів є актуальною.

Мета роботи – дослідити ефективність використання високоміцних бетонів для виготовлення вертикальних елементів, що працюють на стиск, – колон і пілонів багатоповерхових житлових будівель.

Виклад основного матеріалу. У дослідженні було розглянуто монолітну 13-ти поверхову каркасну житлову будівлю з комерційними приміщеннями на першому поверсі. Розрахунок виконували у ПК МОНОМАХ-САПР методом скінченних елементів (МСЕ). Розрахункова модель наведена на рис.1.

Будівлю розраховували на всі діючі навантаження: постійне – від власної ваги конструкцій (при цьому навантаження від перегородок

задавали навантаженням на плиту), змінне – корисне на перекриття, короточасні – снігове на покриття і вітрове згідно з [11].

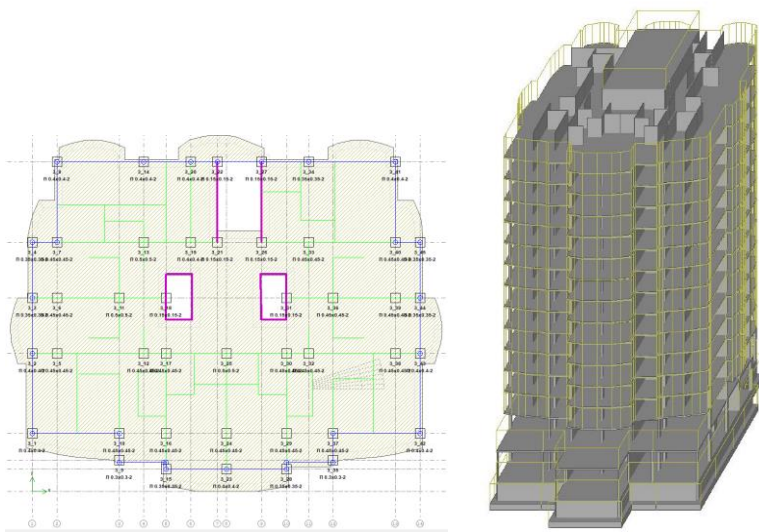


Рис. 1. Розрахункова схема типового поверху та 3D-модель будівлі

Оскільки найбільш завантаженими в багатопверхових будівлях є колони та пілони нижніх поверхів, то очевидно, що саме в цих елементах буде максимальна кількість підбраної програмою арматури. Конструювання елементів виконується програмою згідно з [12, 13].

При проведенні дослідження у першому варіанті для вертикальних конструкцій будівлі було задано бетон класу C20/25. При цьому в першому наближенні розміри перерізу колон не фіксували. У результаті отримали підібраний програмою переріз середніх колон першого поверху 450x450 і 500x500 мм і крайніх – 400x400 мм.

Далі клас бетону колон було змінено на C50/60 і знову проведено розрахунок у першому наближенні, без фіксації розмірів перерізів колон. Результатом цього розрахунку стали підібрані програмою перерізи середніх колон першого поверху 350x350 і 400x400 мм і крайніх – 300x300 мм.

Після детального аналізу отриманих результатів зміни перерізів колон з висотою, було виконано фіксацію і уніфікацію розмірів перерізів і заново виконано розрахунки. При цьому брали до уваги зміну перерізів по висоті для кожного варіанта. Так, для першого (C20/25) на нижніх трьох поверхах середні колони прийнято перерізом 500x500 мм, а крайні – 400x400 мм. Починаючи з четвертого, розміри перерізу зменшено до 450x450 мм і 350x350 мм, відповідно. З сьомого перерізи зменшені до

400х400 мм і 300х300 мм. З десятого – до 300х300 мм і 250х250 мм, відповідно.

Для другого варіанту з урахуванням оптимального використання високоміцного бетону (С50/60) на нижніх трьох поверхах середні колони прийнято перерізом 400х400 мм, а крайні – 300х300 мм. Починаючи з четвертого поверху, розміри перерізу зменшено до 350х350 мм і 300х300 мм, відповідно. З сьомого перерізи зменшені до 300х300 мм і 250х250 мм і клас бетону прийнято С20/25. З дев'ятого поверху перерізи всіх колон становитимуть 250х250 мм (клас бетону – С20/25).

Результати дослідження

У таблиці 1 наведені результати аналізу загальних витрат бетону та арматури за обома варіантами для зведення колон багатоповерхової будівлі. Вартість матеріалів (бетону та арматури) розрахована за цінами заводів-виробників [14, 15].

Таблиця 1
 Обчислення економічного ефекту застосування високоміцного бетону для колон

Вар-т розр.	Витрати арматури, т	Варт. 1т арматури А500С, грн.	Об'єм бетону, м ³	Ціна 1м ³ бетону, грн.	Сумарна вартість матеріалів, тис. грн.	Економ. ефект, тис. грн. %
1	20,453	31849	188,98	3150 (С20/25)	1246,694	-
2	16,309	31849	45,26	3150 (С20/25)	1023,001	<u>1246,694</u> 17,9%
			71,46	5042 (С50/60)		

Аналізуючи одержані результати, робимо висновок про те, що заміна бетону колон класу С20/25 на бетон С50/60 дозволила одержати сумарний економічний ефект у розмірі 223,693 тис. грн., за рахунок зменшення розмірів поперечного перерізу колон і зниження витрат арматурної сталі.

У результаті зменшення розмірів поперечних перерізів (за рахунок використання бетону С50/60) середніх колон нижніх трьох поверхів з 500х500 мм до 400х400 мм і крайніх колон з 400х400 мм до 300х300 мм, з четвертого по шостий поверх – з 450х450 мм до 350х350 мм і з 350х350 мм до 300х300 мм, відповідно, а з сьомого до дев'ятого (бетон С20/25) – з 400х400 мм до 300х300 і з 300х300 мм до 250х250 мм, економія на матеріалах склала 17,9%. Важливим є й той факт, що при зменшенні перерізів колон збільшилась корисна площа будівлі, що теж матиме економічний ефект.

Отже, можна зробити висновок про економічну доцільність використання високоміцного бетону для колон багатоповерхових будівель, особливо при висотному будівництві.

Проте комплексна оцінка економічної ефективності використання високоміцних бетонів вимагає урахування низки факторів, таких, як: можливі додаткові витрати на проектування конструкцій, необхідність спеціального обладнання і кваліфікованого персоналу, ретельніший контроль якості за технологією виготовлення та укладання тощо.

Висновки та перспективи подальших досліджень

На прикладі 13-ти поверхової монолітної каркасної житлової будівлі було виконано розрахунок витрат бетону та арматури для колон у двох варіантах – із використанням традиційного важкого бетону класу C20/25 і високоміцного – класу C50/60. Встановлено, що високоміцний бетон дозволяє зменшити перерізи колон. У результаті заміни класу бетону на C50/60 кількість арматури колон зменшилась на 4,144 т у порівнянні з першим варіантом. Зменшення перерізів колон дозволило знизити витрати бетону на 72,26 м³, зменшивши цим навантаження на фундаментну плиту на 180,65 тонн. Економічний ефект від використання високоміцного бетону лише за матеріалами колон (бетон+арматура) склав 1246,694 тис. грн. (17,9%). Водночас, зменшення перерізів колон дозволяє збільшити корисну площу приміщень, що теж матиме суттєвий економічний ефект, особливо для багатоповерхових будівель.

Високоміцний бетон забезпечить підвищену міцність конструкцій, що особливо важливо для нижніх поверхів, які сприймають найбільші навантаження, та сейсмостійкість будівлі, що зменшить ризики руйнування та зменшує витрати на відновлення після землетрусів.

Проте при визначенні економічної ефективності від застосування високоміцних бетонів потрібно провести комплексну оцінку із урахуванням низки факторів. Зокрема, той факт, що високоміцний бетон вимагає ретельнішого контролю якості, дотримання технології виробництва та укладання, спеціального обладнання та кваліфікованого персоналу, може збільшити витрати на будівництво. Можливі також додаткові витрати на розрахунок і проектування конструкцій. Для оптимізації витрат варто застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення.

References

1. Vysokomitsni shvydkotverdnuchi betony ta fibrobetony: monohrafiia / L.I. Dvorkin, Ye.M. Babych, V.V. Zhytkovskyi, O.M. Bordiuzhenko, S.V. Filipchuk, D.V. Kochkarov, I.V. Kovalyk. Rivne: NUVHP, 2017. 331 s.
2. Sydor N.I. Vysokomitsni betony z pidvyshchenoiu udarnoiu viazkistiю dlia promyslovykh pidloh: kand. tekhn. nauk (doktora filosofii): spets. 192. Budivnytstvo ta tsyvilna inzheneriia. Lviv: Nats. un-t «Lviv. Politekhnikha», 2021.

3. SEV Bulletin of Information 197 – FIP, High strength concrete – State of the art report; SR 90/1-1990.
4. State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete // Reported by ACI Committee 363. ACI 363R-92 (Reapproved 1997), p. 363R-2.
5. DSTU B V.2.7-176:2008 Sumishi betonni ta beton. Zahalni TU. [Elektronnyi resurs]. – URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_2_7_176_2008_sumishi_betonni_ta_beton_zagalni_tu/5-1-0-1208.
6. Dvorkin L.I., Zhytkovskiy V.V., Makarenko R.M. Vysokomitsni betony: navchalnyi posibnyk / NUVHP, 2022. 216 s.
7. Dvorkin L.I. Betony spetsialnogo pryznachennia: navchalnyi posibnyk / K.: Vydavnychiy dim «Kondor», 2018. 354 s.
8. Kutsyk O. V. Analiz vykorystannia vysokomitsnogo betonu u suchasnomu budivnytstvi / O. V. Kutsyk, O. D. Zhuravskiy // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2016. Vyp. 61. S. 444-449. [Elektronnyi resurs]. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2016_61_57.
9. Rotko S.V., Riabyi O.I. Vysokomitsnyi beton: dotsilnist vykorystannia dlia kolon bahatopoverkhovykh budivel // Innovatsiini protsesy v haluzi dorozhnogo budivnytstva: zbirnyk tez dopovidei II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv (6 lystopada 2021 r., m. Lutsk) – Lutsk: Lutskiy NTU, 2024. – S. 73-75. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://drive.google.com/file/d/1o_opa3hksqd3QCzy78yns-NxAOqcEhmR/view10. Naivyshchi budivli v sviti 2024 rik. [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://proverka.com.ua/naivyshchi-budivli-v-sviti.html>
11. DBN V.1.2-2:2006. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia. Kyiv: MINBUD Ukrainy, 2006. 75c.
12. Betonni ta zalizobetonna konstruktzii. Osnovni polozhennia: DBN V.2.6. 98:2009. [Chynnyi vid 01.06.2011]. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2011. 72 s.
13. DSTU B V.2.6-156: 2010. Konstruktzii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonna konstruktzii z vazhkoho betonu. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2010.
14. Beton vid Kovalskoi. [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://beton.kovalska.com>
15. Armatura, klas A-400/500. [Elektronnyi resurs]. – URL: https://stalmira.ua/hot-rolled-steel/viewitem/armatura-40?gad_source=1&gclid=cj0kccqjwz7c2bhdkarisaa_szk5iwlcm2k3nzojobrqrqy_pihmxbe1oxaqgylvzt9o5syqebu0_g84aav3kealw_wcb

Література

1. Високоміцні швидкотверднучі бетони та фібробетони: монографія / Л.Й. Дворкін, С.М. Бабич, В.В. Житковський, О.М. Бордюженко, С.В. Філіпчук, Д.В. Кочкар'юв, І.В. Ковалик. Рівне: НУВГП, 2017. 331 с.
2. Сидор Н.І. Високоміцні бетони з підвищеною ударною в'язкістю для промислових підлог: канд. техн. наук (доктора філософії): спец. 192.

- Будівництво та цивільна інженерія. Львів: Нац. ун-т «Львів. Політехніка», 2021.
3. CEB Bulletin of Information 197 – FIP, High strength concrete – State of the art report; SR 90/1-1990.
 4. State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete // Reported by ACI Committee 363. ACI 363R-92 (Reapproved 1997), p. 363R-2.
 5. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 Суміші бетонні та бетон. Загальні ТУ. [Електронний ресурс]. – URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_2_7_176_2008_sumishi_betonni_ta_beton_zagalni_tu/5-1-0-1208.
 6. Дворкін Л.Й., Житковський В.В., Макаренко Р.М. Високоміцні бетони: навчальний посібник / НУВГП, 2022. 216 с.
 7. Дворкін Л.Й. Бетони спеціального призначення: навчальний посібник / К.: Видавничий дім «Кондор», 2018. 354 с.
 8. Куцик О. В. Аналіз використання високоміцного бетону у сучасному будівництві / О. В. Куцик, О. Д. Журавський // Містобудування та територіальне планування. 2016. Вип. 61. С. 444-449. [Електронний ресурс]. – URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2016_61_57.
 9. Ротко С.В., Рябий О.І. Високоміцний бетон: доцільність використання для колон багатопверхових будівель // *Інноваційні процеси в галузі дорожнього будівництва: збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих вчених та студентів (6 листопада 2021 р., м. Луцьк)* – Луцьк: Луцький НТУ, 2024. – С. 73-75. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://drive.google.com/file/d/1o_opa3hksqd3QCzy78yns-NxAOqcEhmR/view
 10. Найвищі будівлі в світі 2024 рік. [Електронний ресурс]. – URL: <https://proverka.com.ua/naivyshchi-budivli-v-sviti.html>
 11. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ: МІНБУД України, 2006. 75с.
 12. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6.98:2009. [Чинний від 01.06.2011]. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 72 с.
 13. ДСТУ Б В.2.6-156: 2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. К.: Мінрегіонбуд України, 2010.
 14. Бетон від Ковальської. [Електронний ресурс]. – URL: <https://beton.kovalska.com>
 15. Арматура, клас А-400/500. [Електронний ресурс]. – URL: https://stalmira.ua/hot-rolled-steel/viewitem/armatura-40?gad_source=1&gclid=cj0kcqjwz7c2bhdkarisaa_szkb5iwlcmb2k3nzojobrqrqy_pihmxbeloxaqgyltz9o5syqebu0_g84aav3kealw_wcb

Holovan's House: determination methodology of measures for the storm drains sewerage of buildings and territory

Будинок Голованя: методологія визначення заходів влаштування зливової каналізації будівель та території

Synii S.V., Ph.D. in Eng., Assoc. Prof. (Lutsk National Technical University, Lutsk), Ksonshkevych L.M., Ph.D. in Eng., Assoc. Prof., Krantovska O. M., Ph.D. in Eng., Assoc. Prof. (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa), Sunak P.O., Ph.D. in Eng., Assoc. Prof., Uzhehov S.O., Ph.D. in Eng., Assoc. Prof. (Lutsk National Technical University, Lutsk), Orešković M., Ph.D. in Eng., Assoc. Prof. (University North, Varaždin, Croatia)

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), Сунак П. О., к.т.н., доц., Ужегов С.О., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк), Орешкович М., к.т.н., доц. (Північний університет, Вараздін, Хорватія)

Under the general understanding of the "Holovan's House" complex, this article examines the buildings and structures along with the land on which they are situated. The construction of the sculptor's own two-story brick residential house, which became the main element of the complex and gave it its name, was started by the renowned contemporary Ukrainian sculptor Mykola Holovan (1943 – 2022) in the 1980 s. Today, the history of the Holovan's House complex spans over 40 years. One of the reasons for this prolonged construction is the sculptor's creative approach, as he handcrafted various sculptural elements throughout the building process, aiming to incorporate them into the structural solutions for the house's enclosing constructions. These include lintels above the entrance doors, numerous decorative elements on the exterior walls, and the roof. The artist also applied this principle when arranging the house's storm drains sewerage, using handmade sculptural elements. Overall, most of the construction work on the buildings and structures, improvement of the territory was carried out manually by the sculptor. For Mykola Holovan, this was a continuous creative process. However, this also became one of the reasons for the partial incompleteness of the Holovan's House complex, with the sculptor expressing in interviews his hope that his descendants would complete the work.

The preliminary review of the Holovan's House complex revealed that the partial incompleteness of certain construction works related to the installation of the storm drains sewerage for the buildings, structures and territory would have a negative impact on the technical condition of the residential house. Specifically, one of the reasons for the damage to the enclosing structures of the house, identified during the inspection, is the negative

influence of the existing storm drains sewerage. In this context, the article justifies the methodology for determining measures to install the storm drains sewerage for the buildings, structures and territory. This methodology is based on the belief that a methodologically sound approach to making technical decisions in construction, reconstruction and restoration will provide protection against the gradual damage and deterioration of the house's structures.

Під узагальненим поняттям комплексу "Будинок Голованя" у статті розглядаються будівлі та споруди разом з територією ділянки, на якій вони розташовані. Будівництво власного двоповерхового цегляного житлового будинку, який став основним елементом комплексу і дав йому назву, розпочато відомим сучасним українським скульптором Миколою Голованем (1943 – 2022 р.р.) у 80-х роках минулого століття. На сьогодні історія будівництва комплексу Будинок Голованя складає понад 40 років. Однією з причин такого тривалого будівництва є власний творчий підхід скульптора, який протягом усього часу будівництва виготовляв вручну різноманітні скульптурні елементи з метою їх імплементації у конструктивні рішення огорожувальних конструкцій будинку. Зокрема, це перемички над входними дверима, багато різноманітних елементів оздоблення зовнішніх стін та даху. Цей же принцип використання власноручно створених скульптурних елементів митець втілював при влаштуванні зливової каналізації будинку. Загалом, більшість будівельних робіт з будівництва будівель та споруд, благоустрою території виконувались скульптором вручну. Для Миколи Голованя це був безперервний творчий процес. Однак це також стало однією з причин часткової незавершеності будівництва комплексу Будинок Голованя, у своїх інтерв'ю скульптор висловлював сподівання, що все дороблять його нащадки.

Проведений попередній огляд комплексу Будинок Голованя показав, що часткова незавершеність окремих будівельних робіт з влаштування зливової каналізації будівель, споруд та території негативно впливатиме на технічний стан житлового будинку. Зокрема, однією з причин виявлених при попередньому огляді пошкоджень огорожувальних конструкцій житлового будинку є несприятливий вплив з боку існуючої зливової каналізації. У зв'язку з цим, у даній статті обґрунтовується методологія визначення заходів влаштування зливової каналізації будівель, споруд та території, яка спирається на переконання, що методологічно правильний підхід до прийняття технічних рішень у будівництві, реконструкції, реставрації дозволяє створити захист від поступового пошкодження та руйнування конструкцій житлового будинку.

Keywords: Holovan's House, storm drains sewerage, review, construction, reconstruction, restoration, operation, improvement of the territory, research methodology.

Ключові слова: Будинок Голованя, злилова каналізація, огляд, будівництво, реконструкція, реставрація, експлуатація, благоустрій території, методологія досліджень.

Problem Statement. Today, the complex of buildings, structures and territory, known as "Holovan's House" [1], where the famous contemporary

Ukrainian sculptor Mykola Holovan (1943–2022) [2] lived and worked, holds significant cultural-artistic, architectural, and tourist value for Lutsk and Ukraine, and is becoming increasingly recognized globally. The artist dedicated over 40 years to constructing his house [3], a continuous creative process reflected in the buildings, structures and elements of improvement of the territory of the complex, abundantly adorned with his works (Fig. 1). The main artistic object among them is the sculptor's house (Holovan's House itself), which is decorated both inside and outside with his works [4-6 et al.]. Since the complex was not fully completed during the sculptor's lifetime, the urgent task remains to complete the construction and preserve Holovan's House.

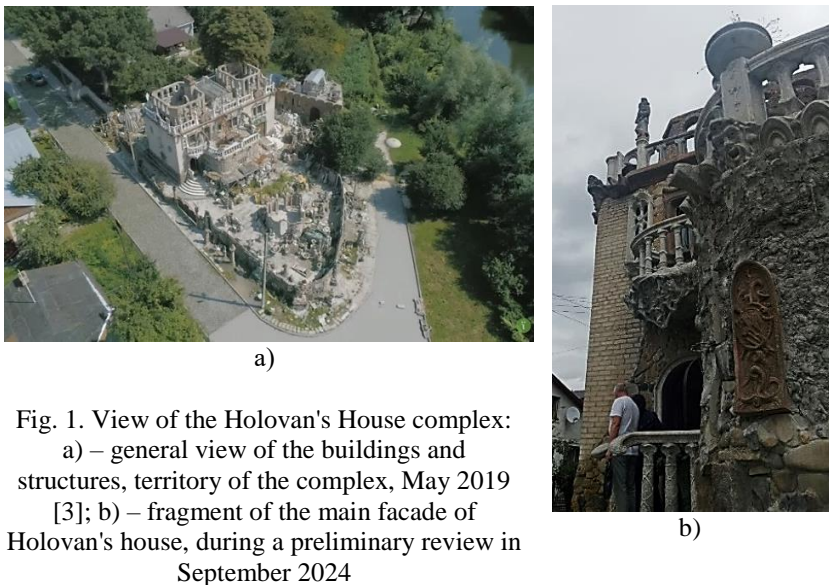


Fig. 1. View of the Holovan's House complex:
a) – general view of the buildings and structures, territory of the complex, May 2019 [3]; b) – fragment of the main facade of Holovan's house, during a preliminary review in September 2024

Analysis of Known Research and Publications. The construction of Holovan's House was carried out by Mykola Holovan until 2022, and after the sculptor's death, it continues to be maintained by his descendants. The originality of Holovan's House has been one of the reasons for the public's interest in both its construction and Mykola Holovan's personality. The sculptor's life and creative work, closely tied to the construction of Holovan's House, have been documented in various sources, including several videos featuring his interviews [1-6 et al.]. However, since the construction of the buildings and structures of Holovan's House was continuously ongoing, the majority of information focused primarily on the artistic and architectural aspects of these structures rather than their construction techniques. At the same time, issues related to ensuring the good technical condition of the construction elements of the Holovan's House complex,

particularly their compliance with regulatory standards, have not been sufficiently addressed. Regardless of the future decisions concerning the nature of construction work at the Holovan's House complex (whether it be construction, reconstruction or restoration), such work must be carried out at a methodologically correct and well-justified level. This approach also applies to the installation of storm drains sewerage for the buildings, structures and surrounding territory. The foundation for the methodology of such studies should be regulatory methods that are appropriate for the specific research situation [7-15 et al.].

The aim of the article is to research the methodology for determining measures to install a storm drains sewerage for the buildings, structures and territory of Holovan's House.

The main objectives are conducting a preliminary review of Holovan's House and justifying the methodology for determining measures for the installation of storm drains sewerage for the buildings, structures and territory of Holovan's House.

Presentation of the Main Material. Due to various life circumstances, certain construction works at Holovan's House were not completed during Mykola Holovan's lifetime. In addition, over the years of operation of the building and the constant creative activity of the sculptor regarding the completion of individual elements of this building, structures and improvement of the territory around the building, certain changes occurred in the enclosing structures of the building and the territory around it, which negatively affected the current state of the building's storm drains sewerage and territory of the Holovan's House complex.

In light of this, in September 2024, the sculptor's daughter, Natalia Holovan, reached out to Lutsk National Technical University (LNTU) to seek solutions to this construction problem. Research on such construction-related topics at LNTU is conducted by the Department of Construction and Civil Engineering, part of the Faculty of Architecture, Construction, and Design, including in the Scientific Research Construction Laboratory (SRCL LNTU). Additionally, for the purposes of conducting research, the SRCL LNTU regularly engages experts from other universities, research institutions and construction enterprises.

In response to Natalia Holovan's request, representatives of SRCL LNTU conducted a preliminary visual review of Holovan's House in September 2024 [7, 8]. The focus of the review was the condition of the sculptor's house, which allowed the team to visually identify the following:

- a) Certain existing damage to the structure of the house:
 - a crack on the surface of the terrace floor – formed both vertically and horizontally in a direction roughly parallel to the main facade wall of the terrace, with the horizontal length of the crack approximately matching the length of the main facade wall;

- areas of dampness on both the external and internal surfaces of the house's enclosing structures.

b) Deficiencies in the organization and arrangement of the house's existing storm drains sewerage and the construction of its elements.

In our opinion, the identified damages are related to various complex and longstanding adverse effects due to deficiencies in the organization and functioning of the existing storm drains sewerage for the buildings, structures and territory of Holovan's House. However, this established cause may be just one of several potential technical, technological, and natural causes associated with the construction and operational processes of the Holovan's House complex. For this particular case, involving the buildings and territory of Holovan's House in Lutsk, final conclusions about the causes of the existing structural damages (including the negative effects from the storm drains sewerage) and recommendations for their resolution can only be made following a scientifically and practically justified research methodology [7-15 et al.].

Conclusions and Recommendations. The reliability and longevity of the buildings, structures and territory of Holovan's House in Lutsk depend on a methodologically correct approach to both identifying and resolving structural damages and defects. At first glance, guessing the causes of such damages and defects may seem cheaper and quicker than construction work based on technical research. However, neglecting the essential steps of the research methodology by carrying out technically and technologically unjustified construction work may at best provide only temporary positive effects, which could ultimately lead to more severe structural damage, including the possibility of hazardous conditions.

Therefore, the research methodology for identifying and addressing damages (and possibly defects) in the structure of Holovan's House (considering the adverse effects of the storm drains sewerage) should include the following stages: technical inspection of the facility; monitoring the technical condition of the facility; development of project documentation for the construction (or reconstruction, or restoration) of the facility.

References

1. Budynok Holovania. https://uk.wikipedia.org/wiki/Будинок_Голованя
2. Holovan Mykola Mykytovych. https://uk.wikipedia.org/wiki/Головань_Микола_Микитович
3. *Construire pendant 40 ans une maison avec des chimères à Loutsk.* Ukraïner. 13 avril 2020. <https://www.ukraïner.net/lutsk-mykola-golovan-fr/>
4. Marchuk V. Holovan Mykola. Art Gallery. https://volart.com.ua/art/holovan_mykola/
5. Wakoluk W. *Mykola Gołowań: „Nie zazdrość! Rób wszystko sam i Bóg cię ochroni”.* Monitor Wołyński. 18 stycznia 2013. <https://monitorwozynski.com/pl/news/257-myko-goowa-nie-zazdro-rob-wszystko-sam-i-bog-ci-ochroni>
6. Henk van es. *Nicholas Golovan, Single handedly built and decorated house.* Outsider Environments Europe. Blogger. August 26, 2016. <https://outsider-environments.blogspot.com/2016/08/nicholas-golovan-single-handedly-built.html>

7. Rekomendatsiinyi lyst pro provedennia vizualnogo ohliadu kompleksu budivel ta terytorii Budynku Holovania u m. Lutsku dlia vyznachennia nedolirikv isnuuiuchykh zakhodiv vlashtvuvannia zlyvovoi kanalizatsii. Lutsk, NDBL LNTU, 23.10.2024, 2-4.
8. Synii S. V., Ksonshkevych L. M., Krantovska O. M., Sunak P. O., Uzhehov S. O., Orešković M. Methodological substantiation of the adverse effects of storm drains sewerage on the technical condition of the Holovan's House. *Innovative processes in the field of road construction: a collection of abstracts of reports of the II international scientific and practical Internet conference of young scientists and students, November 6, 2024, Lutsk.* 89-91. <https://sites.google.com/lntu.edu.ua/2024/golovna-stor>
9. Sunak P. O., Synii S. V., Melnyk Yu. A., Ksonshkevych L. M., Krantovska O. M., Orešković M. Reconstruction of engineering structures and engineering networks, landscape based on laser scanning technology. *Modern technologies and methods of calculations in construction.* 2022, **18**, 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. 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>
11. 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.* 2021, **16**, 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)
12. 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.* 2022, **17**, 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)
13. 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.
14. Synii S. V., Ksonshkevych L. M., Krantovska O. M., Krantovskiy I. O., Orešković M. The role of information and communication technologies in engineering network research methodology. *Modern technologies and methods of calculations in construction.* 2024, **21**, 207-215. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-22)
15. Synii S. V., Krantovska O. M., Ksonshkevych L. M., Ksonshkevych A.S., Sunak P.O. The role of information and communication technologies in the research methodology of construction objects. *Modern technologies and methods of calculations in construction.* 2024, **21**, 198-206. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-21)

Література

1. Будинок Голованя. https://uk.wikipedia.org/wiki/Будинок_Голованя
2. Головань Микола Микитович. https://uk.wikipedia.org/wiki/Головань_Микола_Микитович
3. 40 років будувати Луцький дім з химерами. Українер. 3 травня 2019. <https://www.ukrainer.net/lutsk-mykola-golovan/>
4. Марчук В. Головань Микола. Галерея Мистецтв. https://volart.com.ua/art/holovan_mykola/
5. Ваколюк В. Микола Головань: «Не заздрі! Роби все сам і Бог тебе обереже». Монітор Волинські. 18 січня 2013. <https://monitorwolynski.com/pl/news/257-myko-a-goowa-nie-zazdro-rob-wszystko-sam-i-bog-ci-ochroni>

6. Henk van es. *Nicholas Golovan, Single handedly built and decorated house*. Outsider Environments Europe. Blogger. August 26, 2016. <https://outsider-environments.blogspot.com/2016/08/nicholas-golovan-single-handedly-built.html>

7. Рекомендаційний лист про проведення візуального огляду комплексу будівель та території Будинку Голована у м. Луцьку для визначення недоліків існуючих заходів влаштування зливової каналізації. Луцьк, НДБЛ ЛНТУ, 23.10.2024, 2-4.

8. Synii S. V., Ksonshkevych L. M., Krantovska O. M., Sunak P. O., Uzhehov S. O., Orešković M. Methodological substantiation of the adverse effects of storm drains sewerage on the technical condition of the Holovan's House. *Innovative processes in the field of road construction: a collection of abstracts of reports of the II international scientific and practical Internet conference of young scientists and students, November 6, 2024, Lutsk*. 89-91. <https://sites.google.com/lntu.edu.ua/2024/golovna-stor>

9. Сунак П. О., Синій С. В., Мельник Ю. А., Ксьоншкевич Л. М., Крантовська О. М., Орешкович М. Реконструкція інженерних споруд та мереж, ландшафту на основі технології лазерного сканування. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2022, **18**, 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. Шуманов І., Табачников С., Наливайко Т. та ін. Інноваційні методи планування і реконструкції будівель історичної спадщини з використанням 3d сканера. *Комунальне господарство міст*. 2023, **4(178)**, 65-71. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-65-71>

11. 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*. 2021, **16**, 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)

12. 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*. 2022, **17**, 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)

13. 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.

14. Синій С.В., Ксьоншкевич Л.М., Крантовська О.М., Крантовський І.О., Орешкович М. Роль інформаційно-комунікаційних технологій у методології досліджень інженерних мереж. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2024, **21**, 207-215. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-22)

15. 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. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2024, **21**, 198-206. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-21)

Кислотні числа – критерій придатності бітумів для шарів зносу із литих емульсійно-мінеральних сумішей дорожніх покривів

Acid numbers – a criterion for the suitability of bitumen for wearing courses for slurry surfacing

Сідун Ю.В., к.т.н., доцент, Гунька В.М., д.т.н., доцент, Поляк О.Є., аспірантка, Куліков Д.О., аспірант (Національний університет «Львівська політехніка»)

Sidun Yu., Ph.D, Associate Professor, Gunka V., DSc, Associate Professor, Poliak O., PhD student, Kulikov D., PhD student (Lviv Polytechnic National University)

У статті обґрунтована залежність між кислотним числом бітумних в'язучих та когезійною міцністю литих емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС). Встановлено, що високо кислотні бітумні в'язучі для ЛЕМС є оптимальними за критерієм когезійної міцності.

The article explores the dependence between the acid number of bitumen binders and the cohesive strength of Slurry Surfacing. To produce cationic bitumen emulsions and Slurry Surfacing, paraffinic binders from the Polish company PKN Orlen and domestic bitumen from PJSC Ukratnafta (Kremenchuk Refinery) were tested. Naphthenic bitumen was sourced from the Swedish company Nynas, the world's largest producer of naphthenic bitumen. To create the cationic bitumen emulsions for Slurry Surfacing, bitumen, a cationic emulsifier (amine-based), hydrochloric acid, and drinking water were used. Emulsions were prepared in a laboratory setting using a colloidal mill. Slurry Surfacing was designed and tested following the technical bulletins of the International Slurry Surfacing Association. In addition to emulsions, the Slurry Surfacing mix included a granite crushed stone-sand mixture (0-10 mm fraction), water, portland cement, and a decomposition regulator in the form of a 10% emulsifier solution.

It was found that high-acid bitumen binders are optimal for Slurry Surfacing in terms of cohesive strength. The study confirmed that naphthenic bitumen exhibits significantly higher acid numbers than paraffinic bitumen. Additionally, Slurry Surfacing compositions based on naphthenic and paraffinic bitumen require different amounts of decomposition regulator to achieve the desired decomposition time. Specifically, formulations with naphthenic bitumen require 0.5 parts more degradation agent than those with paraffinic bitumen. Despite this increased need for degradation agent, the rate of cohesive strength gain in Slurry Surfacing samples with naphthenic bitumen is 12 times higher than that of unmodified paraffinic samples and 10 times higher than that of polymer-modified paraffinic samples.

Ключові слова: кислотне число бітумів, катіонні бітумні емульсії, литі емульсійно-мінеральні суміші.

Keywords: acid number of bitumen, cationic bitumen emulsions, Slurry Surfacing.

Вступ. Кислотне число відноситься до показників надійності бітуму та характеризує таку його властивість, як полярність. Поняття кислотних чисел бітумів в технічних умовах дорожньо-будівельної нормативної бази України та нормах EN відсутні [1-4]. Лише в українському стандарті [5] згадуються кислотні числа бітумів, але необхідність їх визначення для потреб дорожнього будівництва не регламентується.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Постановка проблеми
Як показує огляд наукової літератури [6-8] кислотні числа є важливим показником для визначення якості бітуму для виготовлення бітумних емульсій. Особливо гостро це питання стоїть під час виготовлення катіонних бітумних емульсій для технологій литих емульсійно-мінеральних сумішей (ЛЕМС) [9-12]. В світовій практиці бітуми із високими кислотними числами називають «нафтовими», а із низькими – «парафіністими» [6-8,13]. Як показали попередні дослідження [14] до нафтових варто відносити бітуми з кислотними числами не менше 3,5 мг КОН/г, а парафіністі бітуми згідно літературного огляду [8,13,15] характеризуються кислотними числами до 1,0 мг КОН/г. Саме нафтові бітуми є оптимальними для ЛЕМС, але їх отримують із дефіцитної важкої нафти, яку дорого і важко переробляти. Парафіністі бітуми отримують із легкої нафти. За [16,17] до легких нафт відносять ті, що за стандартних умов (температура 20 °С та тиск 101,3 кПа) мають густину не більше 0,85 г/см³, а до нафт середньої густини відносять із густиною від 0,85 до 0,885 г/см³. Важкі нафти за густиною ділять на три класи: з підвищеною густиною (0,885-0,92 г/см³), надважка нафта (0,92 - 0,96 г/см³), бітуміозна нафта (більше 0,96 г/см³). Загалом, відповідно до групового вуглеводневого складу (ГВС) нафт [20-21] виділяють наступні групи: метанові або парафінові (ГВС містить понад 50 % парафінів), нафтові (ГВС містить понад 50 % нафтенів), ароматичні (ГВС містить понад 50 % ароматичних вуглеводнів), нафти мішаної основи (ГВС містить різні вуглеводні із вмістом кожного не менше 25%). Отже, властивості бітумів (в тому числі і кислотні числа) будуть залежати від ГВС нафт з якої вони виготовленні.

Метою роботи було встановити кислотні числа нафтових та парафіністих бітумів та оцінити вплив виду використаного бітуму на показники якості ЛЕМС.

Основна частина

Сьогодні в Україні найбільшим постачальником бітуму є польська компанія PKN Orlen, щодо вітчизняного бітуму то його продовжує продукувати ПАТ «Укртатнафта» (Кременчуцький НПЗ). Компанія PKN Orlen для виготовлення в'язучих використовує легкі нафти, так само, як і ПАТ «Укртатнафта», яка виготовляє бітум із суміші українських нафт. Відповідно бітуми, що продукують ці два підприємства можна віднести до парафіністичних. А основним виробником нафтових бітумів у світі є шведська компанія Nynas. Саме бітуми цих компаній були використані для дослідження, зокрема, як нафтені бітуми використали Nybit E 85 та Nynas 70/100 (Nynas) та парафіністичні БНД 70/100 (ПАТ «Укртатнафта») та 70/100 (Мажейкяй, Литва), 70/100 (Плоцьк, Польща) та модифікований бітум Orbiton 45/80-55 (Плоцьк, Польща). Основні фізико-механічні показники бітумів визначали за ДСТУ EN 12591 [18] та ДСТУ 4044 [19], встановлення кислотного числа бітумів проводили за ASTM D 664-01 [20] (табл. 1).

Аналіз табл. 1 підтверджує, що парафіністичні бітуми характеризуються низькими кислотними числами, менше 1,0 мг КОН/г. Є характерним, що український бітум БНД 70/100 ПАТ «Укртатнафта» та бітуми компанії PKN Orlen виготовлені за технологією окиснення відрізняються значеннями кислотного числа більш ніж в четверо. При чому модифікований полімерами безпосередньо на нафтопереробному заводі бітум Orbiton 45/80-55 має рівний показник кислотного числа із БНД 70/100 ПАТ «Укртатнафта». Відповідно в даному випадку модифікування бітуму полімером дещо збільшує його кислотне число. Nybit E 85 виготовлений за допомогою атмосферно-вакуумної дистиляції характеризується підвищеним кислотним числом навіть серед бітумів компанії NYNAS [14].

Для виготовлення катіонних бітумних емульсій для ЛЕМС використали усі перелічені бітуми, катіоноактивний емульгатор (на основі амінів), соляну кислоту та питну воду. Емульсію виготовляли за допомогою лабораторної бітумно-емульсійної установки по типу колоїдного млина.

ЛЕМС проектували та випробовували за технічними бюлетенями International Slurry Surfacing Association [21-24]. Для підбору ЛЕМС використали гранітну щебенево-піщану суміш фракції 0-10 мм, що складалась із не реактивного відсіву 0-5 мм за показником «метилен синій» та щебеню 5-10 мм. Зерновий склад ЦПС наведений на рис. 1.

Також в склад ЛЕМС включали питну воду, портландцемент марки ПЦ ІІ/А-Ш-400 за ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [25] та регулятор розпаду ЛЕМС у вигляді 10% розчину емульгатора.

Таблиця 1

Основні фізико-механічні показники бітумів та їх кислотні числа

№ з/п	Показник	Марка бітуму, виробник					
		PKN Orlen			70/100 ПАТ «Укртатнафта»	Nynas	
		70/100 Литва	70/100 Польща	Orbiton 45/80-55		Nybit E 85	70/100
1.	Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °С, 0,1 мм	81	91	76	77	80	75
2.	Температура розм'якшеності, °С	48,0	45,6	62,6	48,8	47	45
3	Температура крихкості по Фраасу, °С	-14	-18	-14	-14	-13	-11
4.	Розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С, см	>150					
5.	Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	316	308	328	298	219	231
6.	Кислотне число, мг КОН/г	0,2	0,2	0,9	0,9	4,6	3,6

Таблиця 2

Склади бітумних емульсій

Компоненти емульсій, мас.%			
Бітум	Емульгатор	НСІ у водній фазі до рН	Вода
61,0	1,1	2,5	до 100

Оптимальні склади за критерієм розпаду підбирали у лабораторних умовах за [23] (табл. 3). На основі отриманих емульсій та інших компонентів були підібрані склади ЛЕМС за критерієм розпад суміші (табл. 4). Значення портланцементу, води та бітумної емульсії були сталими спираючись на попередні дослідження [23-25], а вміст регулятора розпаду підбрили для забезпечення часу розпаду близького до 120 с згідно з вимогами ISSA A143 [19].

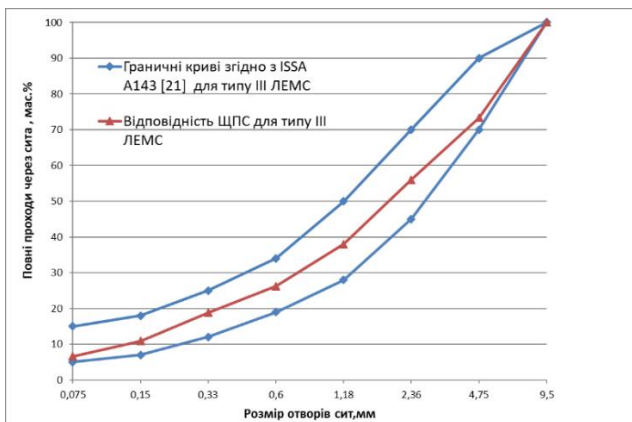


Рис. 1. Зерновий склад ЩПС для ЛЕМС

В табл.3 умисно намагались створити максимально схожі склади ЛЕМС за критерієм розпаду для виключення кількісного впливу того чи іншого компоненту на показники когезійної міцності суміші (табл. 4).

Таблиця 3

Склади ЛЕМС за критерієм mix time

Бітум		Вміст компонентів, г, понад 100 г кам'яного матеріалу				Розпад (≥ 120), с
		Цемент	Вода	Регулятор розпаду	Емульсія	
Nynas	Nybit E 85	1,0	10	1,5	14	120-150
	70/100					
PKN Orlen	70/100 (Литва)	1,0	10	1,0	14	120-150
	70/100 (Польща)					
	Orbiton 45/80-55					
70/100 ПАТ «Укртатнафта»						

Внаслідок чого різниця у складах ЛЕМС на основі нафтового бітуму Nubit E 85 і парафіністичних лише у регуляторі розпаду суміші. ЛЕМС із Nubit E потребує більше добавки регулятора через те що розпад суміші відбувається швидше за рахунок ефективності самого бітуму.

Дослідження щодо розпаду суміші та когезійної міцності проводили за температура 20°C та відносної вологості повітря 50 %. Когезійну міцність суміші встановлювали згідно з [24] використовуючи характер руйнування зразків ЛЕМС:

- Near Spin (NS) руйнування у вигляді однієї радіальної тріщини. Характеризує етап самоущільнення суміш, можливе відкриття руху з обмеженням швидкості до 40 км/год та заборонаю розвороту.

- Solid Spin (SS) характеризується відсутністю руйнувань, але можливе зміщення або видалення часток в'язучого. Характеризує етап затвердіння суміш, можливе відкриття руху без заборон.

Таблиця 4

Когезійна міцність ЛЕМС

ЛЕМС на бітумі		Характер руйнування	
		NS, год:хв	SS, год:хв
Nynas	Nybit E 85	0:15	0:25
	70/100	0:20	0:30
PKN Orlen	70/100 Литва	4:00	6:00
	70/100 Польща		
	Orbiton 45/80-55	3:20	5:10
70/100 ПАТ «Укртатнафта»		4:00	6:00

Найкращі показники когезії демонструють ЛЕМС із нафтовими бітумами Nybit E-85 та Nynas 70/100, не зважаючи на більший вміст регулятора розпаду у суміші в порівнянні із ЛЕМС на інших в'язучих. А як відомо наявність регулятора розпаду у вигляді водного розчину емульгатора знижує швидкість набору когезійної міцності суміші. Із парафіністичних бітумів найкращі показники когезії демонструє модифікований полімером бітум Orbiton 45/80-55, проте відповідно до [21,22] характер руйнування NS для зразків ЛЕМС має бути зафіксованим не пізніше ніж за 1 год. Аналізуючи, табл.1 та табл.4 встановлюємо, що кислотні числа є критерієм придатності бітумного в'язучого для ЛЕМС з огляду на її когезійну міцність.

Висновки. Кислотні числа нафтових бітумів є значно вищими ніж парафіністичних. Досліджено, що склади ЛЕМС на основі нафтових та парафіністичних бітумів відрізняються кількістю необхідного регулятор розпаду для досягнення необхідного часу розпаду (більше 120 с). ЛЕМС на нафтових бітумах потребують на 0,5 частини більше регулятор розпаду ніж парафіністичні. Не зважаючи, на необхідність включення більшої кількості регулятора розпаду швидкість набору когезійної міцності зразків ЛЕМС із нафтових бітумів у 12 та у 10 разів вища ніж у парафіністичних не модифікованих та модифікованих полімером відповідно.

Подяка. Дана робота виконана в рамках реалізації проекту «Інноваційні комплексні підходи для відновлення транспортних споруд» від Національного фонду досліджень України (грант № 2023.05/0026).

References

1. DSTU 4044:2019 Petroleum road viscous bitumen. Technical conditions
2. DSLP 45.2-00018112-069:2011. Distillation viscous petroleum road bitumen. Technical conditions
3. DSTU EN 12591:2017 Bitumen and bituminous binders. Technical requirements for road bitumen (EN 12591:2009, IDT)
4. DSTU EN 12597:2018 Bitumen and bituminous binders. Glossary of terms (EN 12597:2014, IDT)
5. DSTU 4279:2004 Petroleum bitumen. Nomenclature of quality indicators
6. Lesueur D (2009) The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification. *Adv Colloid Interface Sci* 145(1–2):42–82.
7. Bernard Eckmann, Frédéric Delfosse, Eric Jorda, Gary Schofield. (2015) Technical Challenges PAVEMENT PRESERVATION & RECYCLING SUMMIT. PPRS. PARIS
8. Guillaume Rousseau, Thierry Soulier, Bruno Marcant. (2015) Novel bituminous emulsion. Patents FR3020065A1, <https://patents.google.com/patent/FR3020065A1/en>.
9. Soliman, S., Maze, M., & Delfosse, F. (2003). Development of emulsions for micro-surfacing. In The XXIIInd PIARC World Road Congress World Road Association (PIARC).
10. Sidun, I., Vollis, O., Bidos, V., Turba, Y. (2023). Versions of Orthophosphoric Acids for Slurry Surfacing Mix. In: Blikharsky, Z. (eds) Proceedings of EcoComfort 2022. EcoComfort 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 290. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_40.
11. Sidun, Iurii & Solodky, Sergii & Vollis, Oleksiy & Gunka, Volodymyr. (2021). Cohesion of Slurry Surfacing Mix on Bitumens of Different Acid Numbers at Different Curing Temperatures. *EcoComfort 2020, LNCE 100*, pp.429-435, 2021.
12. Sidun I., Vollis O., Hidei V., Bidos V. Quick-traffic slurry surfacing mix with orthophosphoric acid // *Production Engineering Archives*. – 2021. – Vol. 27, iss. 3. – P. 191–195 <https://doi.org/10.30657/pea.2021.27.25>
13. Guerrero, Felipe & Cabrerizo-Vilchez, Miguel & Rodríguez-Valverde, Miguel A.. (2014). Bitumen spreading on calcareous aggregates at high temperature. *Journal of Materials Science*. 49. 10.1007/s10853-014-8482-y.

14. Iurii Sidun, Volodymyr Gunka, Olena Astakhova Acid numbers of naphthenic bitumen for road emulsions XII International Scientific and Technical Conference "Progress in Oil and Gas Processing and Petrochemical Industry": conference proceedings. - Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2024. - P. 90-92.
15. Delfosse, Frédéric Drouadaine, Ivan (2015) Paraffinic cold-cast bituminous material with rapid cohesion increase. Patents EP 2 907 853 B1
16. DSTU 4632:2006 Petroleum. Collection and preparation. Terms and definitions of concepts
17. Stebelska H.Y. A new look at the problem of oil classification / H.Y. Stebelska // Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University: collection of scientific works: Geology - Geography - Ecology. - 2017. - No. 46. - P. 50-56.
18. DSTU EN 12591: 2017 Bitumen and bituminous binders. Technical requirements for road bitumen (EN 12591:2009, IDT)
19. DSTU 4044: 2019 Petroleum road binders. Technical conditions
20. ASTM D664 Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration
21. ISSA A105 Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal // Design Technical Bulletin, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD, (Revised) May 2010.
22. ISSA A143 Recommended Performance Guidelines for Micro-Surfacing // Design Technical Bulletin, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD, (Revised) February 2010.
23. ISSA Technical Bulletin 113 Test Method for Determining Mix Time for Slurry Surfacing Systems, International Slurry Surfacing Association, Revised 2021
24. ISSA Technical Bulletin 139 Test Method to Determine Set and Cure Development of Slurry Surfacing Systems by Cohesion Tester, International Slurry Surfacing Association, Revised 4/2017
25. DSTU B B.2.7-46: 2010 Construction materials. Cements for general construction purposes. Technical specifications

Література

1. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови
2. COU 45.2-00018112-069:2011. Бітуми нафтові дорожні в'язкі дистиляційні. Технічні умови
3. ДСТУ EN 12591:2017 Бітум та бітумні в'язучі. Технічні вимоги до дорожніх бітумів (EN 12591:2009, IDT)
4. ДСТУ EN 12597:2018 Бітум та бітумні в'язучі. Словник термінів (EN 12597:2014, IDT)
5. ДСТУ 4279:2004 Бітуми нафтові. Номенклатура показників якості
6. Lesueur D (2009) The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification. Adv Colloid Interface Sci 145(1-2):42-82.
7. Bernard Eckmann, Frédéric Delfosse, Eric Jorda, Gary Schofield. (2015) Technical Challenges PAVEMENT PRESERVATION & RECYCLING SUMMIT. PPRS. PARIS
8. Guillaume Rousseau, Thierry Soulier, Bruno Marcant. (2015) Novel bituminous emulsion. Patents FR3020065A1, <https://patents.google.com/patent/FR3020065A1/en>.

9. Soliman, S., Maze, M., & Delfosse, F. (2003). Development of emulsions for micro-surfacing. In The XXIIInd PIARC World Road Congress World Road Association (PIARC).
10. Sidun, I., Vollis, O., Bidos, V., Turba, Y. (2023). Versions of Orthophosphoric Acids for Slurry Surfacing Mix. In: Blikharsky, Z. (eds) Proceedings of EcoComfort 2022. EcoComfort 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 290. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14141-6_40.
11. Sidun, Iurii & Solodky, Sergii & Vollis, Oleksiy & Gunka, Volodymyr. (2021). Cohesion of Slurry Surfacing Mix on Bitumens of Different Acid Numbers at Different Curing Temperatures. EcoComfort 2020, LNCE 100, pp.429-435, 2021.
12. Sidun I., Vollis O., Hidei V., Bidos V. Quick-traffic slurry surfacing mix with orthophosphoric acid // Production Engineering Archives. – 2021. – Vol. 27, Iss. 3. – P. 191–195 <https://doi.org/10.30657/pea.2021.27.25>
13. Guerrero, Felipe & Cabrerizo-Vilchez, Miguel & Rodríguez-Valverde, Miguel A.. (2014). Bitumen spreading on calcareous aggregates at high temperature. Journal of Materials Science. 49. 10.1007/s10853-014-8482-y.
14. Юрій Сідун, Володимир Гунька, Олена Астахова Кислотні числа нафтових бітумів для дорожніх емульсій XII Міжнародна науково-технічна конференція «Поступ в нафтогазо-переробній та нафтохімічній промисловості»: матеріали конференції. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2024. – С. 90–92.
15. Delfosse, Frédéric Drouadaine, Ivan (2015) Paraffinic cold-cast bituminous material with rapid cohesion increase. Patents EP 2 907 853 B1
16. ДСТУ 4632:2006 Нафта. Збирання та підготовляння. Терміни та визначення понять
17. Стебельська Г. Я. Новий погляд на проблему класифікації нафт / Г. Я. Стебельська. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна: зб. наук. праць. — Сер.: Геологія – Географія – Екологія. – 2017. – №46. – С. 50–56
18. ДСТУ EN 12591:2017 Бітум та бітумні в'язучі. Технічні вимоги до дорожніх бітумів (EN 12591:2009, IDT)
19. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови
20. ASTM D664 Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration
21. ISSA A105 Recommended Performance Guidelines for Emulsified Asphalt Slurry Seal // Design Technical Bulletin, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD, (Revised) May 2010.
22. ISSA A143 Recommended Performance Guidelines for Micro-Surfacing // Design Technical Bulletin, International Slurry Surfacing Association, Annapolis, MD, (Revised) February 2010.
23. ISSA Technical Bulletin 113 Test Method for Determining Mix Time for Slurry Surfacing Systems, International Slurry Surfacing Association, Revised 2021
24. ISSA Technical Bulletin 139 Test Method to Determine Set and Cure Development of Slurry Surfacing Systems by Cohesion Tester, International Slurry Surfacing Association, Revised 4/2017
25. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови

Вплив колійності на покритті автомобільної дороги на безпеку руху під час виконання маневрів автомобілями

Influence of rules on the road surface on traffic safety during maneuvers by vehicles

Смолянюк Р.В., к.т.н., доц., завідувач кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Біруля (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків)

Smolianiuk R.V., Ph.D., assoc., Head of the Department of Construction and Operation of Motor Roads named after O.K. Birulia (Kharkiv National Automobile and Road University, Kharkiv)

В результаті впливу різних чинників на автомобільних дорогах утворюються колії. Колії не тільки погіршують естетичний вигляд покриття дороги, а й становлять небезпеку для автомобілів. Очевидно, що під час опадів в коліях накопичується вода, що може привести до аквапланування і втрати стійкості автомобілем. На сухих покриттях колійність також може становити небезпеку, коли автомобіль виїжджає зі своєї смуги для виконання маневру обгону чи іншого маневру. Колії призводять до додаткових коливань підвіски, розхитування кузова, втрати контакту колеса з покриттям, що негативно позначається на безпеці руху. В статті наведено результати дослідження щодо оцінки такого впливу. Також наведено рекомендації щодо врахування цього впливу.

The influence of different factors leads to rut formation on roadways. Ruts not only diminish the aesthetic appearance of the pavement but also cause danger to vehicles. It is obvious that during precipitation water accumulates in ruts potentially leading to hydroplaning and loss of vehicle stability. On dry pavements, rutting can also be hazardous when a vehicle leaves its lane to perform an overtaking maneuver or other maneuvers. Ruts cause additional suspension oscillations, body sway and loss of wheel contact with the pavement, which negatively affects traffic safety. In 2022, Ukraine introduced rut depth requirements for roads in operation for the first time. However, it must be understood that non-compliance with these regulatory standards does not immediately result in resolving such issues through repair work. The reasons are evident – a significant lack of funding currently exists and is likely to persist for quite some time. From the moment of problem identification until its resolution, the road will remain in operation. This article presents the results of a research evaluating the effect of rut-affected pavement on a vehicle performing a maneuver. For this purpose, pavement models with varying rut parameters were created within the following ranges: rut depth from 0 mm to 100 mm, rut width from 300 mm to 1500 mm and rut base from 1700 mm to 2100 mm. The cross-slope of the roadway was set at 25%, with a dual-slope cross-section profile. Surface modeling was conducted using RutGenerator software developed by

KhNADU. The Kristy model was chosen to calculate the parameters of lane-changing maneuvers as it provides the most accurate representation for modern vehicles. The primary distinction of this methodology from Illarionov's approach lies in limiting the maximum lateral lane displacement based on the vehicle's sideslip condition, rather than its overturning condition, which better aligns with the characteristics of modern vehicles. Using RutGenerator software, vehicle trajectory simulations during a lane-change maneuver were carried out for speed ranges from 50 km/h to 130 km/h. Basing on the calculated trajectories, pavement profiles along the vehicle's path during the maneuver were constructed. The resulting set of profiles was analyzed using the ProVal 3.51 software package developed by The Transtec Group. The developed methodology can be used to plan measures to ensure road traffic safety in areas with rutting. Such measures may include speed limits, restrictions on overtaking and others.

Ключові слова: колійність, аквапланування, маневри автомобілів, Міжнародний Індекс Рівності.

Keywords: rut, hydroplaning, vehicle maneuvers, International Roughness Index.

Під впливом цілої низки чинників на проїзній частині автомобільних доріг а, особливо, на нежорстких дорожніх одягах, утворюються деформації відомі як колії [1]. На більшості доріг України колія присутня в тій чи іншій мірі (рис. 1).



Рис. 1. Автомобільна дорога Київ – Харків – Довжанський км 359 (до проведення ремонтних робіт)

Як показують дослідження авторів найбільш значні деформації дорожнього покриття у поперечному напрямку утворюються саме на дорогах з великою інтенсивністю руху, якими є магістральні дороги. Колійність на дорогах не

тільки не тільки знижує естетичний вигляд покриття, а й становить реальну небезпеку з наступних причин:

– якщо поверхня є водонепроникною, у колії збирається вода та можливе виникнення явища аквапланування [2] коліс автомобіля, при якому ускладнюється можливість його гальмування (рис. 2);



Рис. 2. Колійність на автомобільній дорозі II категорії, фото зроблене через 7 годин після закінчення дощу

– із збільшенням глибини колії, ускладнюється управління транспортним засобом, що становить додаткову небезпеку;

– в зимовий період року при переході температури вище нуля в смузі накату збирається вода, а при зворотному циклі вона замерзає і таким чином виникає велика небезпека руху автомобільного транспорту.

Виходячи з вище наведеного, під час обґрунтування максимально допустимої глибини колії на автомобільних дорогах слід використовувати наступні основні критерії забезпечення безпечних та комфортних умов:

1. максимальне зниження або недопущення ймовірності виникнення ефекту аквапланування в допустимому діапазоні швидкостей;

2. недопущення ймовірності втрати стійкості автомобілем під час виконання маневрів (обгону, зміни смуги руху тощо);

3. нормування рівня динамічного впливу на транспортний засіб та водія під час виконанні маневрів в залежності від вимог щодо комфорту руху;

4. врахування особливостей утримання автомобільних доріг в зимовий період.

Вітчизняні та закордонні вчені тривалий час займаються проблемою оцінки впливу водної плівки, що знаходиться на покритті, на умови руху автомобіля [2-5]. В результаті проведених теоретичних і експериментальних досліджень були визначені умови виникнення аквапланування, та визначено ряд емпіричних залежностей швидкості, при якій виникає аквапланування; визначено залежності глибини стоку води від шорсткості, виміряні значення коефіцієнтів зчеплення при різних швидкостях і різних товщинах плівки води.

Основним результатом проведених досліджень стало обґрунтування значень поперечного ухилу, що використовується у чинних нормативних документах щодо проектування автомобільних доріг [6].

В Україні в 2022 вперше було введено вимоги до максимального значення глибини колії для доріг, що знаходять в експлуатації [7]. В той самий час слід розуміти, що невідповідність дороги вимогам нормативних документів не призведе одразу до усунення цих проблем шляхом виконання ремонтних робіт. Причини цьому очевидні – істотний брак коштів, який є зараз і, очевидно, буде досить тривалий час. На весь час з моменту виявлення проблеми і до моменту її усунення дорога буде знаходитися в експлуатації. Тому задачею дорожніх служб буде забезпечення безпеки руху на таких ділянках. Важливим є врахування всіх проблем, які виникають внаслідок наявності колій на покритті.

Проблеми оцінки стійкості автомобіля під час виконання маневрів на покриттях уражених колійністю, приділяється значно менше уваги ніж акваплануванню. Переїзд колесом автомобіля випору між коліями і заїзд в сусідню колію, з переїздом на сусідню смугу руху, яка також уражена колійністю будуть викликати додатковий динамічний вплив на елементи підвіски автомобіля. Для оцінки цього впливу виконано моделювання поверхні покриття, ураженого колійністю, зі зміною параметрів колії в наступних межах:

- глибина колії від 0 мм до 100 мм;
- ширина колії від 300 мм до 1500 мм;
- база колії від 1700 мм до 2100 мм;

Поперечний ухил проїзної частини прийнято 25 %, поперечний профіль – двох скатний. Моделювання поверхні відбувалось за допомогою програмного забезпечення RutGenerator розробленого в ХНАДУ. Графічне відображення моделі поверхні покриття ураженої колією наведено на рисунку 3.

Відповідно до теоретичних передумов, викладених вище, було здійснено розрахунок траєкторій руху автомобіля під час виконання маневрів. Траєкторія, що отримана для конкретного маневру, накладається на модель дорожнього покриття. Перетин траєкторії з моделлю поверхні створює лінію, яка є розрахунковим профілем — це лінія, що визначає профіль, який буде проходити під колесом автомобіля під час маневру.

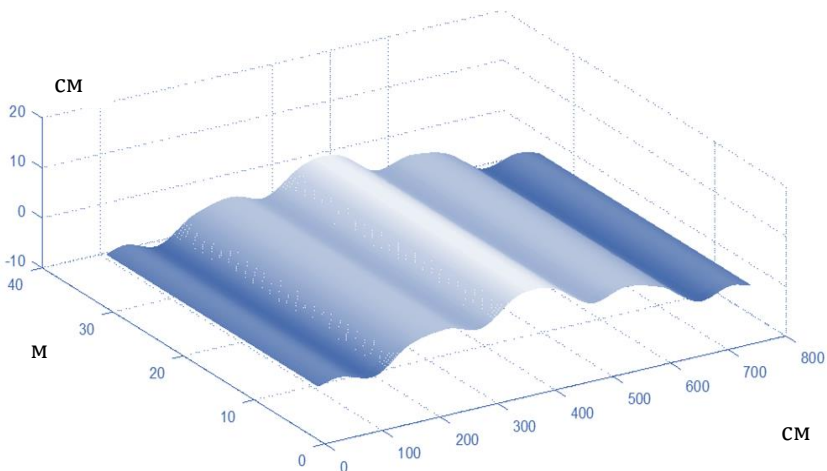


Рис. 3. Модель ділянки покриття довжиною 40 м з коліями глибиною 30 мм

Для розрахунку параметрів маневру зміни смуги руху обрано модель Крісті, оскільки вона є найбільш точною для сучасних транспортних засобів. Основною відмінністю цієї методики від методики Ілларіонова є обмеження максимального поперечного зміщення смуги руху за умови бічного зносу автомобіля, а не за умови його опрокидування, що краще відповідає характеристикам сучасних транспортних засобів.

Згідно з обраною моделлю для маневру зміни смуги руху, розраховується граничний радіус повороту зовнішньої точки автомобіля за умови зчеплення коліс з дорогою:

$$R_{\text{пр}} = \frac{V_a^2}{127 \cdot \varphi} + 0,5 \cdot B_a, \quad (1)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення при бічному ковзанні, 0,8;

V_a – швидкість транспортного засобу, км/год;

B_a – габаритна ширина транспортного засобу, 1,7 м.

Максимальне поперечне зміщення розраховується за залежністю (2):

$$y = 2 \cdot R_{\text{пр}} - B_a - \sqrt{(2 \cdot R_{\text{пр}} - B_a)^2 - S_M^2}, \quad (2)$$

де S_M – відстань, подолана за час маневру.

За залежністю 2 відстань, необхідну для виконання безпечного маневру зміни смуги руху можна розрахувати за залежністю (3):

$$S_M = \sqrt{2 \cdot (2 \cdot R_{\text{пр}} - B_a) \cdot y - y^2}. \quad (3)$$

З урахуванням наведеної залежності за допомогою програмного забезпечення RutGenerator було здійснено моделювання траєкторій руху транспортного засобу під час маневру «зміна смуги руху» в діапазоні швидкостей від 50 км/год до 130 км/год. На основі розрахованих траєкторій побудовано профілі поверхні дорожнього покриття по шляху руху транспортного засобу під час виконання маневру (рис. 4). Отримана сукупність профілів була проаналізована з використанням програмного комплексу «ProVal 3.51» розробленого «The Transtec group» [8].

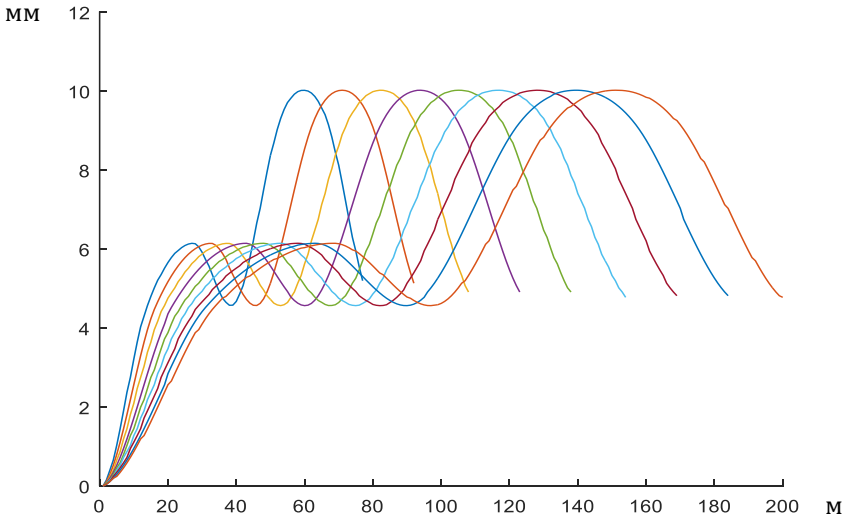


Рис. 4. Профілі моделі покриття дороги при виконанні маневрів з різними швидкостями для правого колеса легкового автомобіля

Вказане програмне забезпечення знаходиться у вільному доступі. Розрахунок полягає у моделюванні проїзду автомобіля зі сталими стандартизованими характеристиками підвіски (т.з. «золотий автомобіль») по заданому профілю з реєстрацією параметрів колювання підресореної маси (кузова автомобіля) відносно непідресореної [9-10].

Серед основних параметрів, що підлягають розрахунку: сумарне колювання та графік переміщення протягом проїзду ділянки, що оцінюється.

Використання даних моделювання дає можливість об'єктивно оцінити стан ділянки за рівністю та локалізувати окремі нерівності (рис. 5).

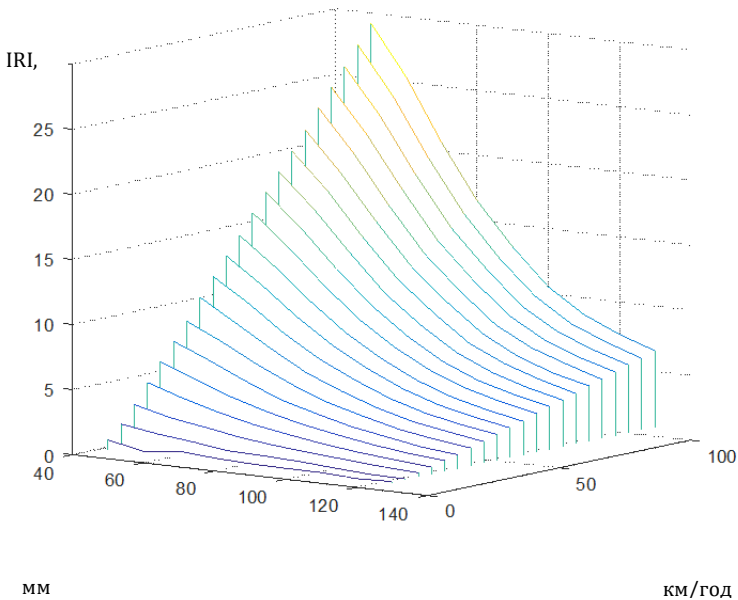


Рис. 5. Залежності оцінки побудованих траєкторії руху за показником IRI від швидкості виконання маневру

Наведені закономірності стосуються обмеження рівня динамічного впливу на автомобіль, який виникає при його русі по спотвореному колійності поперечному профілю. Тому термін «глибина колії» в цьому контексті визначається, в першу чергу, як максимальне перевищення поперечного профілю, яке автомобіль долає під час маневру, тобто різниця між відмітками низу колії та верхньою точкою її лівого гребня.

За наведеними розрахунками можна зробити наступні висновки.

При виконанні маневру «обгін» під кутом 2° на покритті з коліями глибиною 50 мм, автомобіль буде отримувати навантаження на елементи підвіски, еквівалентне навантаженню від покриття з нерівністю 2,5 м/км (за показником IRI). Така рівність не відповідає граничним значенням, встановленим для доріг вищої категорії – 2 см/км. Обгін під кутом 2° можливий лише за умов вільного руху транспортного потоку, що є дуже рідким. Зазвичай кут обгону складає не менш 5° . При такому куті обгін на покритті, ураженому коліями глибиною 50 мм буде відповідати руху по покриттю з рівністю 7 см/км (за IRI). Покриття з такою нерівністю

потребують негайного ремонту. Безпечна швидкість руху на таких покриттях складає – 80 км/год.

Наведену методіку можна використовувати для планування заходів щодо забезпечення безпеки дорожнього руху на ділянках, де присутні колії. Такими заходами можуть бути: обмеження швидкості руху, введення обмеження на обгін, тощо.

References

- 1.Khymeryk T.Iu., Kraiushkina K.V., Bieliatynskyi A.O. Likvidatsiia koliinosti – zasib pidvyshchennia dohovichnosti dorozhnoho odiahu. Zbirnyk naukovykh prats. Seriia: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo. PoINTU. 2016. Vyp. 1 (46). S. 263 – 270.
2. Smolianiuk R.V. Otsinka ekspluatatsiinoho stanu dorozhnikh pokryttiv na osnovi vdoskonalennia metodiv vymiriuvannia rivnosti ta zchipykh yakostei: dys. ... kandydata tekhn. nauk: 26.10.05 / Smolianiuk Roman Volodymyrovych. Kh., 2005. – 157 s.
- 3.Congzhen, Liu & Gao, Chen & Hongzhu, Liu & Qiang, Ma & Chengwei, Xu & Hui, Meng & Guol, Wang. (2024). Investigating Tire Ground Contact Mechanics Under Partial Hydroplaning Conditions: A Multivariate Analysis Approach. Insights of Automation in Manufacturing. 1. 106-117. 10.59782/iam.v1i1.212.
- 4.Vilsan, Alexandru & Sandu, Corina. (2023). Hydroplaning of Tires: A Review of Numerical Modeling and Novel Sensing Methods. 10.1115/DETC2023-116314.
- 5.Lee, Hyung & Carvajal, Mateo & Holzschuher, Charles & Choubane, Bouzid. (2021). FDOT's Enhanced Hydroplaning Prediction Tool. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board. 2675. 10.1177/03611981211011479.
6. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo. [Chynnyi vid 2016-04-01]. Vyd. ofits. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2015. 112 s.
7. DSTU 3587:2022 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Avtomobilni dorohy. Vymohy do ekspluatatsiinoho stanu. [Chynnyi vid 2022-12-01]. Vyd. ofits. Kyiv : DP «UkrNDNTs», 2022. 31 s.
8. Ofitsiyniy sait kompanii Transtec [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.thetranstecgroup.com/>, dostup do informatsiinoho resursu avtoryzatsii ne potrebuie. – Nazva z ekranu.
- 9.Guerra Huaman, Kevin & Raymundo, Carlos & Silvera, Manuel & Zapata, Gianpierre & Moguerza, Javier. (2024). Pothole detection and International Roughness Index (IRI) calculation using ATVs for road monitoring. Scientific Reports. 14. 10.1038/s41598-024-70936-z.
- 10.Guerra Huaman, Kevin & Raymundo, Carlos & Silvera, Manuel & Zapata, Gianpierre. (2024). Road condition monitoring by IRI using sensors implemented on an ATV. 10.18687/LACCEI2024.1.1.1887.

Література

1. Химерик Т.Ю., Краюшкіна К.В., Белятинський А.О. Ліквідація колійності – засіб підвищення довговічності дорожнього одягу. Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. ПолНТУ. 2016. Вип. 1 (46). С. 263 – 270.
2. Смолянюк Р.В. Оцінка експлуатаційного стану дорожніх покриттів на основі вдосконалення методів вимірювання рівності та зчпних якостей: дис. ... кандидата техн. наук: 26.10.05 / Смолянюк Роман Володимирович. Х., 2005. – 157 с.
3. Congzhen, Liu & Gao, Chen & Hongzhu, Liu & Qiang, Ma & Chengwei, Xu & Hui, Meng & Guol, Wang. (2024). Investigating Tire Ground Contact Mechanics Under Partial Hydroplaning Conditions: A Multivariate Analysis Approach. Insights of Automation in Manufacturing. 1. 106-117. 10.59782/iam.v1i1.212.
4. Vilsan, Alexandru & Sandu, Corina. (2023). Hydroplaning of Tires: A Review of Numerical Modeling and Novel Sensing Methods. 10.1115/DETC2023-116314.
5. Lee, Hyung & Carvajal, Mateo & Holzschuher, Charles & Choubane, Bouzid. (2021). FDOT's Enhanced Hydroplaning Prediction Tool. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board. 2675. 10.1177/03611981211011479.
6. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2016-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015. 112 с.
7. ДСТУ 3587:2022 Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги. Вимоги до експлуатаційного стану. [Чинний від 2022-12-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 31 с.
8. Офіційний сайт компанії Transtec [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.thetranstecgroup.com/>, доступ до інформаційного ресурсу авторизації не потребує. – Назва з екрану.
9. Guerra Huaman, Kevin & Raymundo, Carlos & Silvera, Manuel & Zapata, Gianpierre & Moguerza, Javier. (2024). Pothole detection and International Roughness Index (IRI) calculation using ATVs for road monitoring. Scientific Reports. 14. 10.1038/s41598-024-70936-z.
10. Guerra Huaman, Kevin & Raymundo, Carlos & Silvera, Manuel & Zapata, Gianpierre. (2024). Road condition monitoring by IRI using sensors implemented on an ATV. 10.18687/LACCEI2024.1.1.1887.

Визначення місця розміщення павільйону та рекомендації з проектування зупинок маршрутного пасажирського транспорту

Determining the Location of the Pavilion and Recommendations for Designing Stops for Route-Based Public Transport

Тімкіна С.Ю., ст. викл. (Національний авіаційний університет, Київ)

Timkina S.Yu., senior lecturer (National Aviation University, Kyiv)

Стаття присвячена аналізу та розробці рекомендації щодо оптимального розміщення павільйонів і проектування зупинок маршрутного пасажирського транспорту. Дослідження показали, що місце розташування павільйону суттєво впливає на ефективність використання зупинкового майданчика, пропускну спроможність зупинок та зручність обслуговування пасажирів. Проаналізовано взаємодію пішоходів і пасажирів, що очікують транспорт, з транспортними засобами, які прибувають на зупинку.

На основі експериментальних даних встановлено, що транспортний засіб, як правило, зупиняється навпроти павільйону, незалежно від його місця розташування. Це спричиняє нерівномірне використання довжини зупинкового майданчика, особливо за відсутності заїзної кишені.

The article examines and provides recommendations for the optimal placement of pavilions and the design of stops for route-based public transport. The research reveals that the positioning of pavilions has a significant impact on the effective utilization of the stopping platform, the capacity of stops, and the ease of passenger service. The interaction between pedestrians and passengers waiting for transportation and vehicles arriving at the stop is looked at.

Experimental data showed that vehicles usually stop opposite the pavilion, regardless of location. It leads to uneven use of the stopping platform, particularly when a pocket is absent. A formula is suggested to determine the optimal stopping point of the vehicle based on the location of the pavilion. These results demonstrate a strong linear relationship between these parameters (the coefficient of determination is 0.8962).

It's best to put the pavilion 3/4 of a mile away from the starting point of the stopping platform to make the most of its length. Furthermore, the geometric parameters of the stops are examined, particularly the width of the boarding platform, which should be determined considering passenger density and waiting time. We figured out the optimal parameters for pockets and the number of parking spaces for urban streets with varying traffic intensities.

The findings provide recommendations for the engineering and planning organization of route-based transport stops, with the aim of enhancing their operational efficacy and enhancing passenger service quality.

Ключові слова: зупинка маршрутного транспорту, павільйон, зупинковий майданчик, планувальні рішення, пропускна спроможність, пасажирський транспорт, ефективність функціонування.

Keywords: route-based transport stop, pavilion, stopping platform, planning solutions, capacity, passenger transport, operational efficiency.

Планування та організація зупинок маршрутного транспорту є важливими аспектами для забезпечення ефективної роботи міської транспортної мережі. Одним із основних чинників, який впливає на ефективність роботи зупинок маршрутного транспорту, є правильне розташування павільйону на зупинковому майданчику [1]. Взаємодія пасажирів, що очікують на транспорт, з пішоходами, що рухаються по тротуару, може призводити до виникнення перешкод і створювати незручності для обох груп. Правильне розташування павільйону на зупинковому майданчику має велике значення для зручності пасажирів, а також для забезпечення безпеки руху транспорту та пішоходів [2].

Дослідження, проведене у роботі [3], підтверджує, що часто водії громадського транспорту зупиняються навпроти павільйону, навіть якщо він розташований на початку чи в кінці зупинки. Це зумовлено тим, що більшість пасажирів, які чекають на транспорт, знаходяться біля павільйону або безпосередньо в ньому. Зупинка транспорту в безпосередній близькості до павільйону зменшує відстань, яку потрібно пройти пасажиром для входу в автобус чи тролейбус, що підвищує якість обслуговування.

Експеримент [3] був спрямований на встановлення місця (точки) зупинки пасажирського транспортного засобу (L_{MT}) відповідно до місця розташування павільйону ($L_{МПЗ}$) на зупинці маршрутного транспорту (рис.1).

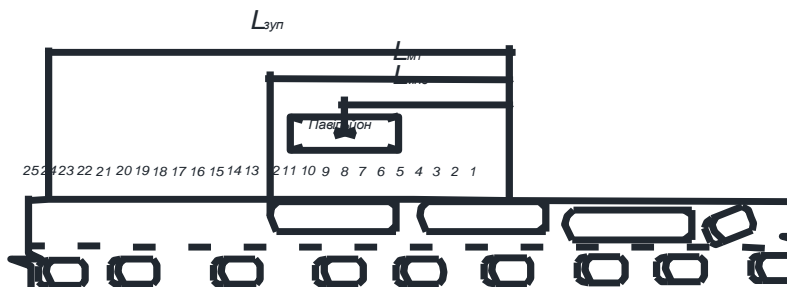


Рис. 1. Розміщення павільйону на зупинці маршрутного транспорту

Місце розташування павільйону визначалося як відстань від початку зупинки до середини павільйону. Точка зупинки пасажирського

транспортного засобу визначалася як відстань від початку зупинки до переднього бампера автобуса або тролейбуса [3].

В рамках проведеного експерименту [3] було досліджено, як точка зупинки транспортного засобу залежить від місця розташування павільйону (рис. 2). Отримані дані [3] показали наявність лінійного зв'язку [5] між цими параметрами, що підтверджено високим коефіцієнтом детермінації (0,8962). Цей результат дозволяє сформулювати чітке математичне рівняння (1) для визначення точного місця зупинки транспорту залежно від розташування павільйону.

$$L_{mt} = 0,8262L_{mz} + 1,1723, \quad (1)$$

де L_{mz} – місце розміщення павільйону на зупинці маршрутного транспорту, м; L_{mt} – точка зупинки маршрутного пасажирського транспортного засобу, м.

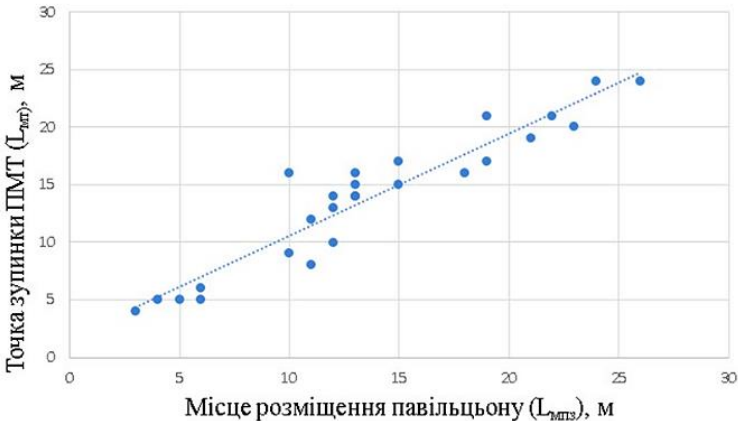


Рис. 2. Залежність точки зупинки пасажирського транспортного засобу від місця розміщення павільйону

Якщо павільйон розміщений у неналежному місці – наприклад, на початку зупинкового майданчика або в його середині без наявності заїзної кишені, це може призводити до утворення черг. Зупинка першого транспортного засобу перед павільйоном може блокувати шлях для наступних автобусів або тролейбусів, навіть якщо на зупинці є вільне місце для їх зупинки. Це, своєю чергою, значно зменшує пропускну здатність зупинки та збільшує час, що витрачається на посадку і висадку пасажирів.

У зв'язку з цим, було рекомендовано розташовувати павільйон на відстані 3/4 від початку зупинкового майданчика. Така локація дозволяє

найбільш ефективно використовувати всю довжину майданчика і запобігти заторам, які можуть виникнути через неправильне розміщення павільйону [4, 6].

При проєктуванні зупинок маршрутного транспорту важливо враховувати не тільки місце розташування павільйону, але й інші геометричні характеристики зупинкових майданчиків [6]. Перш за все, необхідно визначити ширину посадкового майданчика, яка має відповідати пасажиропотоку та кількості осіб, що чекають на транспорт. Ширина майданчика повинна забезпечувати комфортне перебування пасажирів і не створювати перешкод для пішоходів [2].

Згідно з нормативними вимогами [4], посадковий майданчик має бути достатньо просторим для обслуговування необхідної кількості пасажирів, що забезпечить ефективне використання його площі навіть за високої завантаженості зупинки. Проте, найбільш важливим фактором при визначенні геометрії майданчика є розрахункова щільність пасажирів, яка в залежності від часу доби та дня тижня може значно коливатися. Зокрема, для міських зупинок з високим пасажиропотоком потрібно враховувати не лише максимальну кількість пасажирів, які очікують, але й інтервал між транспортними засобами, що прибувають.

Щодо параметрів зупинок на вулицях з інтенсивним рухом транспорту, зокрема для тих вулиць, що мають кілька смуг руху в одному напрямку, рекомендовано проєктувати заїзні кишені для зупинок. Якщо інтенсивність руху на крайній правій смузі перевищує 400 автомобілів на годину, а інтенсивність руху маршрутного транспорту становить від 17 до 71 одиниць на годину, доцільно влаштувати заїзну кишеню для уникнення заторів і зменшення часу, витраченого на обслуговування пасажирів.

Додатково, проєктуючи зупинки маршрутного транспорту, потрібно враховувати такі параметри, як кількість місць для стоянки транспортних засобів на зупинці. Для зупинок, де є заїзні кишені, максимально дозволена кількість місць для стоянки повинна складати 4 одиниці. В разі відсутності заїзної кишені, кількість місць має бути обмежена до трьох.

Розрахунок ефективної довжини зупинкового майданчика також є важливим етапом у процесі проєктування. За допомогою формули, що враховує інтенсивність пасажиропотоку і кількість транспортних засобів, що обслуговуються на зупинці, можна визначити точну довжину майданчика для кожної конкретної зупинки. Це дозволяє значно підвищити ефективність зупинок та зменшити затримки транспорту.

Враховуючи відповідні вимоги та маючи необхідні розрахункові параметри, можна визначити ефективну довжину зупинкового майданчика для пасажирських транспортних засобів одного виду:

$$L_{\text{еф.зуп}} = M_m \times l_{\text{птз}} + l_d \times (M_m - 1), \quad (2)$$

де $L_{\text{еф.зуп}}$ – ефективна довжина зупинкового майданчика на міській зупинці маршрутного транспорту, м; M_m – число місць на зупинці для одночасного обслуговування маршрутного транспорту, од; $l_{\text{рпгтз}}$ – довжина розрахункового пасажирського транспортного засобу, м; l_d – відстань між двома пасажирськими транспортним транспортними засобами під час їхньої стоянки, м.

Відповідні розрахунки також можна виконати враховуючи умови, що зупинка маршрутного транспорту буде обслуговувати пасажирський транспорт різних видів. Тоді потрібно користуватися формулою:

$$L_{\text{еф.зуп}} = M_m \times \frac{\sum l_{\text{рпгтз},i}}{n} + l_d \times (M_m - 1), \quad (3)$$

де $l_{\text{рпгтз},i}$ – довжина розрахункового пасажирського транспортного засобу, що входить у i -ту комбінацію, м; n – кількість можливих видів пасажирських транспортних засобів, які обслуговує одна зупинка, од; M_m – число місць на зупинці для одночасного обслуговування маршрутного транспорту, од.

Враховуючи індивідуальні та функціональні особливості зупинки, можна визначити оптимальну кількість місць для стоянки пасажирського транспорту, яку слід запроєктувати на зупинці.

$$M_m = \frac{N_{\text{мтз}} \times t_{\text{заг.вит}}}{3600}, \quad (4)$$

де M_m – число місць на зупинці для одночасного обслуговування маршрутного транспорту, од; $N_{\text{мтз}}$ – інтенсивність руху пасажирського транспорту через зупинку маршрутного транспорту, од/год; $t_{\text{заг.вит}}$ – середній показник загальний витрат часу на перебування пасажирського транспортного засобу на ЗМТ, с.

Тоді,

$$t_{\text{заг.вит}} = t_n + t_{\text{вд}} + t_{\text{зд}} + t_o + t_{\text{ст}} + t_{\text{конф}} + t_{\text{очік}}, \quad (5)$$

де t_n – час, який витрачається ПТЗ на заїзд до зупинкового майданчика, с; $t_{\text{вд}}$ – час затрачений на відчинення дверей, с; $t_{\text{зд}}$ – час затрачений на зачинення дверей, с; t_o – час, який витрачається на відїзд від зупинки, с; $t_{\text{ст}}$ – час стоянки транспортного засобу на ЗМТ витрачений на вхід та вихід пасажирів, с; $t_{\text{конф}}$ – втрати часу пасажирським транспортом (час простою), які спричинені конфліктністю між ними, с; $t_{\text{очік}}$ – час очікування пасажирів на зупинці, с.

Основні висновки, отримані в результаті досліджень, дозволяють сформулювати низку рекомендацій щодо проєктування зупинок маршрутного транспорту. Однією з ключових є необхідність правильного

визначення місця для павільйону, яке повинно розміщуватись на відстані 3/4 від початку зупинкового майданчика. Це дозволить максимально ефективно використовувати простір і запобігти виникненню заторів на зупинках.

Розроблено методику для визначення оптимальної кількості місць для стоянки транспортних засобів, що обслуговують зупинку, враховуючи різні фактори, такі як пасажиропотік, типи транспортних засобів і інтенсивність руху. Всі ці рекомендації спрямовані на поліпшення якості обслуговування пасажирів та підвищення ефективності функціонування зупинок маршрутного транспорту.

References

1. Hudz' V. M. *Planuvannya zupynok marshrutnoho transportu na mahistral'nykh vulytsyakh mist*. Kyiv: Transport Ukrainy, 2018. – 320 p.
2. Sydorenko O. S. *Inzhenerno-planival'ni rishennya dlya zabezpechennya efektyvnosti roboty zupynok marshrutnoho transportu*. Visnyk Natsional'noho aviatsiynoho universytetu, 2016. – Vyp. 3. – p. 45–52.
3. Timkina S. YU. *Inzhenerno-planival'na orhanizatsiya zupynok marshrutnoho transportu na mahistral'nykh vulytsyakh krupnykh mist: dys. ... kand. tekhn. nauk.* – Kyiv, 2024.
4. DBN V.2.3-4:2015. *Proyektuvannya vulychno-dorozhnikh merezh*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2015. – 100 p.
5. Ivanova T. M. *Otsinka vplyvu infrastruktury zupynok na pasazhyropotik ta bezpeku dorozhn'oho rukhu*. Transportnyy menedzhment, 2017. – T. 2, № 6. – p. 67-74.
6. Tarasova I. V. *Analiz parametriv zupynok hromads'koho transportu v umovakh vysokoho pasazhyropotoku*. Transportni tekhnolohiyi, 2020. – T. 1, № 22. – p. 32-38.

Література

1. Гудзь В. М. *Планування зупинок маршрутного транспорту на магістральних вулицях міст*. Київ: Транспорт України, 2018. – 320 с.
2. Сидоренко О. С. *Інженерно-планувальні рішення для забезпечення ефективності роботи зупинок маршрутного транспорту*. Вісник Національного авіаційного університету, 2016. – Вип. 3. – С. 45–52.
3. Тімкіна С. Ю. *Інженерно-планувальна організація зупинок маршрутного транспорту на магістральних вулицях крупних міст: дис. ... канд. техн. наук.* – Київ, 2024.
4. ДБН V.2.3-4:2015. *Проектування вулично-дорожніх мереж*. Київ: Мінрегіонбуд України, 2015. – 100 с.
5. Іванова Т. М. *Оцінка впливу інфраструктури зупинок на пасажиропотік та безпеку дорожнього руху*. Транспортний менеджмент, 2017. – Т. 2, № 6. – С. 67-74.
6. Тарасова І. В. *Аналіз параметрів зупинок громадського транспорту в умовах високого пасажиропотоку*. Транспортні технології, 2020. – Т. 1, № 22. – С. 32-38.

Підвищення довговічності дорожнього одягу на мостових спорудах за рахунок використання тонкошарових покриттів

Increasing the durability of pavement on bridge structures through the use of thin-layer coatings

Федоренко О.В., генеральний директор (комунальна корпорація «Київавтодор», Київ)

Fedorenko O.V., General Director (Kyivavtodor Municipal Corporation, Kyiv)

Проведено випробування асфальтобетонних сумішей на основі метилметакрилатної смоли із різним видом заповнювача (пісок, відсів). Основним завданням було визначення фізико – механічних та терморезологічних властивостей досліджуваних зразків. Отримані результати проведених досліджень свідчать про ефективність використання асфальтобетонних сумішей на основі метилметакрилату для влаштування в якості тонкошарового покриття на автодорожніх мостах.

Road pavement is a key structural element for ensuring the safety and comfort of vehicles, in particular due to its flatness, low noise level and roughness, which guarantees the proper coefficient of adhesion to the tires of vehicles while driving. However, it should be noted that during operation, such a coating is easily exposed to negative factors that lead to its premature deformation.

In today's conditions of intensive development of transport infrastructure, the use of materials capable of ensuring the durability and reliability of pavements on roads and bridges is of particular importance. One of these materials is methyl methacrylate-based mixtures, which are becoming increasingly popular due to their exceptional performance properties. Methyl methacrylate mixtures provide high wear resistance, chemical resistance, fast curing and the ability to be used in various climatic zones. They also demonstrate excellent adhesion to various types of surfaces, making them particularly valuable for repairing and overlaying bridges and other complex structures.

However, in order to maximize the potential of methyl methacrylate-based materials, it is necessary to comply with the requirements for the quality of the initial components and the technology of manufacturing mixtures. Inadequate quality of raw materials or violation of technological processes can lead to deterioration of the pavement performance, its premature wear and the need for frequent repairs.

Asphalt concrete mixtures based on methyl methacrylate resin with different types of aggregate (sand, screenings) were tested. The main task was to determine the physical, mechanical and thermo-rheological properties of the tested samples. The obtained results of the studies indicate the effectiveness of the use of asphalt mixtures based on methyl methacrylate for use as a thin-layer pavement on road bridges.

Ключові слова: автодорожній міст, довговічність, асфальтобетонна суміш, дорожнє покриття, метилметакрилат

Keywords: road bridge, durability, asphalt mix, road surface, methyl methacrylate

Постановка проблеми. В умовах інтенсивного розвитку дорожнього будівництва та високих вимог до якості дорожніх покриттів, важливим аспектом є забезпечення довговічності та міцності асфальтобетонних сумішей. Одним із можливих шляхів покращення експлуатаційних характеристик асфальтобетонних покриттів є використання різноманітних модифікаторів, які можуть змінювати фізико-хімічні властивості матеріалів. Одним з таких модифікаторів є метилметакрилат – органічна сполука, що відома своєю здатністю зміцнювати структуру матеріалів за рахунок полімерної реакції та утворення високоміцних полімерних з'єднань.

На сьогоднішній день питання впливу метилметакрилату на властивості асфальтобетонних сумішей залишається недостатньо вивченим. Відомо, що використання метилметакрилату може потенційно покращити такі характеристики, як міцність на стиск, зносостійкість та тріщиностійкість. Однак відсутність детальних досліджень щодо механізмів його впливу на асфальтобетон та його довгострокову ефективність в умовах різних кліматичних і механічних навантажень створює невизначеність щодо доцільності застосування цього матеріалу в дорожньому будівництві.

Тому виникає необхідність у проведенні систематичних випробувань асфальтобетонних зразків, модифікованих метилметакрилатом, з метою визначення оптимальних пропорцій, які забезпечать підвищення їх експлуатаційних характеристик. Вивчення впливу метилметакрилату на структурні та механічні властивості асфальтобетону дозволить оцінити перспективи використання цього матеріалу в дорожньому будівництві та сприятиме вдосконаленню технологій виробництва асфальтобетонних сумішей.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Однією з головних проблем при розрахунку покриттів на основі метакрилатів для мостового полотна, крім обмеженості методики розрахунку, є обмежений набір характеристик матеріалів. Існуючі методики розрахунку дорожнього одягу на мостах здебільшого зводяться до використання плоских розрахункових схем, наприклад, може розглядатися робота між поперечними балками поздовжнього ребра з дорожнім одягом, хоча роботи деяких вчених свідчать

про те, що для дорожнього одягу більш критична робота поперек прогонувої будови [1 — 8].

При негативних температурах дорожній одяг стає крихким, тому можливо вести розрахунок в пружній стадії. За кордоном в силу більш ефективного фінансування наукових досліджень перевага віддається не теоретичним, а експериментальним дослідженням різних конструктивних рішень дорожніх одягів, як на автомобільних дорогах, так і на мостових спорудах (на спеціальних полігонах) [6 — 8].

Перші тонкі покриття на мостах, влаштовані в 1950-х роках, представляли собою один шар епоксидної смоли, нанесений на бетонне покриття та посипаний дрібним заповнювачем. У 1960-х і 1970-х роках почали використовувати поліефірні смоли та метилметакрилати. Вперше покриття на основі метилметакрилату було застосовано в 1976 році на трасі 44 в Гранд-Рапідс, штат Мічиган (США). Термін експлуатації такого покриття становив 16 років. 1978 р. Подібне покриття було застосовано в Японії.

Згідно з [9] тонкі покриття проїзду (10 — 20) мм можуть бути застосовані при реконструкціях мостів та для мостів із розвідними прогонами. Тонкі покриття, як правило, виконуються на основі епоксидів, поліуретанів, метакрилатів, поліестерів.

Однак, детальних вимог до матеріалів, їх складів, вимог до покриттів не надано. Тому було актуальним питання розроблення вимог до матеріалів на основі метакрилатів для мостового полотна.

Згідно з [10] було вперше запропоновано розрахунок тонкошарового покриття на основі метилметакрилату на залізобетонній плиті проїзної частини автодорожніх мостів на довговічність.

Згідно з [10] покриття проїзду повинно мати проєктний строк служби не менше ніж 7 років згідно з [9].

Метою даної праці є випробування асфальтобетонних зразків на основі метилметакрилатної смоли для визначення їх фізико-механічних та терморегіологічних властивостей з метою подальшого забезпечення довговічності дорожніх покриттів на автодорожніх мостах.

Методи та матеріали. Проведення експериментальних досліджень виконувалось на досліджених зразках (рис. 1) виготовлених на основі метилметакрилату, які виготовлені згідно [11].

Матеріал для покриття на основі метилметакрилатної смоли і заповнювача піску фракції (0 — 5) мм (табл. 1). Змішування мінеральних матеріалів відбувалося в сухому стані. Для проведення дослідження було запроєктовано два склади полімербетонів, а саме: полімербетонів на основі

метилметакрилату з піском; полімербетонів на основі метилметакрилату з відсівом.

Основним завданням статті є підтвердження можливості влаштування тонкошарових покриттів на основі метилметакрилату на автодорожніх мостах.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості піску (заповнювача)

№ п/п	Назва показника	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-32 [14]	Результати випробування	
			Частковий	Повний
1.	Зерновий склад, повні залишки на ситах, % за масою 2,5 1,25 0,63 0,315 0,14 Пройшло через сито 0,14	не більше ніж 15 %		
			9,5	9,5
			12,0	21,5
			25,0	46,5
			37,5	84,0
			14,0	98,0
			2,0	
2.	Вміст зерен розміром вище 10,0 мм, не повинно перевищувати за масою в %	не більше ніж 0,5	0,0	
3.	Вміст зерен розміром вище 5,0 мм, не повинно перевищувати за масою в %	до 10	0,0	
4.	Модуль крупності	1,6 — 3,5	2,6	
5.	Пилуваті, глинисті частинки в %	до 5	0,9	
6.	Насипна щільність, кг/м ³	не менше 1100	1420	
7.	Вологість, %	не нормується	0,5	

Зовнішній вид досліджуваних зразків наведено на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1. Зовнішній вигляд досліджуваних зразків:

- а) - полімербетонів на основі метилметакрилату з піском,
- б) - полімербетонів на основі метилметакрилату з відсівом

Результати. Метою проведеного дослідження було визначення та порівняння щільності полімербетонів, що містять різні типи заповнювачів. Усі досліджувані зразки мали однакову полімерну матрицю (поліефірну смолу та метилметакрилат), проте різнилися за типом заповнювача (пісок або відсів). Результати вимірювання щільності досліджених зразків представлені в таблиці 2.

Проводячи співставлення отриманих значень показника міцності при стиску для випробуваних асфальтобетонів встановлено наступне. За температури випробування 0°C для полімербетону на основі

метилметакрилату з піском середнє значення показника випробування становить 32 МПа, а для полімербетону на основі метилметакрилату з відсівом та полімербетону на основі поліефірної смоли 35 МПа та 75,3 МПа відповідно.

Таблиця 2

Результати визначення щільності матеріалу для покриття на основі метилметакрилату

Найменування показника	Одиниця виміру	Полімербетон на основі метилметакрилату з піском		Полімербетон на основі метилметакрилату з відсівом	
		Значення випробування	Середнє значення	Значення випробування	Середнє значення
Щільність	г/см ³	2,08	2,09	2,10	2,13
		2,08		2,14	
		2,11		2,12	
		2,09		2,16	
		2,10		2,13	
		2,10		2,13	

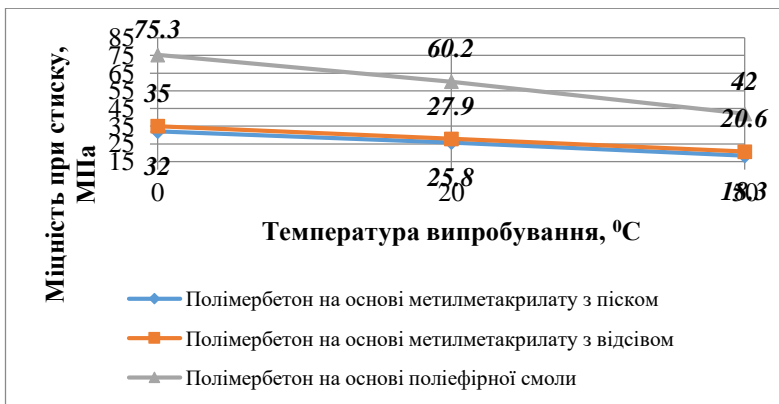


Рис. 2. Результати визначення міцності при стиску полімербетонів, виготовлених на основі метилметакрилату та поліефірної смоли

При проведенні дослідження встановлено, що параметри функції довговічності для полімербетону на основі метилметакрилату з відсівом є вищими у порівнянні з полімербетоном на основі метилметакрилату з

піском. Визначені результати дослідження свідчать, що такі покриття матимуть підвищену довговічність безпосередньо на об'єкті будівництва.

Для визначення модуля пружності зразків на основі метилметакрилату було проведено випробування на зразках полімербетону на основі метилметакрилату з піском та полімербетон на основі метилметакрилату з відсівом по 12 одиниць кожного. Випробування проводились за температури 0°C та +20°C.

Так в результаті випробування встановлено, що значення показника пружності матеріалу для покриття на основі метилметакрилату з піском за температури 0°C коливається в межі від 10798 МПа до 10945 МПа. За тієї ж температури випробування для полімербетону на основі метилметакрилату з відсівом дана межа становить від 12749 МПа до 12981 МПа.

Таблиця 3

Результати випробувань полімербетонів, виготовлених на основі метилметакрилату на показники втоми

Найменування показника	Полімербетон на основі метилметакрилату з піском	Полімербетон на основі метилметакрилату з відсівом
Показники функції довговічності:		
b	-0,52	-0,48
B	349	325
Показник втоми m	-1,9	-2,08

Таблиця 4

Результати випробувань полімербетонів, виготовлених на основі метилметакрилату на температурний коефіцієнт лінійного розширення

Найменування матеріалу	Коефіцієнт лінійного розширення ($\alpha, \cdot 10^{-5}$) в інтервалі температур, °C ⁻¹				
	+20	+10	0	-10	-20
Полімербетон на основі метилметакрилату з піском	-50,5	-41,13	-34,88	57,83	-25,5
Полімербетон на основі метилметакрилату з відсівом	-25,5	-31,75	-31,75	51,58	-13

При температурі випробування +20°C межа модуля пружності для досліджуваних зразків становить від 10142 МПа до 10300 МПа для

полімербетону на основі метилметакрилату з піском та від 11183 МПа до 11248 МПа для полімербетону на основі метилметакрилату з відсівом.

Окрім цього, за результатами проведених досліджень визначено середньоарифметичне значення модуля пружності зразків на основі метилметакрилату. Аналіз результатів (рис. 3) обчислення даного значення показує, що показник випробування за температури 0°C для полімербетону на основі метилметакрилату з піском на 6% менший, а при +20°C на 12,5% у порівнянні з результатами полімербетону на основі метилметакрилату з відсівом. Дані результати свідчать про підвищення довговічності покриттів при використанні полімербетону на основі метилметакрилату з відсівом.

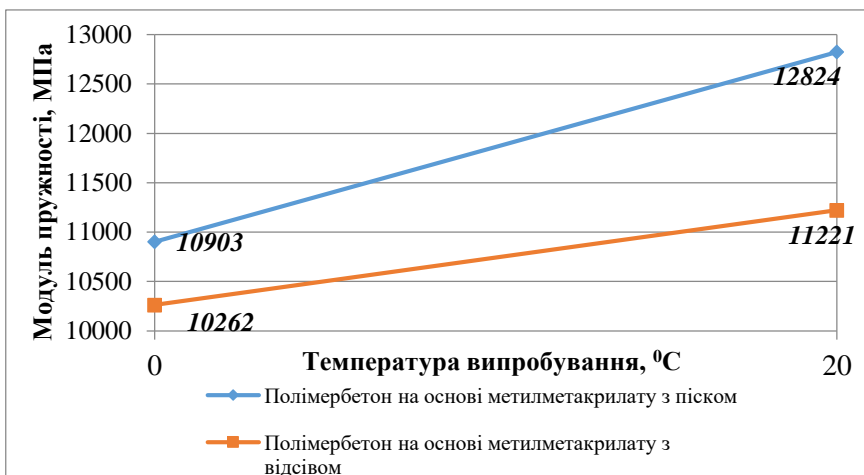


Рис. 3. Визначення модуля пружності зразків на основі метилметакрилату залежно від температури випробування

Висновки. Виконані дослідження продемонстрували високий потенціал застосування тонкошарових покриттів на основі метилметакрилату для використання в конструкціях мостових споруд. Експериментальні випробування, проведені в рамках досліджень, підтвердили ефективність таких покриттів у забезпеченні довговічності та стійкості мостових конструкцій до впливу агресивних факторів зовнішнього середовища. Результати досліджень вказують на значне покращення експлуатаційних характеристик, зокрема, підвищення корозійної стійкості, водонепроникності та зносостійкості покриттів на основі метилметакрилату.

Отримані дані надають підстави для подальших наукових розробок та вдосконалення технологій застосування таких покриттів в будівництві мостових споруд. Розвиток цієї тематики відкриває нові можливості для

створення ефективних матеріалів, які здатні забезпечити високу надійність та довговічність інфраструктурних об'єктів, зокрема, мостів. Перспективи використання метилметакрилатових покриттів у будівництві можуть призвести до значних економічних вигод за рахунок зменшення витрат на технічне обслуговування та ремонт мостових конструкцій, що в свою чергу сприятиме зниженню загальних витрат на інфраструктурні проекти.

Таким чином, отримані результати є вагомим підґрунтям для подальших досліджень та розробки нових технологій, які можуть бути інтегровані у сучасні практики будівництва, а також сприяти вдосконаленню існуючих підходів у збереженні та модернізації інженерних споруд.

References

1. Asphalt pavements on bridge decks / European Asphalt Pavement Association. 2013. 33 p.
2. Retooling manufacturing: bridging design, materials, and production / National Research Council (U.S.). Board on Manufacturing and Engineering Design, National Research Council (U.S.). Committee on Bridging Design and Manufacturing, National Research Council (U.S.). National Materials Advisory Board. National Academies Press. 2004. p. 124.
3. Bridge Deck Analysis, Second Edition / Eugene J O'Brien, Damien L Keogh, Alan O'Connor. CRC Press. 2014. p. 352.
4. Bridge Deck Analysis / Damien L. Keogh. 1999. p. 290.
5. The Modern Asphalt Pavement / Clifford Richardson. Nabu Press. 2010. p. 617.
6. Guidelines for Concrete Mixtures Containing Supplementary Cementitious Materials to Enhance Durability of Bridge Decks / American Association Of State Highway. Transportation Research Board National Research. NCHRP Report 566. p. 130.
7. Long-Term Performance of Polymer Concrete for Bridge Decks - A Synthesis of Highway Practice / Fowler, David W., Whitney, David W. Transportation Research Board. 2011. p. 76.
8. Bridge deck waterproofing: Non-U4 concrete finishes / A. Calder, R. Jordan, V.Scorey and S. Powell. p. 86.
9. DBN B.2.3-22:2009 Bridges and pipes. Basic design requirements.
10. M 42.1-37641918-781:2020 Methods for calculating the durability of thin-layer pavement on a reinforced concrete slab of the roadway of highway bridges.
11. DSTU B B.2.7-170: 2008 Concretes. Methods for determining the average density, moisture content, water absorption, porosity, and water resistance

Література

1. Асфальтобетонні покриття на мостових переходах / Європейська асоціація асфальтобетонних покриттів. 2013. Ст. 33.
2. Переоснащення виробництва: проектування, матеріали та виробництво мостів / Національна дослідницька рада (США). Рада з питань виробництва та інженерного дизайну, Національна дослідницька рада (США). Комітет з питань поєднання дизайну та виробництва, Національна дослідницька рада (США). Національна консультативна рада з матеріалів. National Academies Press. 2004. Ст. 124.
3. Аналіз мостових конструкцій, друге видання / Юджин О'Брайен, Дем'єн Л. Кеог, Алан О'Коннор. CRC Press. 2014. р. 352.
4. Аналіз мостового полотна / Дем'єн Л. Кеог. 1999. р. 290.
5. Сучасне асфальтове покриття / Кліффорд Річардсон. Nabu Press. 2010. Ст. 617.
6. Настанови щодо бетонних сумішей, що містять додаткові цементуючі матеріали для підвищення довговічності мостових полотен / Американська асоціація державних автодоріг. Національні дослідження Ради транспортних досліджень. Звіт NCHRP 566. Ст. 130.
7. Довгострокові характеристики полімербетону для мостових перекриттів - узагальнення практики будівництва автодоріг / Фаулер, Девід В., Уїтні, Девід В. Рада транспортних досліджень. 2011. Ст. 76.
8. Гідроізоляція мостового полотна: Оздоблення бетоном, що не містить U4 / А. Колдер, Р. Джордан, В. Скорі та С. Пауелл. Ст. 86.
9. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування.
10. М 42.1-37641918-781:2020 Методика розрахунку тонкошарового покриття на залізобетонній плиті проїзної частини автодорожніх мостів на довговічність.
11. ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності

Сучасні матеріали для герметизації швів в дорожніх покриттях і конструктивних елементах автомобільних доріг

Modern materials for sealing seams in road surfaces and structural elements of automobile roads

Фоменко О.О., асис. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків), Сєдов А.В., к.т.н., доц. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків)

Fomenko O.O., assistant (Kharkiv National Automobile and Road University, Kharkiv), Siedov A.V., Ph.D., assoc. (Kharkiv National Automobile and Road University, Kharkiv)

Стаття присвячена проблемі забезпечення гідроізоляційного та пароізоляційного захисту від впливу просочування води або протиожеледного розчину солі. Порушується питання про те, що в поточних умовах сучасного будівництва не завжди належно приділяють увагу питанню якісного гідроізоляційного покриття, яке в свою чергу є одним з найважливіших компонентів для збереження довговічності, для забезпечення міцності та надійності основних конструктивів транспортних споруд. Крім цього в даній статті авторами докладно розглядаються різні види гідроізоляційних матеріалів та дорожньої техніки для влаштування гідроізоляції. Виконано аналіз факторів, які визначають якість влаштування гідроізоляції деформаційних швів дорожніх покриттів.

Motorway structures are constantly in direct contact with natural and climatic factors. The article is devoted to the problem of providing waterproofing and vapor barrier protection against the effects of water seepage or anti-icing salt solution. The question is raised that in the current conditions of modern construction, not always proper attention is paid to the issue of high-quality waterproofing coating, which, in turn, is one of the most important components for preserving durability, for ensuring the strength and reliability of the main constructions of transport structures. In addition, in this article, the authors consider various types of waterproofing materials and road equipment for installing waterproofing. Rolled materials, liquids, mastics, pastes, and powders can be waterproofed. Waterproofing mastics and pastes differ from sealants in that they contain a significant amount of filler and their main purpose is to protect the material from moisture. An effective option for modern waterproofing of cracks and deformation joints of concrete coatings is the use of cold-applied thermosetting sealants, especially silicones. They have good adhesion, and a small modulus of elasticity, so it is advisable to recommend them for filling narrow cracks. Such sealants are acceptable for cracks that have a wetted surface. Cold sealants are used at air temperatures above 5 °C. It is advisable to use the two-component, bitumen-latex, highly elastic waterproofing material FLEXIGUM-HP on fairly responsible structures, which is distributed on the treated

surface by cold spraying with special equipment. In foreign countries, the use of sealing deformation joints with rubber templates of various profiles, in particular with polychloroprene silicone gaskets, has expanded. An analysis of the factors that determine the quality of the installation of waterproofing of deformation joints of road surfaces was performed.

Ключові слова: конструкція гідроізоляції, використання сучасного обладнання, герметик, мастика, гумові шаблони.

Keywords: construction of waterproofing, use of modern equipment, sealant, mastic, rubber templates.

Конструкції автомобільних доріг постійно контактують безпосередньо з природньо-кліматичними чинниками. Одним з найбільш впливових серед них є волога. Часто вона викликає початкові руйнування споруд та прискорює їх розвиток в процесі експлуатації автомобільної дороги. Захист елементів дороги від руйнівної дії вологи поділяють на зовнішній (поверхневий) та внутрішній. Способи боротьби з дією вологи поєднують наступні: вдосконалення самих конструкцій (збільшення їх щільності, створення перепон руху вологи матеріалом конструкції, дренажів), встановлення додаткових захисних виробів, а також застосування зовнішньої та внутрішньої гідроізоляції та герметизації споруд. Якість гідроізоляції залежить від багатьох чинників (рис. 1) [1].



Рис. 1. Класифікація чинників, які визначають якість влаштування гідроізоляції деформаційних швів дорожніх покриттів

Для гідроізоляції можуть використовуватись рулонні матеріали, рідини, мастики, пасти, порошки. Гідроізоляційні мастики, пасти різняться від герметиків наявністю в них значної кількості наповнювача та основним призначенням – захистом матеріалу від дії вологи. Герметики повинні забезпечити повну ізоляцію об'єкта від зовнішнього середовища.

За температурою використання дорожні мастики поділяють на гарячі та холодні. За рухомістю серед мастик маємо: в'язкі, пластичні, клеєві. До розповсюджених різновидів мастик відносять: бітумні, бітумногумові, бітумнополімерні, тіоколові мастики.

Мастики часто наносять на ґрунтовочні прошарки, бітумні праймери. Праймер – в'язучий матеріал для первинної обробки основи, ґрунтовка, ґрунтовочний прошарок.

Бітумний праймер переважає мастики за наступними характеристиками:

- кращі антикорозійні властивості;
- швидке висихання;
- допускається наносити на вологу поверхню, натомість мастику наносять лише на суху поверхню;
- краща адгезія та прилипання до основи.

Порошкоподібні наповнювачі у складі дорожніх мастик повинні бути водостійкими, хімічноінертними, не набрякати і не вступати в хімічні реакції в період будівництва та експлуатації дорожніх покриттів.

Вибір матеріалу для герметизації тріщин, деформаційних швів покриттів (рис. 2) залежить від наступних чинників:

- виду пошкоджень;
- стану тріщин і швів при їх повторній герметизації;
- інтенсивності руху;
- кліматичних умов;

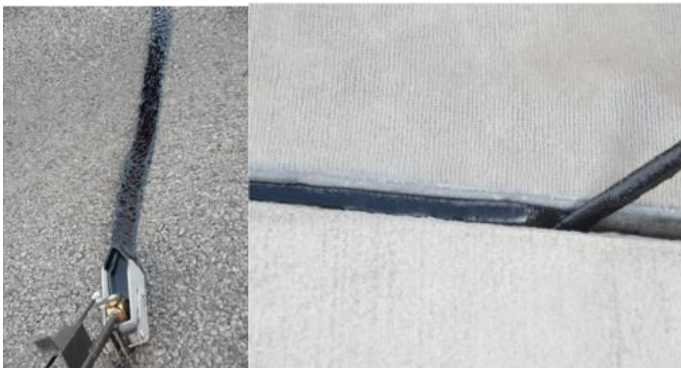


Рис. 2. Герметизація тріщин та швів

- складу транспортного потоку;
- об'єму робіт;
- вартості і доступності ремонтного матеріалу;
- екологічності матеріалу;
- досвіду виконання робіт;
- довговічності гідроізоляції;
- відповідності до вимог охорони праці.

До основних властивостей дорожніх мастик відносять: температуру розм'якшення, умовну в'язкість за температури 25°C, розтяжність за температури 25°C, еластичність, температуру крижкості, гнучкість на стрижні діаметром 2 см, щільність, гнучкість після прогрівання впродовж 100, 200, 300 годин, температуру розм'якшення після прогрівання протягом 100, 200, 300 годин.

В Україні зростає потреба в сучасних матеріалах для герметизації тріщин в існуючих асфальтобетонних покриттях.

Нові технології влаштування гідроізоляції на дорожніх об'єктах зумовлені використанням вдосконаленої або нової сучасної техніки, застосуванням нових гідроізоляційних або герметизуючих матеріалів та принципово нових технологій.

В дорожній галузі мають справу з гідроізоляцією мостів, бетонних, залізобетонних дорожніх покриттів, водопропускних залізобетонних труб та різних аеродромних покриттів. Роботи на аеродромах виконують з дотриманням підвищених вимог, тому що наявність на покриттях сторонніх предметів недопустима.



Рис. 3. Ручні заливщики BPM-100, SHG-100

При виборі дорожньої техніки для влаштування гідроізоляції переваги віддають заливщикам швів з комплектом обладнання, що забезпечує увесь цикл робіт. Сучасні заливщики класифікують на ручні, пересувні, непересувні, причіпні до тягача та самохідні [2, 3]. До популярних ручних заливщиків відносять моделі таких виробників: Mini Meher 10, SKY-S40,

NorthStar, Hand Held Pour Pot, Pot with Wheels, BPM-100, SHG-100 (рис. 3) та інші.

Сучасні універсальні заливщики мають вигляд автономних машин з повним комплектом необхідного облаштування. Вони мають специфічну систему розігріву та підтримання робочої температури герметизуючого матеріалу через нагрівання термічного мастила (температурний поріг кипіння – до 330°C), поміщеного в контур (мастильна сорочка). Такий розігрів здійснюють двома способами: через захисний екран і через ванну. Перемішування компонентів мастики виконують виключно лопатевими мішалками, конфігурація лопатей усуває випадіння складових або сумішей в осад. Альтернативний метод використовує подвійну циркуляцію заливочного матеріалу по магістралях обладнання. Урізноманітнився набір насадок заливочного списа для зручності розподілу мастики в шви або тріщини покриття, завдяки чому зросла продуктивність роботи, зменшились втрати матеріалу та якість виконання роботи.

Основні виробники плавильно-заливочних установок та бітумозаливщиків є такі фірми: Cimline (США), Cedima (Німеччина), Breining (Німеччина), Schafer (Німеччина), Strassmaur (Австрія), Masenza (Італія), Spektrin-Ко (Україна) та інші [3].

Ефективним варіантом сучасної гідроізоляції тріщин та деформаційних швів бетонних покриттів є використання термореактивних герметиків холодного застосування, особливо – силіконів. Вони мають хорошу адгезію, малий модуль пружності, тому доцільно їх рекомендувати для заповнення вузьких тріщин. Такі герметики прийнятні для тріщин, які мають зволожену поверхню. Час твердіння при цьому збільшується від 30 хвилин до декількох годин, залежно від температури повітря та його вологості. Холодні герметики використовують при температурах повітря вище плюс 5°C. Серед мастик гарячого використання відомі: шовна модифікована мастика Техномаст (Україна), BORNIT (Україна), Sikalastic 821/822 (Німеччина) та інші.

В зарубіжних країнах розширилось застосування герметизації деформаційних швів гумовими шаблонами різних профілів, зокрема поліхлоропреновими силіконовими прокладками (рис. 4) [2]. Обов'язково перед початком робіт з затискування шаблонів в пази потрібно наносити на стінки пазів шва спеціальний клей (Delastilube Lube Adhesive або інший).

Для забезпечення надійної роботи герметика розраховують коефіцієнт форми (відношення висоти до ширини заповнюваного матеріалу). Для герметика гарячого використання коефіцієнт повинен бути рівним 1, а для герметика холодного використання з силіконів – 0,5. Менші значення цього коефіцієнта показують менші напруги при деформації покриття. Найбільш прийнятна конфігурація форми в конструкції деформаційного шва полягає в розміщенні герметика з невеликим заглибленням відносно країв шва і

тріщин на глибину від 3 мм до 6 мм (рис. 4). Крім того в швах розміщують ущільнюючий шнур з допомогою сталюого ролика (рис. 4, б).



Рис. 4. Сучасні деформаційні шви в цементобетонному покритті
а) – схеми розміщення гумових прокладок у деформаційних швах;
б) – конструкція деформаційного шва стиску в цементобетонному покритті
1 – край плити цементобетонного покриття; 2 – гумова прокладка;
3 – клей; 4 – герметизуючий матеріал; 5 – ущільнюючий шнур; 6 – тріщина обманного шва; b, h – відповідно ширина і глибина герметизуючого матеріалу

Цей шнур служить основою для укладання герметика. Вибір герметизуючого матеріалу потрібно робити на підставі економічного порівняння його вартості, вартості влаштування деформаційного шва, затрат на експлуатацію впродовж усього життєвого циклу.

Вузькі тріщини на дорогах перекривають ущільнюючими стрічками марки ЛТ-стрічка та їм подібними (рис. 5).

З зарубіжних аналогів відомо використання однокомпонентної еластичної гідроізоляції Максїл Флекс-М. На глибину 40 мм паз шва заповнюється герметиком Макс Флекс 100, а шов перекривається стрічкою Макс Флекс XYS, ширина якої 180 мм. Стрічка закріплюється завдяки промазуванню клеєм Максїл Флекс.

Для бетонних покриттів, мостових споруд та бетонних водопропускних труб однією з основних характеристик є водопроникність [3, 6]. В роботі виконано порівняння цього показника для мастик, які мають добавки різних полімерів (БИТАЛЕН-2, МГББ, БМ + Elvaloy®RET).



Рис. 5. Бітумна стрічка для тріщин

Результати досліджень подані на рис. 6. Аналіз даних показує, що залежності для різних мастик мають подібну тенденцію: в міру збільшення тривалості дії води водопоглинання збільшується; відмічена стабілізація щодо наростання водопоглинання впродовж часу випробування; із збільшенням товщини плівки мастики на зразках спостерігається збільшення водостійкості зразків цементобетонну.

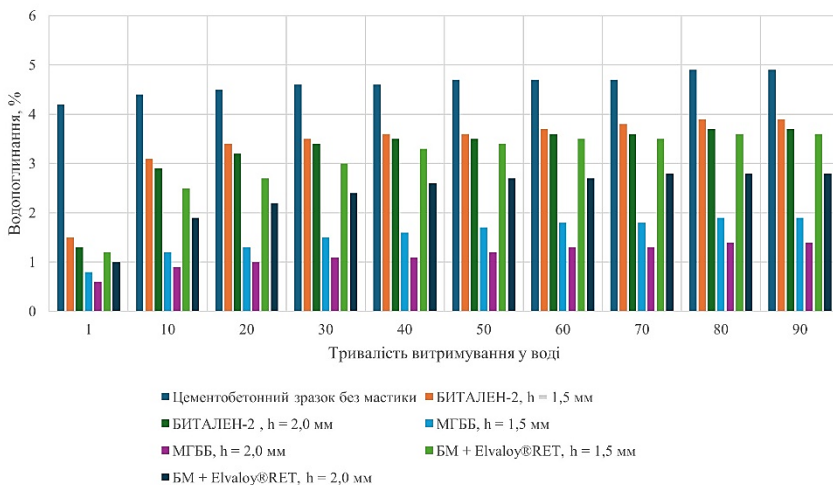


Рис. 6. Результати випробувань зразків цементобетону, покритих гідроізоляцією з різних мастик

На досить відповідальних спорудах доцільно використовувати двокомпонентний, бітумно-латексний, високо еластичний гідроізоляційний матеріал FLEXIGUM-HP, котрий розподіляють на оброблювальну

поверхню методом холодного розпилювання спеціальним обладнанням (рис. 7) [3].

Такий гідроізоляційний склад має вигляд дисперсної системи, котра складається з двох взаємно нерозчинних рідин (бітум-вода).

Дисперсна фаза (бітум) розподілена у воді у вигляді дрібних часточок діаметром 5-10 мкм, покритих дуже тонким шаром емульгатора на основі жирних кислот для забезпечення технологічної стійкості гідроізоляційної системи.



Рис. 7. Нанесення гідроізоляційного матеріалу FLEXIGUM-HP

Застосування наповнювача – поліхлоропропенового латексу значно збільшує міцність і еластичність гідроізоляції. Затверділий гідроізоляційний шар має високі фізико-механічні властивості, зокрема витримує укладання асфальтобетонної суміші з температурою до 160 °С без руйнування. Гнучкість зразків бітумнополімерної мастики товщиною 0-6 мм практично однакова, тому доцільно товщину гідроізоляції обмежувати мінімальними значеннями (табл. 2).

Таблиця 2

Залежність гнучкості зразків бітумно-полімерних композицій при низьких температурах від вмісту полімеру товщиною 4 мм при вигинанні на стержні

Температура, °С	Вміст полімеру, %			
	0	3	6	9
-10	+	+	+	+
-15	-	-	-	+
-20	-	-	-	-

Вибір мастики не повинен закінчуватись лише її різновидом, тому що кожна марка має значні відхилення щодо значень показників сусідньої.

Для кожного кліматичного району є своя раціональна марка мастики (табл. 3, 4) [5].

На основі цього можна зробити висновок, що гідроізоляцію швів цементобетонних покриттів в умовах холодного періоду року доцільно виконувати холодною гідроізоляцією. Для її створення найбільш придатні бітумополімерні мастики, які мають умовну в'язкість 90-130 мм при температурі 25 °С і в'язкість менше 15 Па·с в період заповнення деформаційних швів або тріщин.

Ефективним варіантом сучасної гідроізоляції тріщин та деформаційних швів бетонних покриттів є використання термореактивних герметиків холодного застосування, особливо – сіліконів.

Таблиця 3

Фізико-технічні показники бітумної мастики за марками [5]

Назва показника	Значення показника мастики для марки				
	55	65	75	85	100
бітумні мастики					
Теплостійкість протягом 5 год, °С	від 55 до 65 включно	понад 65 до 75 включно	понад 75 до 85 включно	понад 85 до 100 включно	понад 100
Температура розм'якшення, °С	45-50	51-60	61-70	71-80	81-95
Температура крихкості за Фраасом, °С, не вище	мінус 15	мінус 15	мінус 13	мінус 12	мінус 10
Гнучкість на брусі з закругленням радіусом (5,0 ±0,2) мм за температури, °С, не вище	Не повинно бути тріщин на поверхні зразка				
	мінус 5	мінус 5	мінус 3	мінус 2	0
бітумно-полімерні мастики					
Теплостійкість протягом 5 год, °С	від 55 до 65 включно	понад 65 до 75 включно	понад 75 до 85 включно	понад 85 до 100 включно	понад 100
Температура розм'якшення, °С	45-55	56-65	66-75	76-85	86-110

Вони мають хорошу адгезію, малий модуль пружності, тому доцільно їх рекомендувати для заповнення вузьких тріщин. Такі герметики прийнятні для тріщин, які мають зволожену поверхню. Час твердіння при цьому збільшується від 30 хвилин до декількох годин, залежно від температури повітря та його вологості. Холодні герметики використовують при температурах повітря вище плюс 5°C.

Таблиця 4

Фізико-технічні показники бітумно-гумової мастики за марками [5]

Назва показника	Значення показника мастики для марки				
	65	75	85	100	120
Теплостійкість протягом 5 год, °С	від 65 до 75 включно	понад 75 до 90 включно	понад 90 до 100 включно	понад 100 до 120 включно	понад 120
Температура розм'якшення, °С	56-65	66-75	76-85	86-110	111-130

Спираючись на міжнародний досвід, слід розширити практику герметизації деформаційних швів гумовими шаблонами різних профілів, зокрема поліхлоропреновими силіконовими прокладками. Обов'язково перед початком робіт з затискування шаблону в пази потрібно наносити на стінки пазів шва спеціальний клей (Delastilube Lube Adhesive або інший).

Для споруд з активним зволоженням доцільно використовувати бутилкаучукові мастики або полімер бітумні мастики з додаванням елвалою.

References

1. Stepura V. S. Osnovy ekspluatatsii avtomobilnykh dorih i aerodromiv: navch. posib. / V. S. Stepura, A. O. Bieliatynskiy, N. V. Kuzhel. K. : NAU, 2013. 204 s.
2. Waterproofing of Bridge Decks The Latest Technique and Material / Singh Rautela //National Research Council. NBMCW January 2008.
3. HBN V.2.3-218-003:2010. Tekhnolohiia ulashtuvannia hidroizoliatsii proiznoi chastyny avtodorozhnikh mostiv i shliakhoprovodiv iz zastosuvanniam polimernykh materialiv ta vodonepronyknoho betonu. Chynnyi vid 2010-11-01. Vyd. ofits. Kyiv : DerzhdorNDI, 2010. 45 s.
4. Hnatenko R.H., Tsyrukunova K.V., Zhdaniuk V.K. Bitumno-polimerni mastyky vysokoi kholodostiikosti dlia hermetyzatsii trishchyn v asfaltobetonnykh pokryttiakh dorozhnikh odiahiv //Avtoshliakhovyk Ukrainy. Kyiv, 2015. №1,2. S. 66-70.
5. DSTU B V.2.7-236:2010. Mastyky na osnovi bitumu pokrivelni ta izoliatsiini hariachi. Tekhnichni umovy. Chynnyi vid 2010-08-18. Vyd. ofits. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy, 2010. 19 s.

6. Zhdaniuk V.K. Vlastyvosti bitumopolimernykh mastyk dlia hidroizoliatsii mostiv /V.K. Zhdaniuk, O.I. Bezbabicheva, D.V. Zolotarov // Avtoshliakhovyk Ukrainy. 2001. № 1. S. 34-36.

Література

1. Степура В. С. Основи експлуатації автомобільних доріг і аеродромів: навч. посіб. / В. С. Степура, А. О. Белятинський, Н. В. Кужель. К. : НАУ, 2013. 204 с.
2. Waterproofing of Bridge Decks The Latest Technique and Material / Singh Rautela //National Research Council. NBMCW January 2008.
3. ГБН В.2.3-218-003:2010. Технологія улаштування гідроізоляції проїзної частини автодорожніх мостів і шляхопроводів із застосуванням полімерних матеріалів та водонепроникного бетону. Чинний від 2010-11-01. Вид. офіц. Київ : ДерждорНДІ, 2010. 45 с.
4. Гнатенко Р.Г., Циркунова К.В., Жданюк В.К. Бітумно-полімерні мастики високої холодостійкості для герметизації тріщин в асфальтобетонних покриттях дорожніх одягів //Автошляховик України. Київ, 2015. №1,2. С. 66-70.
5. ДСТУ Б В.2.7-236:2010. Мастики на основі бітуму покрівельні та ізоляційні гарячі. Технічні умови. Чинний від 2010-08-18. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 19 с.
6. Жданюк В.К. Властивості бітумополімерних мастик для гідроізоляції мостів /В.К. Жданюк, О.І. Безбабічева, Д.В. Золотарьов // Автошляховик України. 2001. № 1. С. 34-36.

УДК 534:62-752:629.11.012.57

Моделювання коливань системи підресорювання ходової частини гусеничних вантажопідійомних машин

Modeling of oscillations of the undercarriage suspension system of crawler load-lifting machines

Човнюк Ю.В., к.т.н., доц. (Київській національний університет будівництва і архітектури, м. Київ), **Задорожний А.О., к.т.н., доц.** (Військовий інститут танкових військ НУ «Харківський політехнічний інститут»), **Стаховський О.В., д.т.н. проф.** (Національний університет оборони України, м. Київ), **Чередніченко П.П., доц., Сергєєв О.В., к.т.н.** (Військовий інститут танкових військ НУ «Харківський політехнічний інститут»), **Довгопол Ю.І. старший викладач,** (Національний університет оборони України, м. Київ), **Гончарук Є.В., магістрант** (Військовий інститут танкових військ НУ «Харківський політехнічний інститут»)

Chovnyuk Yurii, Ph.D., Associate Professor (Kyiv National University of Construction and Architecture), **Zadorozhny Andrey, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor** (National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv), **Stakhovsky Oleh, Doctor of Engineering, Professor** (National University of Defense of Ukraine, Kyiv), **Cherednichenko Petro, Associate Professor** (Kyiv National University of Construction and Architecture), **Strgeev O.S., PhD** (National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv), **Dovgopol Y.I., senior Lecturer** (National University of Defense of Ukraine, Kyiv), **Honcharuk E.V., graduate student** (National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv)

Розглянуто поздовжні пружинні коливання гусеничних стрічок як суперпозиція двох слабо затухаючих хвиль, що одночасно рухаються назустріч одна одній. Теоретично представлено, що значне зменшення коливань гусеничних стрічок може бути досягнуте шляхом підбору параметрів демпфуючого пристрою, який ліквідує відбиті хвилі на межах натягу та провису гусеничних стрічок. Представлені розрахункові параметри фіксації гусеничних стрічок на зубчастих вінцях ведучих коліс та меж кінцевого їх закріплення, від яких не відбиваються хвилі.

This paper considers longitudinal vibrations of spring elements of the caterpillar mover and undercarriage support system of crawler load-lifting machines within the

framework of the discrete-continuum model. A comprehensive analysis of the wave processes arising during the caterpillar mover operation is carried out.

Crawler belts of modern hoisting machines are spring-closed chains consisting of movable links with lugs (tracks) of relatively small mass, connected by rigid elements - fingers. By design, the pins can be covered with wear-resistant rubber when pressing into the lugs of the tracks [1]. The effect of the elasticity of caterpillar belts leads to the fact that when the caterpillar machine moves, some parts of the caterpillar mover acquire the properties of oscillating systems in which dynamic processes of wave type are maintained.

One of the effective ways to eliminate the reflected waves on the boundaries of adhesion of caterpillar belts with the teeth of drive wheel crowns is the introduction of a tensioning mechanism with elastic-dissipative elements into the design of the running gear of the caterpillar. The provision of uniform tensioning of the caterpillar belt (using the tensioning mechanism) allows for the exclusion of the possibility of resonance occurrence as a result of the addition of the incident and reflected waves. In this way, it is possible to achieve a uniform distribution of dynamic loads on the teeth of the drive wheel gears as well as in other units and parts of the crawler.

Longitudinal spring oscillations of caterpillar belts are considered a superposition of two weakly damped waves simultaneously moving toward each other. It is theoretically presented that a significant reduction of caterpillar belt oscillations can be achieved by selecting the parameters of a damping device that eliminates reflected waves at the tension and sagging boundaries of the caterpillar belts. Estimated parameters of fixation of caterpillar belts on toothed crowns of driving wheels and boundaries of their final fixation, from which waves are not reflected, are presented.

Ключові слова: дискретно-континуальне моделювання, хвилі, динаміка машин, подовжені коливання, пружинні елементи, гусеничний рушій, гусенична стрічка, вантажопідйомні машини.

Keywords: discrete-continuum modeling, waves, machine dynamics, longitudinal oscillations, spring elements, caterpillar mover, caterpillar belt, hoisting machines.

Постановка проблеми. Гусеничний рушій – це пристрій, призначений для забезпечення руху вантажопідйомної машини за рахунок крутного моменту, який підводиться від трансмісії до ведучих коліс та зчеплення гусеничних стрічок з ґрунтом. Гусеничний рушій дозволяє досягнути високої прохідності машини внаслідок малого питомого тиску на ґрунт.

Гусеничний рушій машини складається з двох гусеничних стрічок, двох ведучих коліс, від 5-ти і більше опорних катків з кожної сторони, двох направляючих коліс з механізмами натягу гусеничних стрічок та підтримуючих катків.

У даній роботі зроблена спроба розв'язати задачу та розвинути ідею узгодження конструкцій систем підресорювання, механізмів натягу ходових частин гусеничних рушіїв гусеничних вантажопідйомних машин, як демпфуючого гасника, що впливає на зменшення коливань гусеничної стрічки. Гусенична стрічка розглядається як пружинна система задля

подальшого забезпечення рівномірного розподілу динамічних навантажень на неї.

Аналіз публікацій по темі досліджень. У роботах [2,3] запропонований й теоретично обґрунтований спосіб зниження коливань пружинних елементів машин, що заснований на ідеї узгодження шляхом усунення у системі відбитих хвиль. Зокрема, на прикладі крутних коливань трансмісії [2] та згінних коливань балки [3] показано, що узгодження може бути забезпечене за допомогою кінцевих гасників, які не відбивають хвилі, а повністю поглинають енергію збурень, що розповсюджується від джерела. Автор [4] запропонував використати хвильовий метод зниження пружинних поздовжніх коливань гусеничних стрічок, котрі розглядалися як дискретні системи (тобто системи із зосередженими параметрами). На думку авторів даного дослідження, такий підхід має деякі хиби, оскільки розгляд хвильових процесів у крутних системах гусеничних стрічок слід ліпше здійснювати у межах моделі дискретно-континуальних систем, щоб адекватно осмислювати всі особливості виникаючих хвилеподібних утворень [5-7].

Частково подібний підхід реалізований у роботах [8-15] та сучасних дослідженнях [16-20].

Мета роботи полягає у розвитку і обґрунтуванні ідеї узгодженого демпферного гасника для розв'язання задачі щодо суттєвого зменшення коливань гусеничної стрічки як пружної системи.

Виклад основного змісту дослідження.

Пружні гусеничні рушії сучасних машин представляють собою замкнений ланцюг, який складається з піддатливих ділянок малої маси, які віддалені одна від одної жорсткими масивними елементами [15]. Рухливість гусеничних стрічок призводить до того, що при русі гусеничних машин деякі ділянки гусеничного обводу набувають властивостей коливальних систем, у котрих динамічні процеси можуть мати хвильовий характер. Ефективним засобом знищення відбитих хвиль на границях гусеничної стрічки є введення у конструкцію ходової частини гусеничної машини механізму натягу з пружно-дисипативними елементами. Забезпечення узгодженості гусеничної стрічки й натяжного механізму дозволяє виключити виникнення резонансу у результаті складання падаючої та відбитої хвиль і таким чином досягти рівномірного розподілу динамічних навантажень як у обводі, так і в інших вузлах та деталях гусеничного рушія.

Математична модель.

Розглянемо дискретну модель (точніше, дискретно-континуальну) гусеничної стрічки у вигляді ланцюга однорідних мас і невагомих пружних елементів, які мають внутрішнє тертя (рис.1). На одному кінці гусеничної стрічки діє періодична зовнішня сила, а на іншому кінці гусеничної стрічки

встановлено пристрій для її натягу, який включає у себе інерційний пружний елемент та демпфер.

Поздовжні коливання такої системи описуються наступними рівняннями:

$$\begin{cases} m\ddot{x}_1 + c \times (x_1 - x_2) + \beta \times (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) = F_0 \times e^{i\omega t}; i^2 = -1, \\ \vdots \\ m\ddot{x}_n + c \times (2x_n - x_{n-1} - x_{n+1}) + \beta \times (2\dot{x}_n - \dot{x}_{n-1} - \dot{x}_{n+1}) = 0 \\ n = 2, 3, \dots, N - 1, \\ \vdots \\ m_N \times x_N + c_N \times x_N + c(x_N - x_{N-1}) + \beta \times (\dot{x}_N - \dot{x}_{N-1}) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

де: n – порядковий номер маси траку гусеничної стрічки;

x_n – поздовжнє переміщення n -го траку відносно положення рівноваги;

m_1, c – маса та поздовжня жорсткість ланки гусеничної стрічки;

β – коефіцієнт, який враховує втрати у шарнірних з'єднаннях гусеничної стрічки; m_N, c_N, β_N – маса, жорсткість і коефіцієнт демпфування кінцевого закріплення гільки;

F_0, ω – амплітуда й частота зовнішньої сили.

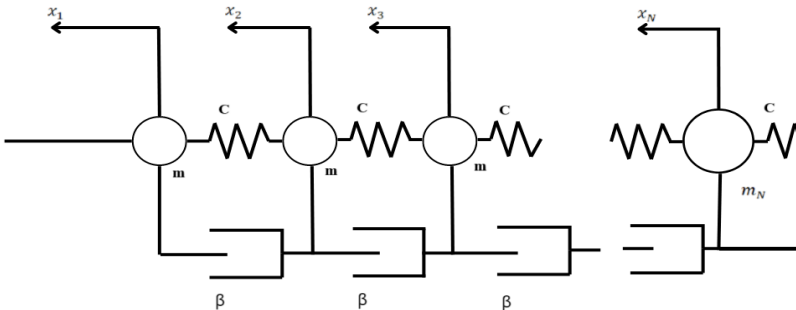


Рис. 1. Дискретна-континуальна модель гусеничної стрічки у вигляді ланцюга однорідних мас і невагомих пружних елементів, що мають внутрішнє тертя

Хвиля, яка розповсюджується від джерела збурення до ланцюга однорідних мас цієї дискретно-континуальної системи (ДКС), після взаємодії з кінцевим закріпленням між зуб'ями зубчастих вінців ведучих коліс відбивається від них та розповсюджується у протилежному напрямку. Тому поздовжнє переміщення n -ої маси ланцюга можна подати у вигляді суперпозиції двох затухаючих хвиль:

$$x_n(\epsilon) = A \times \exp[i \times (\omega t - \gamma \times n \times a)] + B \times \exp[i \times (\omega t + \gamma \times n \times a)]. \quad (2)$$

де: A – амплітуда хвилі збурення;

B – амплітуда хвилі, відбитої від закріплення;

ω – частота хвилі; $\gamma = (K - i\alpha)$ – комплексне хвильове число;

a – крок гусениці.

Підставляючи розв’язок у вигляді біжучої хвилі $x_n \sim \exp[i \times (\omega t \pm \gamma na)]$ у рівняння (1), матимемо співвідношення, які зв’язують комплексне хвильове число $\gamma = K - i\alpha$ й частоту ω :

$$ch\{i\gamma a\} = \frac{(c - \frac{m\omega^2}{2} + i\beta\omega}{(c + i\beta\omega)}. \quad (3)$$

З відношення (3) випливає, що параметри (Ka) є нелінійними функціями частоти ω . Зокрема, у випадку довгохвильових збурень ($Ka \ll 1$), коли ланцюг мас має близький за своїми властивостями до в’язкопружного стрижня (тобто до ДКС), з відношення (3) матимемо лінійний закон для K ($Ka = (\frac{m}{c})^{\frac{1}{2}} \times \omega$) й квадратичну частотну залежність для параметру α , який характеризує експоненціальне згасання хвилі у вздовж ланцюга мас $a = \beta \times (\frac{m}{c})^{\frac{1}{2}} \times \frac{\omega^2}{2c}$.

Якщо втратами у системі знехтувати ($\beta=0$), з відношення (3) витікає універсальне дисперсійне співвідношення, яке характерне для багатьох дисперсних систем [7]: $\omega = 2(\frac{m}{c})^{\frac{1}{2}} \times \sin\left|\frac{Ka}{2}\right|$.

Зокрема, такий закон дисперсії буде справедливий для системи, що використовується у якості приведеної моделі при розрахунку крутних коливань трансмісій [2].

Підстановкою розв’язку відношення (2) у рівняння руху кінцевої ланки гусеничної стрічки (1) знаходимо зв’язок між амплітудами падаючої (A) та відбитої (B) хвиль переміщення на границях гусеничної стрічки:

$$\frac{\beta}{A} = \exp\{-2i \times \gamma \times Na\} \times \frac{(Z_0 - Z_n)}{(Z_0 + Z_n)}. \quad (4)$$

де:

комплексна величина Z_n :

$$Z_n = \beta_n + i \times \left(m_n \times \omega - \frac{c_n}{\omega}\right) + \left(\beta - \frac{ic}{\omega}\right) \times (1 - ch\{i\gamma \times a\}).$$

$$\text{Величина } Z_0 = \left(\beta - \frac{ic}{\omega}\right) \times sh\{i \times \gamma \times a\}.$$

Комплексна величина Z_n , яка входить у (4), залежить від частоти хвилі ω , параметрів кінцевого закріплення, параметрів ланцюга мас й характеризує імпеданс кінцевого закріплення. Величина Z_0 визначає імпеданс однорідного ланцюга мас з внутрішнім тертям.

З відношення (4) відомо, що відбиті від закріпленого кінця хвилі відсутні ($\frac{B}{A} = 0$), якщо імпеданс закріплення дорівнює імпедансу ланцюга мас $Z_0 = Z_n$. Таке з'єднання ланцюга й кінцевої ланки можна вважати узгодженим.

Для отримання узгодженого з навантаженням з'єднання, параметри закріплення m_n, c_n, β_n й параметри ланцюга мас (m, c) та β , повинні задовольняти наступним співвідношенням:

$$\begin{cases} m_n \times \omega^2 - c_n - c \times (1 - e^{\alpha a} \times \cos Ka) - \beta \times \omega \times e^{\alpha a} \times \sin Ka = 0, \\ \beta_n \times \omega + \beta \times \omega \times (1 - e^{\alpha a} \times \cos Ka) - c \times e^{\alpha a} \times \sin Ka = 0. \end{cases} \quad (5)$$

де:

(Ka) та частота ω зв'язані рівнянням (3).

Таким чином, вихідна задача звелась до дослідження системи двох рівнянь (5) для визначення трьох параметрів закріплення m_n, c_n за заданими параметрами ланцюга мас (m, c, β) та частотою збурення ω .

Фазова швидкість розповсюдження у ДКС хвиль характеризується залежністю:

$$V_\phi = \frac{\omega}{K} = \frac{\omega \times ia}{\left[\text{Arch} \left\{ \frac{c - \frac{m\omega^2}{2} + i\beta\omega}{c + i\beta\omega} \right\} - \alpha a \right]}. \quad (6)$$

Групова швидкість:

$$V_{\text{Гр}} = \frac{d\omega}{dK} = \frac{2 \sin[iKa + \alpha a] \times ia \times (c + i\beta \times \omega)^2}{m \times [2\omega c + \omega^2 \times i\beta]}. \quad (7)$$

При $\beta=0$ з (6) та (7) маємо:

$$V_\phi = \left(\frac{c}{m}\right)^{1/2} \times a \times \left\{ \frac{\sin|Ka|2|}{\left(\frac{Ka}{2}\right)} \right\}. \quad (8)$$

$$V_{\text{Гр}} = a \times \cos\left(\frac{Ka}{2}\right). \quad (9)$$

При $K a \ll 1$ (у межах моделі в'язкого пружного стрижня ДКС) маємо:

$$V_{гр} = V_{\phi} = \left(\frac{c}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \times a = const. \quad (10)$$

Виходячи з виразу (9), можна встановити умови, при яких $V_{гр} = 0$, тобто хвиля у ДКС не переносить у системі енергію:

$$\frac{K^* \times a}{2} = (2p + 1) \times \frac{\pi}{2} \Leftrightarrow K^* = \frac{(2p+1) \times \pi}{a}, p = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (11)$$

При цьому частоти, для котрих виконується (11), визначається зі співвідношення:

$$\omega^* = 2 \times \left(\frac{c}{m}\right)^{\frac{1}{2}}. \quad (12)$$

Для отримання узгодженого з навантаженням з'єднання, параметри закріплення у ДКС й параметри самого "ланцюга" m_N, c_N, β_n . (m, c, β), повинні задовольняти співвідношенням (5), які зазначені вище. Так, при $\beta=0$ з (5) маємо наступну умову узгодження: $\beta_N = \beta_N^* = \left(m c - \frac{m \omega^2}{4}\right)^{\frac{1}{2}}$, а маса й жорсткість закріплення задовольняють рівнянням: $m_N = m_N^* = \frac{m}{2}, c_N = c_N^* = 0$, або $\frac{(m_N^* - \frac{m}{2})}{c_N^*} = \omega^2$.

Зрозуміло, розв'язання поставленої задачі щодо відшукання параметрів кінцевого закріплення у ДКС, яке не відбиває хвилі, має сенс лише для слабко затухаючих хвиль, коли втрати у шарнірних з'єднаннях гусениці малі ($\beta \times \omega \ll c$).

При $\beta \omega \ll c$ значення коефіцієнта демпфування закріплення β_N близьке до значення β_N^* , яке обчислене за відсутності втрат:

$$\beta_N = \beta_N^* \times e^{\alpha a} - \beta \times (1 - e^{\alpha a} \times \cos K a). \quad (13)$$

Припускаючи, що маса й жорсткість закріплення дорівнюють, відповідно, $m_N = m_N^* = \frac{m}{2}, c_N = c_N^* = 0$, ми не досягнемо повного узгодження на границі гілки ($\frac{B}{A} = 0$). Однак, перевага демпфуючого пристрою з такими параметрами полягає у тому, що він не має резонансних властивостей і тому не критичний щодо малих змін частоти збурення ω і параметрів системи. Залежність коефіцієнта відбиття $\frac{B}{A}$ у цьому випадку також не носить резонансного характеру та має вид:

$$\left| \frac{B}{A} \right| = -\exp \left\{ -\frac{2\alpha}{(Na)} \right\} \times \frac{(\beta \times \rho - c \times \frac{\varphi}{\omega})}{\left[4 \times (c \times \frac{\rho}{\omega} + \beta \times \varphi)^2 + (\beta + \rho - c \times \frac{\varphi}{\omega})^2 \right]}. \quad (14)$$

де:

$$\rho = ch(\alpha a) \times \sin(Ka), \quad \varphi = sh(\alpha a) \times \cos(Ka).$$

Зокрема, при $\beta\omega \ll c$ коефіцієнт відбиття $\left| \frac{B}{A} \right|$ не перевищує величини $\frac{\beta \times \omega}{(nc)}$.

Результати дослідження

Наведемо приклад розрахунку для гусеничної стрічки з гумово-металевими шарнірами та з параметрами $m=8,96\text{кг}$, $a=0,14\text{м}$, $c=10^7\text{Н/м}$, $\beta=1,7 \times 10^3\text{ кг/с}$, близькими до відомих з експериментальних досліджень [1].

При частоті збурення $\omega=200\text{с}^{-1}$, $m_N = \frac{m}{2}$, $C_N = 0$, маємо:

$$\beta_N = 9,465 \times 10^3 \text{ кг/с}.$$

На останок зазначимо, що величина коефіцієнта демпфування закріплення β_N залежить від частоти ω , тобто узгодження може бути досягнуте лише на певній частоті. Однак, у випадку довгохвильових збурень ($Ka \ll 1$), система (5) набуває виду:

$$\begin{cases} m_N \times \omega^2 - c_N - c \times (1 - e^{\alpha a}) - \beta \times \omega \times e^{\alpha a} \times Ka = 0, \\ \beta_N \times \omega + \beta \times \omega \times (1 - e^{\alpha a}) - c \times e^{\alpha a} \times Ka = 0, \end{cases} \quad (15)$$

Коефіцієнт демпфування закріплення можна вважати постійним і незалежним від частоти збурення: $\beta_N = (mc)^{\frac{1}{2}}$. Таким чином, при $Ka \ll 1$ узгодження досягається практично на всіх частотах вказаного діапазону за фіксованих параметрів гусеничної стрічки та кінцевого закріплення.

Висновки

1. У роботі обґрунтований хвильовий метод зниження поздовжніх коливань пружних гусеничних стрічок у межах дискретно-континуальної моделі останніх.

2. Поздовжні коливання пружної гусеничної стрічки слід розглядати як суперпозицію двох біжучих назустріч одна одній слабо затухаючих хвиль. Показано, що зменшення коливань гусеничної стрічки може бути досягнуте шляхом підбору параметрів демпферного пристрою, який ліквідує відбиті хвилі на межі закріплення гусеничної стрічки. Розраховані

параметри гусеничної стрічки й кінцевого закріплення, котре не відбиває хвилі, що утворюються у системі.

3. Проведений дисперсійно-хвильовий аналіз виникаючих у системі хвилеподібних утворень дозволив встановити їх основні параметри (групову та фазову швидкості розповсюдження хвиль), а також умови, за яких ці утворення не переносять взагалі ніякої енергії ($V_{гр} = 0$).

4. Величина коефіцієнта демпфування закріплення β_N залежить від частоти ω , тобто узгодження у дискретно-континуальній системі (ДКС) може бути досягнуте лише на певній частоті. Однак, у випадку довгохвильових збурень ($Ka \ll 1$) коефіцієнт демпфування закріплення можна вважати постійним і незалежним від частоти збурення: $\beta_N = (mc)^{\frac{1}{2}}$. Таким чином, при $Ka \ll 1$ узгодження досягається практично на усіх частотах вказаного діапазону за фіксованих значень параметрів «ланцюга» мас кінцевого закріплення (хвильового гасника). Резонансні явища у гусеничній стрічці відсутні.

5. Проведені дослідження й отримані розрахунково-аналітичні залежності для параметрів хвильового гасника у ДКС можуть слугувати основою для подальшого вдосконалення й уточнення існуючих інженерних розрахунків подібних систем.

References

1. Platonov V.F. *Dynamyka y nadyzhnost husenychnoho dvyzhytelia*. – М.: Mashynostroenye, 1973. 231s.
2. Vesnytskyi A.Y., Myloserdova Y.V. *Sohlasovanye transmyssyy po krutylnym kolebanyam*. *Yzvestyia vuzov. Mashynostroenye*. 1991. №4-6. S. 86-90.
3. Vesnytskyi A.Y., Myloserdova Y.V. *Sohlasovannyyi tortsevoi hasytel yzghybnykh kolebanyi balky*. *Akustycheskyi zhurnal*. 1995. T. 41, №4. s. 572-575.
4. Myloserdova Y.V. *Volnvoi metod snyzheniya prodolnykh kolebanyi upruhykh husenyts*. *Problemy mashynostroenya y nadyzhnosti mashyn*. 1998. №1. S. 16-18.
5. Horoshko O.A. *Krytycheskye sluchay dvyzheniya sterzhnia s dempferom na kontse*. *Prykladnaia mekhanika*. 1978. T14. №4. S. 129-132.
6. Elyseev S.V., Nerubenko H.P. *Dynamycheskye hasytery kolebanyi* – Novosybyrsk: Nauka, 1982. 144s.
7. Rabynovych M.Y., Trubetskov D.Y. *Vvedenye v teoriyu kolebanyi y voln*. – М.: Nauka, 1984. 432s.
8. Ziablykov V.M., Smyrnov V.D. *Umenshenye dynamycheskykh nahruzok v krutylnykh systemakh sohlasovannym ympedansom*. *Yzvestyia vuzov. Mashynostroenye*. 1985. №9. S. 82-87.
9. Leonov S.Y. *Volnovoe dvyzhenye vetvei husenychnykh dvyhateleï*. *Yzvestyia vuzov. Mashynostroenye*. 1963. №5. S.174.
10. Karamyshkyn V.V. *Dynamycheskoe hashenye kolebanyi*. - L.: Mashynostroenye, 1988. 108s.

11. Kornev M.S., Leznykov L.M. Dynamicheskiye hasytely kolebaniy: teoriya y tekhnicheskoye prylozheniye. – M.: Nauka, 1988. 302s. 1991. S. 102-103.
12. Kobelev V.M., Kopelev Yu.F., Hevva V.F. Udarno-dynamicheskoye vybrohasytely. Mekhanyka mashyn. 1977. 13. 33-34. S. 103-110.
13. Kobelev V.M y dr. Dempfirovaniye mykrokolebaniy v mekhanicheskyykh systemakh mnohomassovyyu vybrohasyteliyamy. Rasseianye enerhiy pry kolebaniyakh mekhanicheskyykh system. – K.: Naukova dumka, 1970. S. 442-449.
14. Myloserdova Y.V., Potapov A.Y. Vybratsyy v nelyneinykh sterzhniakh pry nalychyy vnutrennykh rezonansov. Mashynovedeniye. 1983. №4. S. 18-24.
- 15] Platonov V.F. Dynamika y nadezhnost husenychno dvyhatelia. – M.: Mashynostroeniye, 1973. 231s.
16. Kalinin Ye., Kolesnik. I., Lebedieva I., Balabai T. Matematychna model husenychno traktora z urakhuvanniam zminy haikovo navantazhennia ta vertykalnykh kolyvan ostova. Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy. 2016. Vyp. 24(38). S. 49-62.
- 17] Balakyn P.D., Kuznetsov Э.А., Skrypnichenko D.A., Rakhymshanov N.E. Matematycheskoye modelirovaniye dynamiky dvyzheniia mnohotslevykh husenychnykh mashyn. Omskiy nauchnyy vestnyk. 2012. №3(113). S. 40-44.
18. Karsakov A.A., Kosulnykov R.A., Fomyn S.D., Nazarov E.A. Osobennosti raboty husenychno dvyhatelia. Yzvestiya Nyzhnevolskogo ahro- unyversytetskoho kompleksa: Nauka y vysshee professyonalnoe obrazovaniye. 2018. №3(51). S. 355-363.
19. Derzhanskiy V.B., Marynyn S.N., Taratorkyn Y.A. Stabylyzatsiya priamoho dvyzheniia transportnoi mashyny pry osnovnykh protsessakh v husenytsakh. Vestnyk KNU. 2013. №2. Seryia “Tekhnicheskoye nauky”. Vyp. 8. S.61-65.
20. Sylabev V.A., Berdov E.Y. Osobennosti vzaymodeistviy husenychno dvyhatelia s deformyruemoi oporno poverkhnostiuy pry neravnomernom dvyzheniuy mashyny. Vestnyk YuUrHU. Seryia “Mashynostroeniye”. 2021. T.21. №4. S. 49-60.

Література

1. Платонов В.Ф. Динамика и надёжность гусеничного движителя. – М.: Машиностроение, 1973. 231с.
2. Весницкий А.И., Милосердова И.В. Согласование трансмиссии по крутильным колебаниям. Известия вузов. Машиностроение. 1991. №4-6. С. 86-90.
3. Весницкий А.И., Милосердова И.В. Согласованный торцевой гаситель изгибных колебаний балки. Акустический журнал. 1995. Т. 41, №4. с. 572-575.
4. Милосердова И.В. Волновой метод снижения продольных колебаний упругих гусениц. Проблемы машиностроения и надёжности машин. 1998. №1. С. 16-18.
5. Горошко О.А. Критические случаи движения стержня с демпфером на конце. Прикладная механика. 1978. Т14. №4. С. 129-132.
6. Елисеев С.В., Нерубенко Г.П. Динамические гасители колебаний – Новосибирск: Наука, 1982. 144с.
7. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. – М.: Наука, 1984. 432с.
8. Зябликов В.М., Смирнов В.Д. Уменьшение динамических нагрузок в крутильных системах согласованным импедансом. Известия вузов. Машиностроение. 1985. №9. С. 82-87.
9. Леонов С.И. Волновое движение ветвей гусеничных двигателей. Известия вузов. Машиностроение. 1963. №5. С.174.

10. Карамышкин В.В. Динамическое гашение колебаний.- Л.: Машиностроение, 1988. 108с.
11. Корнев М.С., Лезников Л.М. Динамические гасители колебаний: теория и технические приложения. – М.: Наука, 1988. 302с. 1991. С. 102-103.
12. Кобелев В.М., Копелев Ю.Ф., Гевва В.Ф. Ударно-динамические виброгасители. Механика машин. 1977. 13 .33-34.С. 103-110.
13. Кобелев В.М и др. Демпфирование микроколебаний в механических системах многомассовыми виброгасителями. Рассеяние энергии при колебаниях механических систем. – К.: Наукова думка, 1970. С. 442-449.
14. Милосердова И.В., Погапов А.И. Вибрации в нелинейных стержнях при наличии внутренних резонансов. Машиноведение. 1983. №4. С. 18-24.
15. Платонов В.Ф. Динамика и надежность гусеничного двигателя. – М.: Машиностроение, 1973. 231с.
16. Калінін Є., Колеснік І., Лебедева І., Балабай Т. Математична модель гусеничного трактора з урахуванням зміни гайкового навантаження та вертикальних коливань остова. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2016. Вип. 24(38). С. 49-62.
17. Балакин П.Д., Кузнецов Э.А., Скрипниченко Д.А., Рахимшанов Н.Е. Математическое моделирование динамики движения многоцелевых гусеничных машин. Омский научный вестник. 2012. №3(113). С. 40-44.
18. Карсаков А.А., Косульников Р.А., Фомин С.Д., Назаров Е.А. Особенности работы гусеничного двигателя. Известия Нижневолжского агро- университетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. №3(51). С. 355-363.
19. Держанский В.Б., Маринин С.Н., Тараторкин И.А. Стабилизация прямого движения транспортной машины при основных процессах в гусеницах. Вестник КГУ. 2013. №2. Серия “Технические науки”. Вып. 8. С.61-65.
20. Силабьев В.А., Бердов Е.И. Особенности взаимодействий гусеничного двигателя с деформируемой опорной поверхностью при неравномерном движении машины. Вестник ЮУрГУ. Серия “Машиностроение”. 2021. Т.21. №4. С. 49-60.

Аналіз снігоочисної техніки та заходи, направлені на покращення зимового утримання автомобільних доріг

Analysis of snow removal equipment and measures aimed at improving the winter maintenance of highways

Шимчук О.П., к.т.н., доц., Процюк В.О., к.т.н., доц., Талах Л.О., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет), Панчук Ю.М., к.т.н., доц. (Національний університет водного господарства та інженерії природокористування, м. Рівне)

Shymchuk O.P., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Protsiuk V.O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Talakh L.O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University), Panchuk Y.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (National University of Water Management and Environmental Engineering, Rivne)

У статті проведено аналіз існуючої снігоочисної техніки для зимового утримання автомобільних доріг та міських вулиць. Запропоновано шнековий снігоочисник, який забезпечить видалення снігу з проїзної частини, завантаження його в кузови автомобілів та вивезення за межі дороги.

The article analyzes the existing snow removal equipment for winter maintenance of highways and city streets. An auger snowplow is proposed to ensure snow removal from the roadway, loading it into car bodies and taking it off the road.

During operation, highways are subjected to constant loads and exposed to atmospheric influences. Weather conditions and destructive transport actions worsen the operational properties of the road as an engineering structure while reducing the efficiency and safety of road traffic.

The most important factors in the winter period that affect the safety of road traffic and the speed of movement of vehicles are the slipperiness of the surface and snow accumulation (when snow accumulates on the roadway). These factors lead to a decrease in the coefficient of adhesion of car tires to the road surface and an increase in the probability of skidding. As a result, the braking distance increases, traffic becomes more difficult, and the probability of traffic accidents increases.

The winter maintenance of highways includes a set of works performed by road organizations with the aim of ensuring safe and uninterrupted traffic in winter, in particular, snow removal, combating slippery conditions, and clearing roads.

Winter road maintenance is an expensive process, as it is quite often difficult to predict weather conditions.

Road cleaning measures affect their service life and safety. Therefore, the proper execution of works and the use of modern equipment for winter road maintenance is an urgent task today.

For full mechanization during winter road maintenance, we use a wide range of equipment. These are snow plows, snow loaders, ice scrapers, and sand throwers. Snowplows are rarely used on country roads, mainly where the ability of snowplows to throw snow a considerable distance from the roadway is limited or completely excluded. They are also used to clear snow drifts from roadsides. Snow plows are mainly used on road sections in populated areas.

The purpose of this scientific article is the analysis and comparison of existing snow removal equipment for winter maintenance of highways and city streets, and the development of an auger snow plow for maintenance of roads in the winter period, namely, the removal of snow cover from the carriageway.

Today, snow plows are manufactured by many companies around the world and are available for various types of vehicles. They are available with manual, electric, and hydraulic drives. They have different sizes and designs.

Ключові слова: автомобільна дорога, снігозанесення, слизькість, снігоочисна техніка, зимове утримання.

Keywords: road, snow drift, slipperiness, snow removal equipment, winter maintenance.

Вступ. Під час експлуатації автомобільні дороги зазнають постійних навантажень та піддаються атмосферним впливам. Погодні умови, руйнівні дії транспорту – це ті фактори, які погіршують експлуатаційні властивості автомобільної дороги як інженерної споруди, при цьому знижуючи ефективність та безпеку дорожнього руху.

Найважливішими факторами в зимовий період, які впливають на безпеку дорожнього руху та швидкість пересування транспортних засобів являються слизькість покриття та снігозанесення (коли накопичується сніг на прозійній частині). Дані фактори призводять до зменшення коефіцієнта зчеплення автомобільних шин із дорожнім покриттям та підвищення ймовірності заносу. В результаті росте гальмівний шлях, ускладнюється рух, підвищується ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод.

До зимового утримання автомобільних доріг відноситься комплекс робіт, які виконуються дорожніми організаціями з метою забезпечення безпечного та безперерйного руху транспорту взимку, зокрема прибирання снігу, боротьба зі слизькістю та розчищення доріг.

Зимове утримання доріг є дороговартісним процесом, оскільки досить часто передбачити погодні умови складно.

Заходи, направлені на розчищення автомобільних доріг, впливають на термін їх служби та безпеку. Тому належне виконання робіт та застосування сучасної техніки для зимового утримання доріг є актуальною задачею сьогодення.

Аналіз досліджень. Перша машина для очищення снігу була побудована Гербертом Фріцом в 80-х роках XIX століття. Так як в ній не було двигуна, то для роботи необхідно було постійно крутити ручку, яка

приєднана до вала снігоочисника. Машина змітала сніг всього на півтора метра в сторону, в зв'язку з чим не набула широкого застосування в тодішній Австрійській імперії [1].

Першими плужними снігоочисниками були кінні дерев'яні плужні снігоочисники. Із появою автомобіля інженери-винахідники постійно намагалися їх вдосконалити, як результат було запатентовано новий прилад в 1940-х роках [2].

З тих пір пройшло багато часу, а тому накопичився великий досвід виробництва та експлуатації даних конструкцій.

На сьогоднішній день снігоочисники виробляються багатьма компаніями по всьому світу та доступні для різних видів транспортних засобів. Вони бувають з ручним, електричним та гідравлічним приводом. Мають різні розміри та конструкції.

Постановка мети і задач досліджень. Метою даної наукової статті є аналіз та порівняння існуючої снігоочисної техніки для зимового утримання автомобільних доріг та міських вулиць, розробка шнекового снігоочисника для утримання автомобільних доріг у зимовий період, а саме прибирання снігового покриву з проїзної частини.

Виклад основного матеріалу. Для повної механізації під час зимового утримання доріг ми використовуємо широкий спектр техніки. Це снігоочисники, снігонавантажувачі, скребки для очищення льоду та піскорозкидачі.

Плужні снігоочисники (рис. 1) можна розділити на однолопатеві, які відкидають сніг з одного боку, і дволопатеві, які можуть відкидати сніг з одного або з обох боків. Деякі марки снігоочисників мають один або два бічних відвали (крила). Снігоочисники монтуються на шасі транспортних засобів або рамах тракторів.

Переваги автомобільних плужних снігоочисників полягають у наступному: завдяки відносно високій робочій швидкості сніг відкидається на значну відстань (до 5-8 м), а сніговий вал, що утворюється після проходження снігоочисника, має м'яку форму; висока мобільність дозволяє швидко переміщати снігоочисники з одного місця роботи на інше; після демонтажу снігоочисника автомобіль можна використовувати за первісним призначенням.

До переваг тракторних снігоочисників відносяться: вони можуть працювати в складних снігових умовах; трактор можна використовувати для інших завдань після демонтажу снігоочисника.

Промисловість виробляє плугові снігоочисники, які можна встановлювати на автомобілі та трактори.



Рис. 1. Плужний снігоочисник

Роторні снігоочисники зазвичай складаються із двох робочих органів, один із яких зрізає сніговий покрив, подаючи його в центральну частину машини, а інший захоплює сніг і відкидає його вбік. Однак, ці снігоочисники не дуже популярні через низьку продуктивність, високе енергоспоживання, складну конструкцію робочого органу і малу дальність відкидання снігу. Роторні снігоочисники залежно від типу робочої секції поділяються на шнеково-роторні (рис. 2), фрезерно-роторні (рис. 3) і плужно-роторні (рис. 4).

Найпоширенішим снігоочисником є шнекороторний снігоочисник (рис. 2), який має два або три шнеки для зрізання снігу.



Рис. 2. Шнеко-роторний снігоочисник

Хоча ці снігоочисники конструктивно прості і надійні в експлуатації, вони не підходять для зрізання важких снігових пластів ущільненого снігу. Фрезерно-роторні снігоочисники - це тип снігоочисних машин, який забезпечує комбінований метод видалення снігу. Вони об'єднують у собі фрезерний і роторний принципи роботи.



Рис. 3. Фрезерно-роторний снігоочисник

Плужно-роторні снігоочисники — це тип снігоочисних машин, які поєднують у собі два основних методи очищення від снігу: плугування і роторне видалення.



Рис. 4. Плужно-роторний снігоочисник

Комбінація плуга та ротора дозволяє не лише збирати сніг, а й дрібнити його, полегшуючи процес очищення.

З метою забезпечення снігоочищення в зимовий період нами запропоновано шнековий снігоочисник, який складається з забірної насадки та транспортуючого трубопроводу (рис. 5).

Визначальними критеріями під час проектування шнекових снігоочисників мають стати їх надійність та забезпечення екологічності в процесі виконання робіт. Для запропонованого шнекового снігоочисника (рис. 5) потрібно знати його раціональні геометричні і кінематичні параметри.

Визначимо основні параметри механізмів шнекового снігоочисника.

Для шнекового снігоочисника вибираємо вихідні параметри, виходячи з інформації про відомі снігоочисники, в яких робочим органом виступає шнек, зокрема:

- діаметр витків гвинтів $D = d_1 = d_2 = 0,45\text{ м}$;

- крок гвинта транспортуючого трубопроводу $P = 0,45 \text{ м}$;
- кут відхилення осі механізму від вертикалі транспортуючого трубопроводу $\alpha = 30^\circ$, та $\alpha = 0^\circ$;
- діаметр вала $d_e = 0,1 \text{ м}$;
- частота оборотів гвинта $n = 18 \text{ хв}^{-1}$;
- об'ємна маса снігу $j = 0,45 \text{ м} / \text{м}^3$ (може змінюватися, залежно від вологості снігу);
- коефіцієнт заповнюваності робочого простору $K_3 = 1$;
- коефіцієнт тертя снігу з кожухом $\mu = 0,55$;
- приймаємо довжину транспортуючого трубопроводу $L_1 = 6 \text{ м}$.

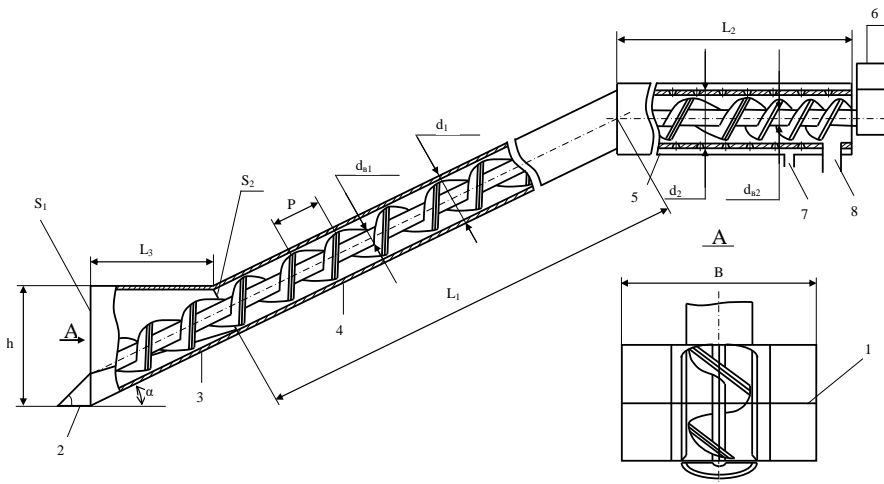


Рис. 5. Схема шнекового снігоочисника: 1 - захисна решітка; 2 - регулятор ходу; 3 - забірна частина; 4, 5 - транспортуючий трубопровід; 6 - привід; 7 - патрубок для води; 8 - патрубок для снігу

Продуктивність шнекового снігоочисника визначається по формулі за продуктивністю транспортуючого трубопроводу:

$$Q = 47 \cdot D^2 \cdot K_3 \cdot n \cdot P \cdot \gamma \cdot K_\alpha, \quad (1)$$

- тут D - діаметр шнека, м;
 K_3 - коефіцієнт заповнюваності;
 n - частота обертання шнека, хв^{-1} ;
 P - крок витків, м;
 γ - об'ємна маса снігу, $\text{т}/\text{м}^3$;

K_α - коефіцієнт, що враховує вплив кута нахилу вісі гвинта до горизонту на його продуктивність (за умови $\alpha = 30^\circ$, $K_\alpha = 0,72$).

$$Q = 47 \cdot 0,45^2 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 0,45 \cdot 0,450 \cdot 0,72 = 24,98 \text{ м} / \text{год}.$$

Крутний момент на валу шнека розраховуємо за співвідношенням:

$$T_1 = 0,5 \cdot D_{\text{сер}} \cdot \text{tg}(\beta + \delta) \cdot F_a, \quad (2)$$

тут $D_{\text{сер}} = 0,6D$;

β - кут нахилу шнека до горизонту, в градусах;

$$\text{tg}\beta = \frac{P}{\pi \cdot D_{\text{сер}}} = \frac{0,45}{3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,45} = 0,5308,$$

$$\beta = \text{arctg} 0,5308 = 28^\circ;$$

δ - кут тертя снігу з шнеком;

$$\text{tg}\delta = \mu, \quad \delta = \text{arctg} 0,72 = 36^\circ;$$

μ - коефіцієнт тертя снігу із кожухом.

F_a - осьова сила, яка діє на шнек, H .

$$F_a = q \cdot L_1 \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha), \quad (3)$$

тут q - вага снігу на 1 м довжини трубопроводу, $H/м$;

L_1 - довжина транспортуючого трубопроводу, $л$;

α - кут нахилу осі шнека, град.

Вага снігу буде:

$$q = 250 \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot K_\alpha \cdot K_3 \cdot \gamma, \quad (4)$$

тут d - діаметр вала, $м$.

$$q = 250 \cdot 3,14 \cdot (0,45^2 - 1^2) \cdot 0,72 \cdot 1 \cdot 0,450 = 51,50 \text{ Н} / \text{м}$$

Тоді: $F_a = 51,50 \cdot 6 \cdot (\sin 30^\circ + 0,72 \cdot \cos 30^\circ) = 347,17 \text{ Н}$

По формулі (7.2):

$$T_1 = 0,5 \cdot (0,6 \cdot 0,45) \cdot 347,17 \cdot \text{tg} 64^\circ = 96,09 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Шнековий снігоочисний пристрій встановлюється на трактор або автомобіль. Під час руху пристрою шар снігу розрізається захисною решіткою 1 і потрапляє до забірної насадки, де стискається до об'єму, що може пройти через січення нерухомого корпусу транспортуючого трубопроводу, робочим органом якого теж є шнек. Його коефіцієнт заповнення повинен бути рівним $K_3=1$. Переміщення снігу у

транспортуючому трубопроводі супроводжується його стисканням шнековим робочим органом із зменшенням кроку витків. В подальшому транспортований сніг потрапляє в кузов агрегатованої машини та вивозиться.

Під час нормальної роботи снігоочисника швидкість обертання шнека пов'язана зі швидкістю руху машини. Порівнюючи продуктивність окремих вузлів, можна встановити, що поступальна швидкість снігоочисника з певним геометричним розміром, певною кутковою швидкістю шнека та певною щільністю снігу залежить від поперечного перерізу снігового покриву, що прибирається. Тому для забезпечення ефективності роботи снігоочисників в різних умовах трансмісія ходової частини машини повинна плавно змінювати свою робочу швидкість в значному діапазоні. Цього можна досягти за рахунок використання турбомуфти.

Висновки. Важливим завданням при розчищенні автомобільних доріг від снігових заметів є правильний вибір снігоочисної техніки, яка використовується на сьогоднішній день. Головною відмінністю шнекового снігоочисника, який запропонований в статті, від інших є шнековий робочий орган, виконаний із змінним кроком витків, що забезпечить підпресовування снігу та зменшення його в об'ємі. Таке конструктивне рішення дозволяє збільшити продуктивність пристрою, дозволяє забезпечити простоту технічного обслуговування та управління.

References

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BD%D1%96%D0%B3%D0%BE%D0%BE%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B0
2. <https://web.archive.org/web/20180518072801/https://nsidc.org/cryosphere/snow/removal.html>
3. PG.1-218-118:2005. Uniform rules for winter road maintenance. Ukrdorttechnology. - Kharkiv, 2005.

Література

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BD%D1%96%D0%B3%D0%BE%D0%BE%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B0
2. <https://web.archive.org/web/20180518072801/https://nsidc.org/cryosphere/snow/removal.html>
3. ПГ.1-218-118:2005. Єдині правила зимового утримання автомобільних доріг. Укрдорттехнологія. – Харків, 2005.

З М І С Т

Бакулін Є.А., Русяцька М.В.	Базальтовий утеплювач – природний «зелений матеріал» для сучасних конструкцій.....5
Гапонова Л.В., Іванов Є.М.	Сучасні технології фотограмметрії для перетворення об'єкта на 3D-модель 16
Гомон Св.Св., Довбенко Т.О., Петренко О.В.	Підвищення міцності деревини автоклавним просоченням лляною олією24
Гомон О.О., Чапюк О.С., Савчук С.М.	Використання клеєної деревини у промисловості35
Довгань О.Д., Вировой В.М., Ляшенко Т.В., Довгань П.М.	Особливості організації мікроструктури декоративних композитів43
Drobyshtynets S.Y., Uzhehova O.A., Bondarskyi O.G., Uzhehov S.O., Rotko S.V., Deneychuk V.E.	The results of the inspection of the structures of the extension to the public building in Lutsk57
Задорожний А.О., Човнюк Ю.В., Стаховський О.В., Чередніченко П.П., Остапущенко О.П.	Аналітичні розв'язки спрощених рівнянь руху у задачах балістики матеріальної точки67
Ksonshkevych L.M., Krantovska O.M., Synii S.V., Malakhov V.V., Ksonshkevych A.S.	Ensuring the functioning of engineering, transport networks thanks to the strengthening of damaged reinforced concrete columns of their structures80

Кущенко В.М., Шуляр Р.А.	Циклічні навантаження і розрахунок на витривалість сталевих конструкцій рамних укісних шахтних копрів89
Матвіюк О.В., Гомон Св.Св., Бурнаєв О.М.	Міцність та деформівність конструкційної модифікованої деревини ялини та ясена за експлуатації у водному середовищі106
Мельник Ю.А., Верешко О.В., Парфентьева І.О., Станкевич Б.Ю.	Реконструкція та благоустрій парку в селищі Ратне120
Мікуліч О.А., Фурс Т.В., Шемет В.Я., Войтюк І.М.	Вплив модифікаторів на структурно-фізичні характеристики жорстких пінополіуретанів 126
Парфентьева І.О., Мельник Ю.В., Степанюк В.О.	Дослідження занедбаних будівель Волинської області та оцінка їх адаптаційного потенціалу для потреб громади136
Пасічник Р.В., Боярчук Б.А., Пасічник О.С., Задорожнікова І.В.	Модульні системи: концепція, енергоефективність та функціональні можливості в умовах реконструкції 144
Пахолук О.А., Самчук В.П., Чапюк О.С., Онищук О.М.	Рівень тепловтрат систем опалення існуючих будівель153
Пашинський В.А., Пашинський М.В., Фоміна Т.В.	Розвиток методики визначення необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій 161
Піріг Я.І., Оксак С.В., Ільїн Я.В., Місніченко С.О.	Визначення пластичності литої асфальтобетонної суміші за значенням крутного моменту172

Ротко С.В., Талах Л.О., Дудка С.С.	Проектування багатоповерхових виробничих будівель із урахуванням стійкості до прогресуючого обвалення у ПК SCAD++.....182
Ротко С.В., Ужегова О.А., Задорожнікова І.В., Рябий О.І.	Аналіз ефективності використання високоміцних бетонів у стиснутих елементах монолітних каркасних будівель 191
Synii S.V., Ksonshkevych L.M., Krantovska O. M., Sunak P.O., Uzhehov S.O., Orešković M.	Holovan's House: determination methodology of measures for the storm drains sewerage of buildings and territory199
Сідун Ю.В., Гунька В.М., Поляк О.Є., Куліков Д.О.	Кислотні числа – критерій придатності бітумів для шарів зносу із литих емульсійно-мінеральних сумішей дорожніх покриттів 206
Смолянюк Р.В.	Вплив колійності на покритті автомобільної дороги на безпеку руху під час виконання маневрів автомобілями215
Тімкіна С.Ю.	Визначення місця розміщення павільйону та рекомендації з проектування зупинок маршрутного пасажирського транспорту224
Федоренко О.В.	Підвищення довговічності дорожнього одягу на мостових спорудах за рахунок використання тонкошарових покриттів230
Фоменко О.О., Сєдов А.В.	Сучасні матеріали для герметизації швів в дорожніх покриттях і конструктивних елементах автомобільних доріг240

Човнюк Ю.В., Задорожний А.О., Стаховський О.В., Чередніченко П.П., Сергєєв О.В., Довгопол Ю.І., Гончарук Є.В.	Моделювання коливань системи підресорювання ходової частини гусеничних вантажопідійомних машин251
Шимчук О.П., Процюк В.О., Талах Л.О., Панчук Ю.М.	Аналіз снігоочисної техніки та заходи, направлені на покращення зимового утримання автомобільних доріг262

Наукове видання

Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 22

Видається двічі на рік

Верстка С.В. Ротко

Матеріали друкуються в авторській редакції. За стилістику та орфографію статей відповідальність несуть автори

Підписано до друку 3 грудня 2024 р.

Формат 60 × 84 1/16. Папір офсетний

Умовн.друк.арк. 17,25. Обл. вид. арк. 16,8. Тираж 100 пр. Зам. № 850

Відділ іміджу та промоції Луцького національного технічного
університету, 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75

Друк – Вежа-Друк. Зам. № 850

(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.