

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ, МАТЕРІАЛИ І КОНСТРУКЦІЇ В БУДІВНИЦТВІ

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
Заснований у 2004 році

№ 1, 2023 (34)

2023

Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: Науково-технічний журнал. –
Вінниця: ВНТУ. – 2023. – № 1 (34). – 190 с.

Науково-технічний журнал “Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві” є науковим фаховим виданням, що входить до **категорії Б** і може публікувати результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора та кандидата технічних наук зі спеціальностей:

192 – Будівництво та цивільна інженерія (Наказ МОНУ № 1301 від 15.10.2019 р).
183 – Технології захисту навколишнього середовища (Наказ МОНУ № 1301 від 15.10.2019 р).
131 – Прикладна механіка (Наказ МОНУ № 1643 від 28.12.2019 р).
132 – Матеріалознавство (Наказ МОНУ № 1643 від 28.12.2019 р).

Журнал цитується в **Index Copernicus** та **Google Scholar**.

Розділи журналу

- Будівельні конструкції
- Механіка ґрунтів та фундаменти
- Моделювання процесів будівельного виробництва
- Міське будівництво та архітектура
- Енергозбереження в будівництві
- Будівельні матеріали та вироби
- Технологія будівельного виробництва
- Організація, управління та економіка в будівництві
- Інженерні мережі будівель та споруд
- Технології захисту навколишнього середовища

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради ВНТУ, протокол № 11 від 29 червня 2023 р.

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР
Заступник головного редактора
Відповідальний секретар

Дудар Ігор Нікіфорович, д.т.н., проф.
Ратушняк Георгій Сергійович, к.т.н., проф.
Швец Віталій Вікторович, к.т.н., доцент

Члени редакційної колегії журналу

Білик С. І., д.т.н., проф.	Україна	Очеретний В. П., к.т.н., доцент	Україна
Джеджула В. В., д.е.н., проф.	Україна	Паламарчук І. П., д.т.н., проф.	Україна
Меть І. М., к.т.н., доцент.	Україна	Пушкарьова К. К., д.т.н., проф.	Україна
Желих В. М., д.т.н., проф.	Україна	Ротштейн О. П., д.т.н., проф.	Ізраїль
Зянько В. В., д.е.н., проф.	Україна	Савуляк В. І. д.т.н., проф.	Україна
Ковальський В. П., к.т.н., доцент	Україна	Саницький М. А., д.т.н., проф.	Україна
Кривенко П. В., д.т.н., проф.	Україна	Сердюк В. Р., д.т.н., проф.	Україна
Кучеренко Л. В., к.т.н., доцент	Україна	Смоляк В. В. к.а., доцент	Україна
Лялюк О. Г., к.т.н., доцент	Україна	Степанов Д. В., к.т.н., доц.	Україна
Менейлюк О. І., д.т.н., проф.	Україна	Ткаченко С. Й., д.т.н., проф.	Україна
Моргун А. С., д.т.н., проф.	Україна	Уйма Адам, проф.	Польща
Мороз О. В., д.е.н., проф.	Україна	Гамеляк І. П., д.т.н., проф.	Україна
Назаренко І. І., д.т.н., проф.	Україна	Христич О. В., к.т.н., доцент	Україна

Адреса редакції:
Україна, 21021, м. Вінниця,
вул. Воїнів інтернаціоналістів, 7
ВНТУ, к. 3237

Тел.: (0432) 46-52-04

Питання щодо подання статей:
Тел.: +38 (068) 216-07-60
E-mail: v.shvets@vntu.edu.ua
Сайт: <http://stmkvb.vntu.edu.ua>

ЗМІСТ
БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

- Попов В. О., Войцехівський О. В., Криклива К. П.
**СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ ВЕЛИКОРОЗМІРНОГО РЕЗЕРВУАРУ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ
МЕТАНОЛУ** 6
Вінницький національний технічний університет
- Попов В. О., Войцехівський О. В., Стінський О. В.
**ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ РЕКОНСТРУКЦІЇ
СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОДНОПРОЛІТНИХ МОСТІВ** 19
Вінницький національний технічний університет
- Дорошенко В. С.¹, Янченко О. Б.²
**МЕТАЛЕВІ НЕСУЧІ І ГЕРМЕТИЗУЮЧІ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ПІДЗЕМНИХ ТА
ЗАХИСНИХ СПОРУД** 27
¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ
²Вінницький національний технічний університет

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

- Ковальський В. П., Тимошенко В. О.
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ ВИНОСУ В
БУДІВНИЦТВІ** 36
Вінницький національний технічний університет
- Kovalskiy V., Mingjun G.
**THE INFLUENCE OF DEICING SALT ON AIR VOIDS OF ASPHALT MIXTURE
UNDER FREEZE-THAW CYCLE** 43
Vinnitsa National Technical University
- Швець В. В., Постолатій М. О.
**РОЗРОБКА ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО БУДІВЕЛЬНОГО БЛОКУ З
ВИКОРИСТАННЯМ ПІНОПОЛІСТИРОЛУ, ТЕХНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ ТА
ПІНОУТВОРЮВАЧА** 51
Вінницький національний технічний університет
- Березюк О. В., Лемешев М. С., Ширококов В. Л.
**ДИНАМІКА ОБСЯГІВ ПРОДУКУВАННЯ ВІДХОДІВ БУДІВНИЦТВА І ЗНЕСЕННЯ
У МІСТІ КИСВІ** 57
Вінницький національний технічний університет
- Кузнецова О. В., Іванова Л. В.
**ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ І МІЦНІСТЬ БЕТОНІВ ПРИ РОЗТЯЗІ ПІСЛЯ
ПОПЕРЕДНЬОГО ОБТІСНЕННЯ НА ОСНОВІ ЙОГО СТРУКТУРНОЇ ТЕОРІЇ** 63
Черкаський державний технологічний університет

МЕХАНІКА ҐРУНТІВ ТА ФУНДАМЕНТИ

- Корчевський Б. Б., Колесник А. В.
**ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК АРМОВАНИХ ОСНОВ З УРАХУВАННЯМ
АНІЗОТРОПІЇ ҐРУНТІВ** 69
Вінницький національний технічний університет
- Дорошенко В. С.¹, Янченко О. Б.²
**ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ МОБІЛЬНИХ ФУНДАМЕНТІВ ТА
ЛИВАРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ** 74
¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ
²Вінницький національний технічний університет

- Моргун А. С., Меть І. М., Чен Яньмей, Колесник А. В.
**ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСУЧОЇ СПРОМОЖНОСТІ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА
 ЗА ЧИСЛОВИМ МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ** 79
 Вінницький національний технічний університет

ТЕХНОЛОГІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

- Бабій І. М.¹, Кучеренко Л. В.²
**МОДЕЛЮВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ДЛЯ
 ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ ПРОЄКТУ УТЕПЛЕННЯ ФАСАДІВ З
 ОБЛИЦЮВАННЯМ ШТУКАТУРКАМИ** 84
¹Одеська державна академія будівництва і архітектури
²Вінницький національний технічний університет

- Сердюк В. Р.
**РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАВІСНИХ
 ВЕНТИЛЬОВАНИХ ФАСАДІВ ПРИ УТЕПЛЕННІ БУДІВЕЛЬ** 91
 Вінницький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

- Співак О. Ю., Резидент Н. В., Кримняк Я. М.
**АНАЛІЗ СКЛАДОВИХ ЕКСЕРГЕТИЧНОГО ККД
 КАМЕРНОЇ КОНВЕКТИВНОЇ СУШАРКИ** 101
 Вінницький національний технічний університет

МІСЬКЕ БУДІВНИЦТВО ТА АРХІТЕКТУРА

- Хороша О. І., Субін-Кожевнікова А. С., Данильчук А. Р.
**УРБАНІЗАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ: ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ
 ТРАНСПОРТНИХ ПРОБЛЕМ** 107
 Вінницький національний технічний університет

- Хороша О. І., Субін-Кожевнікова А. С., Вікторова Є. М., Кушнір М. М.
**КОЛОРИСТИКА ФАСАДІВ БУДІВЕЛЬ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ ТА ЇЇ
 ВПЛИВ НА ФОРМУВАННЯ СЕРЕДОВИЩА** 115
 Вінницький національний технічний університет

- Риндюк С. В., Пташка О. М.
РЕКОНСТРУКЦІЯ ТЕРИТОРІЇ ВИШЕНСЬКОГО ПАРКУ У МІСТІ ВІННИЦЯ 121
 Вінницький національний технічний університет

- Бабій І. М.¹, Риндюк С. В.², Жадан О. Л.²
**РЕАБІЛІТАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ ЯК ЧАСТИНА МІСЬКОГО
 ПРОСТОРУ** 127
¹Одеська державна академія будівництва і архітектури
²Вінницький національний технічний університет

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В БУДІВНИЦТВІ

- Степанов Д. В., Степанова Н. Д., Оникієнко С. М., Мартиненко В. В.
ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГРОМАДСЬКОЇ БУДІВЛІ 134
 Вінницький національний технічний університет

- Ратушняк Г. С., Бікс Ю. С., Лялюк А. О.
**МОНІТОРИНГ ТА ЕКСПЕРТНО-АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ
 ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ БУДІВЕЛЬ** 140
 Вінницький національний технічний університет

ОРГАНІЗАЦІЯ, УПРАВЛІННЯ ТА ЕКОНОМІКА В БУДІВНИЦТВІ

Андрухов В. М., Басистий В. О., Мартинюк Ю. О., Гладкий С. О.
**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОЦІНЦІ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ** 146
Вінницький національний технічний університет

Андрухов В. М., Потеха А. С., Мартинов І. С.
**ПОЄДНАННЯ ВІМ-ТЕХНОЛОГІЇ З СИСТЕМАМИ САД ДЛЯ РОЗРОБКИ
РОБОЧОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОНОЛІТНИХ
КОНСТРУКЦІЙ** 152
Вінницький національний технічний університет

Сердюк В. Р.
**ЦИРКУЛЯРНА ЕКОНОМІКА: УКРАЇНСЬКІ РЕАЛІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ
ВПРОВАДЖЕННЯ В БУДІВЕЛЬНІ ГАЛУЗІ** 156
Вінницький національний технічний університет

Лубенська Н. О.¹, Рольф Петрі¹, Єрмаков В. М.², Дятел О. О.²
ПРОЦЕС РЕФОРМУВАННЯ ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ НІМЕЧЧИНИ 165
¹Дослідницький центр пост-майнінгу, Технологічний університет імені Георга Агріколи;
²Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Біліченко Ю. О., Петрук Р. В.
**ЗНИЖЕННЯ ЕВТРОФІКАЦІЇ ТА ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМ ЗА ДОПОМОГОЮ
ВОДЯНОГО ГІАЦИНТУ** 172
Вінницький національний технічний університет

Біліченко Ю. О., Петрук Р. В.
**АНАЛІЗ ЗАГРОЗ ЕВТРОФІКАЦІЇ ВОДИ СЕРЕДИННОЇ ДІЛЯНКИ БАСЕЙНУ
РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ** 177
Вінницький національний технічний університет

Кватернюк С. М.¹, Мандебура С. В.^{1,2}, Латуша Д. Р.¹
**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
ДРЕНАЖНИХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ ВОДНО-БОЛОТНИХ УГІДЬ** 183
¹Вінницький національний технічний університет
²Уманський державний педагогічний університету ім. Павла Тичини

Технічний секретар: М. А. Максименко

БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

УДК 624.014, 624.953, 621.642.39

DOI 10.31649/2311-1429-2023-1-6-18

В. О. Попов
О. В. Войцехівський
К. П. Криклива

СЕЙСМОСТІЙКІСТЬ ВЕЛИКОРОЗМІРНОГО РЕЗЕРВУАРУ
ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ МЕТАНОЛУ

Вінницький національний технічний університет

У статті розроблена методика аналітичного моделювання сейсмічних впливів на будівельні конструкції великорозмірної ємності для зберігання метанолу у вигляді імпульсивного та конвективного гідродинамічного тиску рідини. На основі розроблених математичних моделей сейсмічного впливу виконано моделювання напружено-деформованого стану ємності методом скінчених елементів. При моделюванні враховано викривлення геометрії ємності, набутої протягом тривалої експлуатації, а також, зниження міцності конструкції ємності внаслідок корозійних явищ. Розглянута загальноприйнята закордонна методика розрахунку сейсмостійкості для оцінки міцності і довговічності будівельних конструкцій резервуарів. Методика адаптована до вітчизняних норм. В результаті аналізу можливих розрахункових ситуацій виявлено, що найбільш небезпечним станом для ємності є сейсмічний вплив із горизонтальним напрямним косинусом. Виконані чисельні обчислення за запропонованою методикою аналітичного моделювання сейсмічного впливу для ємності обсягом 20 000 м³, що збудована у м. Южне Одеської області. Визначено оціночну висоту збуреної хвилі, яка може виникати на поверхні метанолу при сейсмічному струсі. Доведено, що для збереження цілісності конструкцій даху, а також, для забезпечення сейсмостійкості інших будівельних конструкцій, слід обмежити наповнення резервуару продуктом на рівні 61 % від загальної місткості. Верифіковано найбільш напружені ділянки обичайки, якими виявилися припорні шари бічної стінки, а також, найбільш вірогідні граничні стани при сейсмічному струсі (втрата стійкості форми).

Розроблений технологічний регламент з подальшої безпечної експлуатації споруди, виходячи з умов забезпечення сейсмостійкості, а також, окреслено напрямки подальших наукових досліджень за цією тематикою.

Ключові слова: резервуар, ємність, метанол, напружено-деформований стан, сейсмічні впливи, магнітуда, імпульсивний та конвективний тиск.

Вступ

Ця наукова робота є логічним продовженням попередніх досліджень стосовно вивченню роботи великорозмірних ємностей для зберігання метанолу під дією комплексу навантажень [1]. Дослідження присвячені аналітичній оцінці міцності, стійкості і довговічності великорозмірних резервуарів, які використовуються для потреб хімічної промисловості на прикладі резервуару для зберігання метанолу загальним об'ємом 20 000 м³, що розташований на території Одеського припортового заводу у м. Южне під дією сейсмічних впливів (магнітуда сейсмічних впливів будмайданчику – 8 балів [2] з урахуванням ґрунтових умов II категорії).

Конструкція ємності, яка розглядається, являє собою металевий вертикальний циліндричний безкаркасний резервуар для зберігання метанолу, виготовлений з листової сталі який конструктивно складається з листового днища; циліндричної листової обичайки (стінки) змінної по висоті товщини, що захищена жалюзійним екраном з південного боку; тонколистового сферичного даху; опорного кільця жорсткості між обичайкою та дахом; сервісних майданчиків та інших технологічних агрегатів. Ємність встановлена на залізобетонному плитно-кільцевому ростверку, який передає навантаження на скельний ґрунт основи через систему паль. Доступ до конструкцій ємності забезпечується через шахтні сходи та перехідний місток (рис. 1). Ємність є частиною складського комплексу для зберігання метанолу, який, загалом, складається з чотирьох резервуарів, розташованих відстані близько 30 м один від одного і функціонально зв'язаних конструкціями перехідних містків. З конструктивної та технологічної точки зору ємності працюють як окремі споруди.

Основні технічні параметри ємності: діаметр обичайки – 39,9 м; загальна висота споруди від рівня цоколя – 21,52 м; висота циліндричної частини – 17,89 м; корисний об'єм – 20 000 м³. Ємність запроектована згідно з вимогами [3 – 4]. Клас наслідків (відповідальності) ємності – СС-3 (значні наслідки) [1, 5]. Більш докладно про конструкцію ємності та її технічні параметри дивись [1, 3, 4].

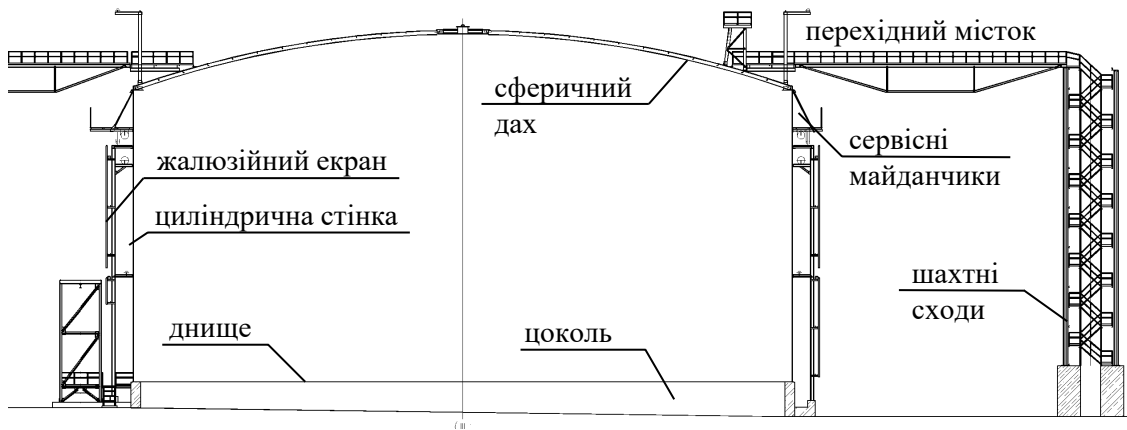


Рисунок 1 – Конструктивна схема ємності для зберігання метанолу.

В результаті вибіркового контролю геометрії бічних стінок було встановлено, що відхилення стінок ємності від вертикалі у поза експлуатаційному (порожньому) стані на найгірших ділянках знаходяться в межах від -40 до $+129$ мм, що перевищує гранично встановлені відхилення $f_u = \pm 0,005 \cdot H_c = \pm 90$ (мм) та, місцями, перевищує допустимі відхилення для відповідного місцевого відхилення поясу ($f_u = \pm 0,005 \cdot H_{\text{рівня}} = \pm 12$ мм / 1 м.л. [1], [3 табл. 8]). Встановлено, також, що конструкції ємності зазнали корозійного зносу, особливо окремі елементи днища, знос яких, місцями складає до 15 ... 17 %. Корозійний знос конструкцій стінок менше встановлених розрахункових зносів за період 30-річної експлуатації (втрати перерізу до 5 %). Корозійний знос листових елементів зашивки даху не перевищує 10 % [1].

Основна частина

Аналітичне моделювання напружено-деформованого стану ємності під дією кліматичних і технологічних впливів було виконано у [1]. Моделювання виконано з урахуванням викривлення геометрії споруди, набутих під час тривалої експлуатації. В роботі [1] для оцінки надійності та довговічності будівельних конструкцій розглянуто п'ять можливих режимів роботи (основна комбінація навантажень): гідростатичні випробування, які виконують під час капітальних і поточних ремонтів (заповнення 100 % циліндричної частини резервуару морською водою); робочий режим (заповнення ємності на 95 % об'єму циліндричної частини метанолом з надлишковим тиском інертних газів 500 мм вод. ст.); вакуум 50 мм вод. ст. при змінному рівні рідини (випорожнення ємності у аварійних умовах); стан нормальної експлуатації (робочий надлишковий тиск інертних газів – 400 мм вод. ст., гідростатичний тиск від заповнення ємності метанолом на висоту до 12,8 м); вакуум 25 мм вод. ст. (експлуатаційний стан в момент викачки робочої рідини). Було доведено, що для будівельних конструкцій споруди найгіршим впливом є вакуум, який може виникати в аварійній ситуації.

Тут розглядається вплив на ємність аварійної комбінації навантажень від сейсміки (постійні навантаження + тимчасові навантаження від гідростатичного впливу метанолу + надлишковий тиск інертного газу + сейсмічні гідродинамічні та інерційні впливи). На цей час в нашій державі відсутні стандартні методики розрахунку сейсмостійкості ємностей для зберігання метанолу. Тому для оцінки сейсмостійкості необхідно використати одну зі стандартних закордонних методик. На сьогодні найбільш поширеними методиками з оцінки сейсмічних впливів від реологічних середовищ на резервуари є методики, пов'язані з визначенням одночасної дії гідростатичних і гідродинамічних тисків.

Оскільки ймовірність сейсмічного впливу в момент гідростатичних випробувань нескінченно мала, для попередньої оцінки міцності стінок та стійкості від перекидання споруди ємності, розглянемо аварійну розрахункову ситуацію сейсмічного впливу магнітудою 8 балів в момент наповнення ємності метанолом до рівня 11 м (65 % місткості) від рівня днища з надлишковим тиском інертних газів 400 мм вод. ст.

Для оцінки міцності споруди розглядається невідгідна ситуація, коли один з горизонтальних напрямних косинусів рівний 1, водночас вертикальний напрямний косинус рівний нулю. Цей стан найбільш небезпечний виходячи з критеріїв стійкості від перекидання.

За відсутності достовірної вітчизняної нормативної методики для оцінки сейсмічних впливів на будівельні конструкції резервуару згідно рекомендацій [6], використаємо методику, викладену у [7],

яка полягає у визначенні гідродинамічних компонент тиску, що може виникати від сил інерції при сейсмічному струсі.

Сумісна дія від корисного заповнення (метанолу) на стінки резервуару при сейсмічних впливах згідно [7] буде складатися з таких навантажень: гідростатичний тиск продукту та навантаження від надлишкового тиску газів (азоту); імпульсивна складова гідростатичного тиску p_i ; конвективна складова гідростатичного тиску p_c .

Імпульсивна складова виникає від частини рідини (метанолу), що під час сейсмічних струсів рухається разом зі стінками резервуару. Вимушені коливання рідини (метанолу) всередині резервуару, що призводять до появи хвиль на її поверхні, утворюють конвективний тиск.

Беручи до уваги вихідні дані з [1] виконаємо оцінку верхньої межі хвилі, що збурюється у ємності від сейсмічних впливів, з урахуванням встановлених у [1] експлуатаційних обмежень (гранична висота заповнення ємності метанолом – $h_{pu} = 11 \text{ м}$).

Повна маса рідини (метанолу, густиною $\rho = 792 \text{ кг/м}^3$) у ємності:

$$m = \frac{\rho \cdot \pi \cdot h_{pu} \cdot D_{ен}^2}{4} = \frac{792 \cdot \pi \cdot 11 \cdot 39,9^2}{4} = 10\,893 \text{ (м)}.$$

Співвідношення висоти рідини до діаметра основи: $\gamma = h_{pu} / D_{ен} = 11 / 39,9 = 0,276$.

Імпульсивна маса рідини (метанолу) за [7, формула (7.4)]:

$$m_i = \frac{th(0,866 / \gamma)}{0,866 / \gamma} \cdot m, [\text{Т}]. \quad (1)$$

Підставляючи вихідні дані у формулу (1), отримуємо $m_i = 3459 \text{ м}$.

Висота імпульсивної маси без урахування тиску на днище при $\gamma = 0,276 < 0,75$ [6, формула (7.5)]:
 $h_i^* = 0,375 \cdot h_{pu}$, [М]. $h_i^* = 0,375 \cdot h_{pu} = 0,375 \cdot 11 = 4,125 \text{ (м)}$.

Вага будівельних конструкцій ємності та ізоляції: $m_s = 2011 \text{ м}$

Зкорегована імпульсивна маса з урахуванням ваги ємності та ізоляції:
 $m_i^{corr} = m_i + m_s = 3459 + 2011 = 5470 \text{ (м)}$.

Центр мас ємності знаходиться на відмітці h_s від верхнього обрізу фундаментів, яку можна обчислити за формулою (2):

$$h_s = \frac{M_{cm} \cdot h_{cm} + M_{\partial x} \cdot h_{\partial x} + M_{\partial n} \cdot h_{\partial n} + M_{nl} \cdot h_{nl} + F_{\partial x} \cdot h_{\partial x} / g}{m_s}, [\text{М}], \quad (2)$$

де: h_{cm} ; $M_{\partial x}$, $h_{\partial x}$; $M_{\partial n}$, $h_{\partial n}$; M_{nl} , h_{nl} , відповідно, маса та висота центра мас стінки (обичайки), даху, днища та площадок над рівнем верхнього обрізу фундаментів, $F_{\partial x}$ – паспортна вага теплоізоляції покрівлі, g – прискорення вільного падіння.

$$h_s = \frac{(736,3 + 324,5) \cdot 8,54 + (432,2 + 128,2) \cdot 19,488 + 283,1 \cdot 0,039 + 106,9 \cdot 17,3}{2011,2} = 10,86 \text{ (м)}$$

Зкорегована висота прикладання імпульсивної складової маси рідини обчислюється за формулою (3), яка наведена у [7]:

$$h_i^{corr*} = \frac{m_i \cdot h_i^* + m_s \cdot h_s}{m_i + m_s}, [\text{М}]. \quad (3)$$

Підставляючи обчислені величини у формулу (3) отримуємо $h_i^{corr*} = 6,6 \text{ м}$.

Конвективна маса рідини, яка коливається незалежно від ємності та збурює небезпечну хвилю на поверхні метанолу, обчислюється за формулою (4), що наведена у [6]:

$$m_c = \frac{0,23}{\gamma} \cdot th(3,68 \cdot \gamma) \cdot m \quad (4)$$

Підставляючи обчислені величини у формулу (3) отримуємо $m_c = 6972 m$.

Жорсткість умовних пружних зв'язків між конвективною масою та стінкою ємності обчислюється за формулою (5), що наведена у [7]:

$$K_c = \frac{0,846 \cdot m \cdot g}{h_{pu}} \cdot th^2(3,68 \cdot \gamma) \cdot \left[\frac{MH}{m} \right] \quad (5)$$

$$K_c = \frac{0,846 \cdot 10\,893 \cdot 10^3 \cdot 10}{11} \cdot th^2(3,68 \cdot 0,276) = 4,943 \left(\frac{MH}{m} \right).$$

Висота прикладання конвективної маси без урахування тиску на днище ємності за співвідношенням (6), що наведена у [7]:

$$h_c^* = \left(1 - \frac{ch(3,68 \cdot \gamma) - 1}{3,68 \cdot \gamma \cdot sh(3,68 \cdot \gamma)} \right) \cdot h_{pu} \quad (6)$$

$$h_c^* = \left(1 - \frac{ch(3,68 \cdot 0,276) - 1}{3,68 \cdot 0,276 \cdot sh(3,68 \cdot 0,276)} \right) \cdot 11 = 5,929 \text{ (м)}.$$

Оціночне значення періоду першої форми власних коливань конвективної маси рідини (метанолу) можна обчислити за формулою (7), що наведена у [7]:

$$T_j^c = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{3,68 \cdot \frac{g}{D_{\text{вн}}} \cdot th(3,68 \cdot \gamma)}}, \text{ [с]} \quad (7)$$

У випадку сейсмічного впливу у напрямку осі 0x:

$$T_j^c = T_x^c = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{3,68 \cdot \frac{10}{39,9 \cdot 10^3} \cdot th(3,68 \cdot 0,276)}} = 7,465 \text{ (с)}.$$

Максимально можлива висота хвилі може бути обчислена за співвідношенням (8), що наведене у джерелі [7]:

$$d_j^{\max} = 0,42 \cdot \frac{D_{\text{вн}} \cdot A_j^{c \max}}{g}, \text{ [М]} \quad (8)$$

де $A_j^{c \max} = A_{\text{hor}}^{\max} \cdot \beta(T_j^c) \cdot K_I \cdot K_{\Psi}^c$ – максимальне розрахункове прискорення для конвективної маси в напрямку j ; $K_I = 0,5$ – коефіцієнт, що враховує непружні деформації ємності для прийнятої категорії сейсмостійкості ІІІ, [7, п. 5.13], $\beta(T_j^c)$ – коефіцієнт динамічності.

У першому наближенні у випадку сейсмічного впливу в напрямку осі 0x:

$$A_j^c = A_x^c = A_{\text{hor}}^{\max} \cdot \beta(T_x^c) \cdot K_I \cdot K_{\Psi}^c, \text{ [М/с}^2\text{]} \quad (9)$$

Коефіцієнт розсіювання енергії K_{Ψ}^c залежить від відносного демпфування споруди ξ . При відсутності точних даних про коефіцієнт демпфування, прийнято для відносного демпфування по верхній та нижній оціночних межах за рекомендаціями [7, п. 5.12].

Звідки $\xi = 0,005$ [7, табл. 5.4], відповідно $K_{\Psi}^{c \max} = 2,16$ – верхня оціночна межа;

$\xi = 0,2$ [6, табл. 5.4], $K_{\Psi}^{c \min} = 0,65$ – при– нижня оціночна межа;

$A_{hor}^{max} = 2,0 \text{ м/с}^2$ – максимальне прискорення при землетрусі магнітодою 8 балів [6, п. 5.9],

$\beta(T_X^c) = \beta(T_X^c = 7,465 \text{ с}) = \max \left\{ 2,5 \cdot \sqrt{\frac{0,8}{T_X^c}}; 0,8 \right\}$ (для II категорії ґрунтів за сейсмічними

властивостями) [7, табл. 5.1]. $\beta(T_X^c) = \max \left\{ 2,5 \cdot \sqrt{\frac{0,8}{7,465}} = 0,818; 0,8 \right\} = 0,818$.

$A_X^{max} = 2,0 \cdot 0,818 \cdot 0,5 \cdot 2,16 = 1,767 \text{ (м/с}^2\text{)}$ – верхня оціночна межа сейсмічного прискорення.

$A_X^{min} = 2,0 \cdot 0,818 \cdot 0,5 \cdot 0,65 = 0,532 \text{ (м/с}^2\text{)}$ – нижня оціночна межа сейсмічного прискорення.

Максимально можливі висоти хвиль, відповідно, при максимальному і мініальному значенні сейсмічного прискорення згідно з формулою (8):

$$d_j^{max} = d_X^{max} = 0,42 \cdot \frac{D_{ен} \cdot A_X^{max}}{g} = 0,42 \cdot \frac{39,9 \cdot 1,767}{10} = 2,961 \text{ (м)}.$$

$$d_j^{min} = d_X^{min} = 0,42 \cdot \frac{D_{ен} \cdot A_X^{min}}{g} = 0,42 \cdot \frac{39,9 \cdot 0,532}{10} = 0,892 \text{ (м)}.$$

Сума висот рівня рідини (метанолу) h_{pu} та максимального значення висоти хвилі d_j^{max} менше за висоту циліндричної обичайки H_c :

$$h_{pu} + d_j^{max} = 11,0 + 2,961 = 13,961 \text{ (м)} < H_c = 17,89 \text{ м}.$$

Умову виконано. Поява хвилі не призводить до гідравлічного удару по внутрішній поверхні даху ємності.

Розрахункова динамічна модель споруди з урахуванням маси порожньої ємності та додаткових конструкцій показана на рис. 2.

Для встановленої на поверхні землі ємності період коливань обчислюється за формулою (10), яка наведена у джерелі [7]:

$$T_j^i = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_i}{K_{c,j}}}, \text{ [с]}, \quad (10)$$

де $K_{c,j}$ – умовна жорсткість фіктивної пружини, що відповідає спільним коливанням рідини та корпусу ємності, яка обчислюється за співвідношенням (11), дивись [7, формула (А.3)]:

$$K_{c,j} = m_i \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{D_{ен}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta_c \cdot E}{h_{pu} \cdot \rho}} \cdot (0,46 - 0,3 \cdot \gamma + 0,067 \cdot \gamma^2) \right)^2 \cdot \left[\frac{MH}{M} \right]. \quad (11)$$

Підставляючи відомі величини у вираз (11) отримуємо $K_{c,j} = 4173 \text{ МН/м}$.

Підставляючи відомі величини $K_{c,j}$ та m_i у формулу (10) отримуємо оціночне значення періоду власних коливань імпульсивної маси при впливі землетрусу:

$$T_j^i = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{3459 \cdot 10^3}{4173 \cdot 10^6}} = 0,18 \text{ (с)}.$$

Перевіряємо умову [7, формула (7.14)]:

$$\frac{T_j^c}{T_j^i} = \frac{7,465}{0,18} = 41,47 > 2,5.$$

Умову виконано. Розрахункова динамічна модель ємності (рис. 2) може розглядатися, як дві незалежні моделі з одним ступенем вільності для імпульсивної та конвективної маси.

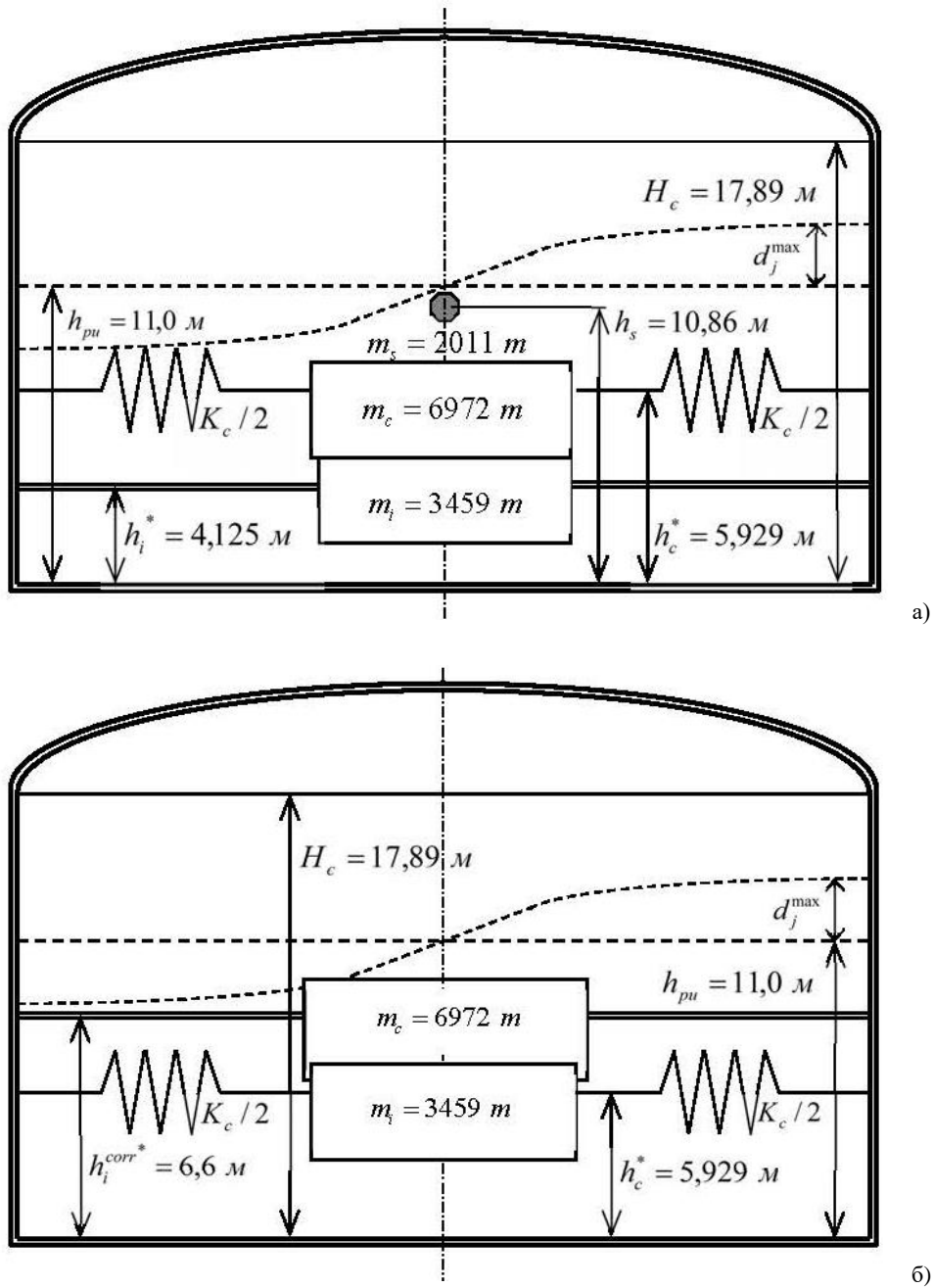


Рисунок 2 – Модель циліндричної ємності при розрахунку на сейсмічні впливи: а – з урахуванням масово-інерційних та жорсткісних характеристик ємності, б – спрощена модель.

Загальний надлишковий тиск на стінки ємності на відмітці z від імпульсивної та конвективної складових маси рідини (метанолу) визначається за [7, с. 40]:

$$P_j = \sqrt{P_j^{i^2}(z) + P_j^{c^2}(z)}, \text{ [кПа]}, \quad (12)$$

де $P_j^i(z) = 0,866 \cdot A_{j,1}^i \cdot h_{pu} \cdot \rho \cdot th\left(\frac{0,866 \cdot D_{en}}{h_{pu}}\right) \cdot \left(1 - \left(\frac{z}{h_{pu}}\right)^2\right)$ – імпульсивний тиск на стінки, [7, формула (7.47)];

$$P_j^c(z) = 0,375 \cdot A_j^c \cdot D_{en} \cdot \rho \cdot \frac{ch\left(3,674 \cdot \frac{z}{D_{en}}\right)}{ch\left(3,674 \cdot \frac{h_{pu}}{D_{en}}\right)} - \text{конвективний тиск на стінки, [7, формула (7.48)].}$$

Причому, згідно з [7], прийнято, що при $z > h_{pu}$, $P_j = 0$, тобто вплив від збуреної хвилі на ділянки стінок ємності вище $h_{pu} = 11 \text{ м}$ не враховується.

У першому наближенні у випадку сейсмічного впливу в напрямку осі Ox для 1-ої форми коливань ємності:

$$A_{j,k}^i = A_{X,1}^i = A_{hor}^{\max} \cdot \beta(T_{X,1}^i) \cdot K_I \cdot K_{\Psi}^i, [\text{м/с}^2]. \quad (13)$$

де $K_{\Psi}^i(\xi_i = 0,04) = 1,30$ – коефіцієнт урахування імпульсивного демпфування споруди (коефіцієнт розсіювання енергії), верхня оціночна межа за рекомендаціями [7, п. 5.12]; $\beta(T_X^i) = \beta(T_X^i = 0,18 \text{ с}) = 2,5$ (для II категорії ґрунтів за сейсмічними властивостями) [7, табл. 5.1].

Підставляючи дані у формулу (13) отримуємо $A_{X,1}^{\max} = 2,0 \cdot 2,5 \cdot 0,5 \cdot 1,3 = 3,25 \text{ (м/с}^2\text{)}$ – верхня оціночна межа сейсмічного прискорення при першій формі коливань ємності.

Узагальнюючи вирази для імпульсивного та конвективного тисків рідини (метанолу) на стінки об'ємної, отримуємо відповідні функціонали (14) та (15):

$$P_j^i(z) = 0,866 \cdot 3,25 \cdot 11 \cdot 792 \cdot th\left(\frac{0,866 \cdot 39,9}{11}\right) \cdot \left(1 - \left(\frac{z}{11}\right)^2\right) = 24,43 \cdot \left(1 - \left(\frac{z}{11}\right)^2\right), (\text{кПа}). \quad (14)$$

$$P_j^c(z) = 0,375 \cdot 1,767 \cdot 39,9 \cdot 792 \cdot \frac{ch\left(3,674 \cdot \frac{z}{39,9}\right)}{ch\left(3,674 \cdot \frac{11}{39,9}\right)} = 13,44 \cdot ch\left(\frac{z}{10,86}\right), (\text{кПа}). \quad (15)$$

Розрахунковий гідростатичний тиск рідини (метанолу) на бічну стінку ємності при впливі сейсміки з урахуванням надлишкового тиску інертного газу (азоту) можна обчислити за формулою (16):

$$p_a^p = (\rho \cdot g \cdot (z - h_{pu}) \cdot \gamma_{fm1} + \gamma_{fm2} \cdot p_n) \cdot \gamma_n^{Ia}, [\text{кПа}]. \quad (16)$$

Підставляючи відомі величини у формулу (16) отримуємо:

$$p_a^p = (792 \cdot 10 \cdot (z - 11) \cdot 1,1 + 1,2 \cdot 4 \cdot 10^3) \cdot 1,05 = 9,148 \cdot (z - 11) + 5,04, (\text{кПа}).$$

Чисельні дані гідродинамічних тисків $P_{j=X}^i(z)$, $P_{j=X}^c(z)$, $P_{j=X}(z)$ та гідростатичного тиску з надлишковим тиском азоту на стінки ємності при сейсміці для $z = [0, h_{pu}]$ зведені до табл. 1.

Розрахунковий загальний гідродинамічний тиск $P_{j=X}(z)$ спрямований у напрямку умовної осі споруди Ox (тобто в перерізі ємності zOx).

Для знаходження гідродинамічних тисків в довільній точці бічної стінки ємності (що утворює кут між напрямком осі Ox до відрізка від заданої точки до центра ємності φ), необхідно скористатися формулами (17) ... (19):

$$P_{j=X}^i(z; \varphi) = P_{j=X}^i(z) \cdot \cos(\varphi), [\text{кПа}]. \quad (17)$$

$$P_{j=X}^c(z; \varphi) = P_{j=X}^c(z) \cdot \cos(\varphi), [\text{кПа}]. \quad (18)$$

$$P_{j=X}(z; \varphi) = \sqrt{P_{j=X}^i(z; \varphi)^2 + P_{j=X}^c(z; \varphi)^2} \cdot [\text{кПа}]. \quad (19)$$

Тиск на бічну стінку ємності при сейсміці від метанолу.

Рівень	Відстань від рівня днища, z , м	Товщина стінки, Δ_i , мм	Сейсмічний гідродинамічний тиск, кПа			Гідростатичний + надлишковий тиск, $p_a^p(z)$, кПа
			Імпульсивний $P_j^i(z)$	Конвективний $P_j^c(z)$	Загальний, $P_j(z)$	
1	0	17	24,43	13,44	27,88	105,66
2	1,49	16	23,98	13,56	27,55	92,03
3	2,98	14	22,64	13,95	26,59	78,40
4	4,47		20,39	14,59	25,08	64,77
5	5,96		17,26	15,51	23,20	51,14
6	7,45		13,22	16,72	21,32	37,51
7	8,94		8,29	18,25	20,05	23,88
8	10,43		2,47	20,12	20,27	10,25
	11,0		0	20,94	20,94	5,04
9	11,92	13	0	0	0	5,04
10	13,91		0	0	0	5,04
11	15,99		0	0	0	5,04
	17,89		0	0	0	5,04

Схема прикладання гідродинамічних тисків до стінок ємності показана на рис. 3.

Для оцінки надійності та довговічності ємності під дією сейсмічних впливів розроблено скінчено елементу модель напружено-деформованого стану з урахуванням недосконалостей геометрії (викривлення елементів обичайки та даху, корозійне зменшення товщини елементів). Прийнято не вигідний горизонтальний напрямок сейсмічного впливу в напрямку осі Ox (напрямно $\cos X = 1$). Розрахунки моделей виконані з урахуванням жорсткого кріплення ємності до основи (тобто за умови відновлення та підсилення анкерних конструкцій). Модель споруди показана на рис. 4.

Для аварійної комбінації навантажень (постійні впливи + сейсміка + корисний тиск від робочої рідини з надлишковим тиском азоту) загальні осьові напруження у елементах обичайки, σ_o , складаються з напружень від власної ваги металоконструкцій ємності $p_{\Sigma gi}^p$, тиску на стінки від корисних впливів на сервісні майданчики $p_{\Sigma Fp}$:

$$\sigma_o^p = p_{\Sigma gi}^p + p_{\Sigma Fp} \quad (20)$$

Радіальні (кільцеві) напруження σ_k викликані гідростатичним тиском рідини (метанолу) p_a^p , гідродинамічними імпульсивною та конвективною складовими $P_{j=X}^i(z)$, $P_{j=X}^c(z)$. При розрахункових впливах кільцеві напруження рівні:

$$\sigma_k^p = \frac{\left(p_a^p \pm \sqrt{P_{j=X}^i(z)^2 + P_{j=X}^c(z)^2} \right) \cdot D_{\text{вн}}}{2 \cdot \Delta_i} \quad (21)$$

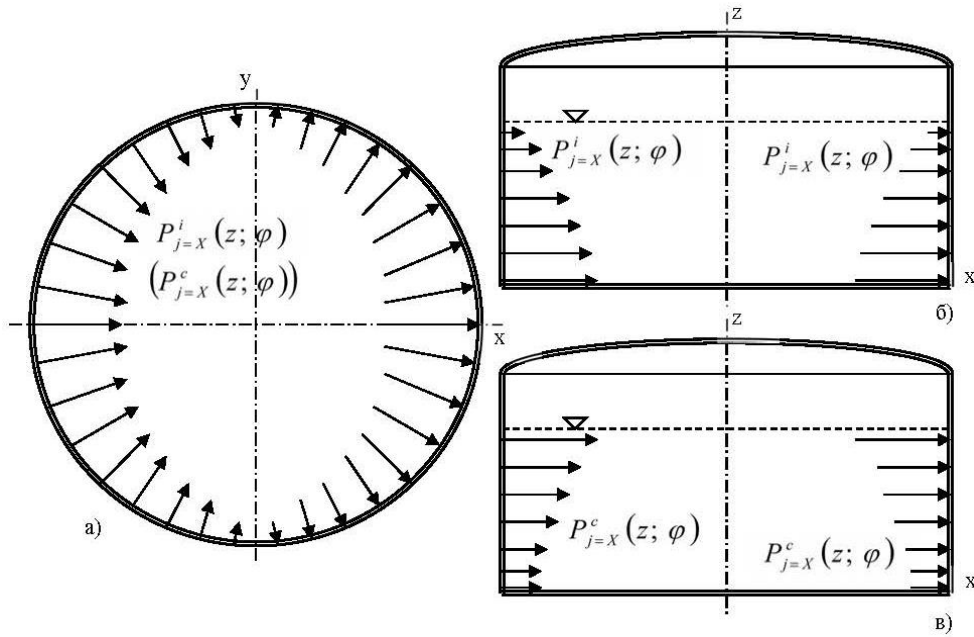


Рисунок 3 – Схема прикладання гідродинамічних тисків: а – розподіл тисків у плані на відмітці $z \leq h_{pu}$, б – імпульсивний тиск у перерізі $z0x$, в – конвективний тиск у перерізі $z0x$.

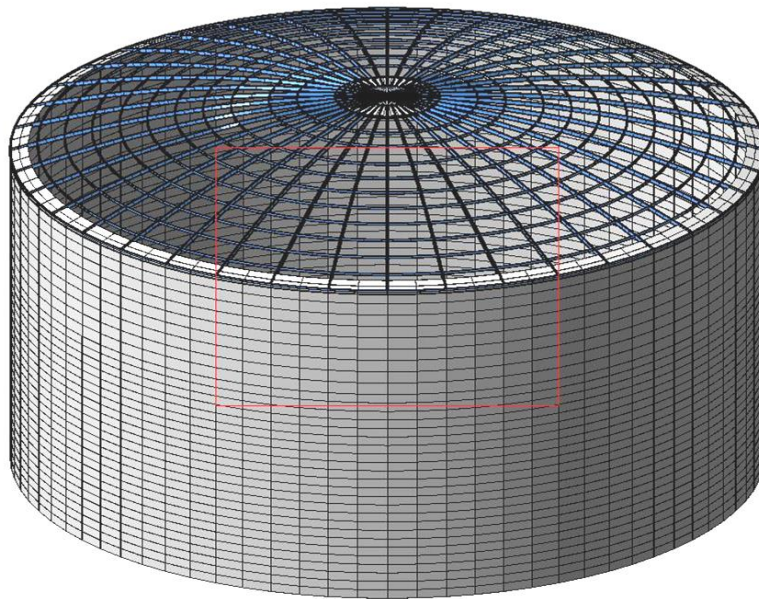


Рисунок 4 – Ізометричне зображення скінчено-елементної модель ємності (зашивка даху умовно не показана).

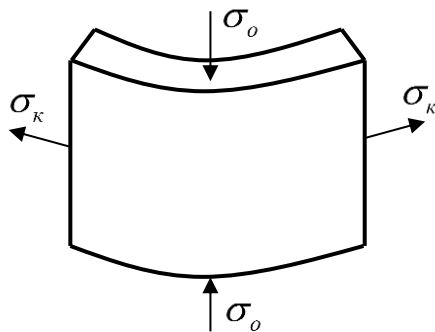


Рисунок 5 – Напружений стан довільного елемента циліндричної обичайки (стінки) ємності при сейсмічному впливі.

Еквівалентні напруження для оболонки, які працюють за безмоментною теорією, за умови, що дотичні напруження малі у порівнянні з нормальними, визначаються за [9]:

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_o^2 + \sigma_k^2 - (\sigma_k \cdot \sigma_o)^2}, \text{ [МПа]}. \quad (22)$$

Наближені значення еквівалентних напружень з урахуванням корозійного зносу можна розрахувати за формулою (23):

$$\sigma_{екв, \max} = \sigma_{екв} \cdot \frac{\Delta_i}{\min\{\Delta_{i, \min}, S_{n, \min}\}}, \text{ [МПа]}. \quad (23)$$

З урахуванням функціональних залежностей (20) ... (23) було обчислено напруження в стінках обичайки. Розподіл еквівалентних напружень при розрахунку за 1-ю групою граничних станів за енергетичною теорією Губера-Хенки-Мізесса показаний на рис. 6.

Гранично допустимі напруження в металі бічної стінки визначаємо за формулою (24):

$$[\sigma] = \gamma_c \cdot R_y, \text{ [МПа]}, \quad (24)$$

де R_y – розрахунковий опір прокату [9, табл. Г.2], $\gamma_c = 0,7$ – коефіцієнт умов роботи стінки в рівні днища при розрахунку міцності, $\gamma_c = 0,8$ – те саме для інших елементів стінки [9, табл. 5].

$$1\text{-й рівень: } \sigma_{екв, \max} = 142 \text{ МПа} < [\sigma] = 199,5 \text{ МПа};$$

$$2\text{-й рівень: } \sigma_{екв, \max} = 138 \text{ МПа} < [\sigma] = 228 \text{ МПа};$$

$$3\text{-й рівень: } \sigma_{екв, \max} = 118 \text{ МПа} < [\sigma] = 228 \text{ МПа};$$

...

$$11\text{-й рівень: } \sigma_{екв, \max} = 94 \text{ МПа} < [\sigma] = 192 \text{ МПа}.$$

Умову міцності виконано. Міцність металоконструкцій всіх рівнів обичайки при дії сейсмічних впливів забезпечена.

Деформації елементів обичайки від сейсміки в напрямку осі 0x (що співпадає з вектором напрямного косинусу сейсмічного удару) показані на рис. 7.

Максимальні деформації (випучування) стінок від дії сейсмічних впливів у горизонтальному напрямку при заповненні ємності на рекомендовану висоту 11 м (61 % загальної місткості) складають 19,1 мм. Оскільки при сейсмічних впливах деформації не нормуються [7, 10, 11], а їх загальна величина не призводить до значної зміни форми резервуару, всі умови за граничними станами виконуються.

Розрахунок конструкцій ємності на втрату стійкості форми циліндричної оболонки та сферичного даху від сейсмічних впливів доводить, що цей граничний стан для ємності є більш ймовірним, ніж інші граничні стани.

Підтверджено, що для забезпечення стійкості оболонки в цілому, необхідною передумовою є примусове зниження її місткості (65 % від проектного, 11 м) через зростання вимог надійності, викривлення геометрії та корозійний знос. Аналогічні розрахунки, виконані для ємності із проектним заповненням метанолу (17 м, 100 % місткості) та на рекомендовану у [1] висоту 12,8 м (75 % місткості) засвідчують, що міцність та стійкість стінок резервуару при цих умовах не забезпечена. В першому випадку може виникати гідроудар збуреною хвилею по елементах даху ємності з не оборотними деформаціями даху та необоротні деформації стінок з можливою втратою герметичності. У другому – можливий граничний стан втрати міцності фрагментів стінки з можливою втратою герметичності).

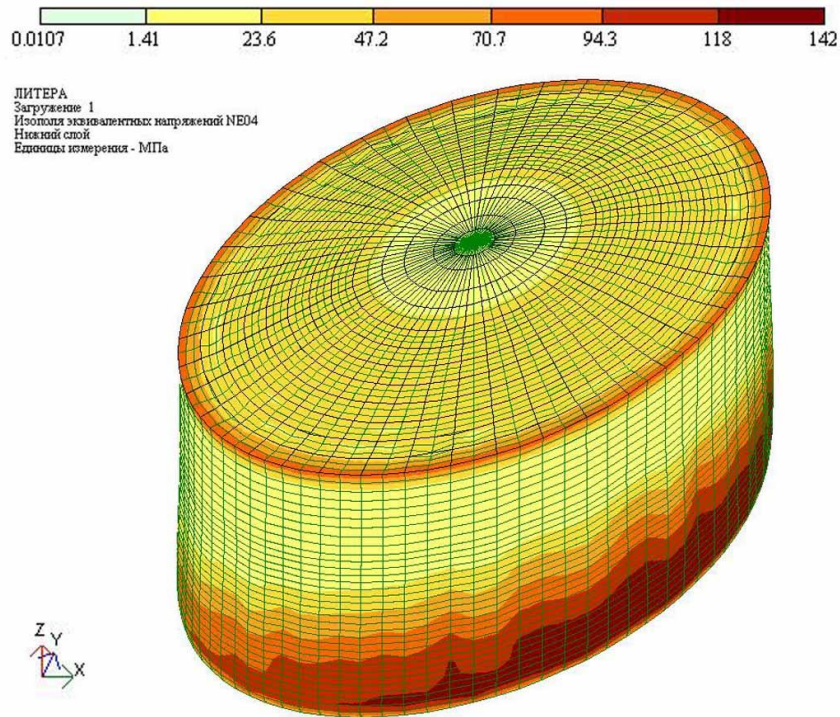


Рисунок 6 – Эквивалентні напруження в стінках обичайки від сейсмічного впливу в напрямку ударної хвилі по осі Oz за енергетичною теорією міцності, МПа.

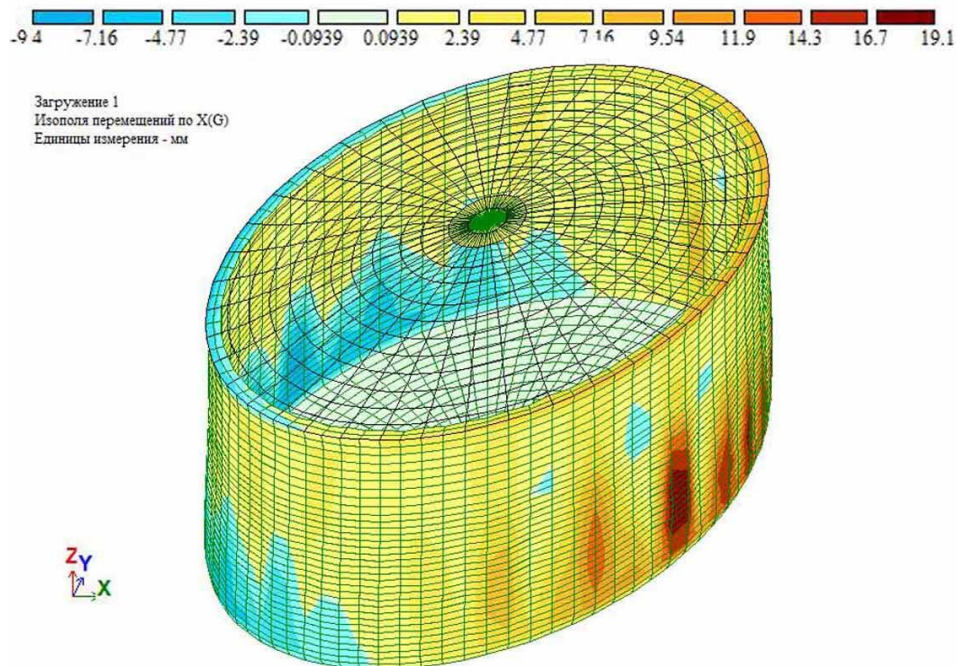


Рисунок 7 – Деформації елементів обичайки від сейсміки в напрямку осі Ox, що співпадає з вектором напрямного косинусу сейсмічного удару, мм (зашивка даху умовно не показана).

Висновки

Розроблено аналітичну модель сейсмічних впливів від реологічних середовищ на конструкції великорозмірних ємностей на прикладі резервуару для зберігання метанолу корисним об'ємом 20 000 м³, який знаходиться у м. Южне Одеської області. Аналітична модель побудована за загальноприйнятою закордонною методикою, викладеною у [6], яка адаптована до вітчизняних норм. Ця методика пропонується, як основа для розробки національних стандартів з визначення оціночних величин сейсмічних впливів від реологічних середовищ на стінки ємностей.

В результаті аналізу моделі напружено-деформованого стану конструкції ємності для зберігання метанолу під дією сейсмічних впливів з урахуванням втрат від корозії, механічних пошкоджень та

деформацій елементів, що суттєво знизило міцність, жорсткість, надійність та довговічність споруди, встановлено.

1. Найбільш невідповідним з точки зору міцності і стійкості ємності є сейсмічний вплив з горизонтальним напрямним косинусом.

2. Рекомендоване у [1] наповнення ємності (12,8 м, 75 % від загальної місткості) необхідно ще зменшити, виходячи з критерію сейсмостійкості (до 11 м, 65 % проектного заповнення).

3. Найбільші еквівалентні напруження у обичайці ємності зосереджені в її нижніх рівнях.

4. Для уточнення напружено-деформованого стану споруди, локалізації ділянок, що потребують підсилення необхідні подальші ґрунтові наукові дослідження, які повинні включати розробку високо деталізованої моделі споруди методом скінчених елементів з урахуванням недосконалостей геометрії під дією вакууму.

5. Загальні рекомендації з подальшої експлуатації споруди (технічний регламент) за умови забезпечення сейсмостійкості.

5.1. Врахувати всі рекомендації з безпечної експлуатації, наведені у [1].

5.2. Знизити граничну висоту заповнення ємності метанолом з проектної висоти 17 м до рівня 11 м. Розрахункова місткість резервуара знижується до 13 750 м³ метанолу.

5.3. Встановити постійний геодезичний контроль за дефектними ділянками ємності, що випучилися, шляхом встановлення маркерів на вершинах цих ділянок та постійно слідкувати за їх розташуванням у просторі.

5.4. Виконати ремонтно-відновлювальні роботи на фрагментах даху ємності, які небезпечно прогнулися за час тривалої експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Попов В.О., Попова А.В. Аналітичне моделювання напружено-деформованого стану резервуару для зберігання метанолу об'ємом 20000 м³ від технологічних та кліматичних впливів. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. Вінниця, ВНТУ, 2021-1. С. 87-98.
2. ДБН В.1.1.12:2014. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівництво в сейсмічних районах України. Введ. З 1.10.2014 р. на заміну ДБН В.1.1.12:2006. К.: Мінрегіон України, 2014 – 110 с.
3. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа. ВБН В.2.2-58.2-94. / Держкомнафтогаз. – К.: Укрнафтопродукт, 1994. – 98 с. – (Відомчі будівельні норми України).
4. Генкин А. Э. Оборудование химических заводов: Учеб. пособие для техникумов. – 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Высш. Шк., 1986. – 280 с.: ил.
5. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. К.: Мінбуд України, 2009. – 37 с. – (Державні будівельні норми України).
6. Байда Д.М., Сазонова І.Р. Особливості розрахунку сталевих резервуарів при дії сейсмічних впливів. Будівництво в сейсмічних районах України. Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / ДП «ДНДІБК». – Випуск 76. – К., 2012. – С. 154–159.
7. СТО-СА-03.003-2009. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на сейсмические воздействия. М., 2009 – 77 с.
8. ДБН В.1.2-:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. [На заміну СНиП 2.01.07-85 (крім розділу 10)]. [Чинний від 2007-01-01] – К.: Мінбуд України, 2006. – 71 с. – (Державні будівельні норми України).
9. ДБН В.2.6-168:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. На заміну ДБН В.2.6-163:2010 у частині розділу 1 та ДСТУ Б В.2.6-194:2013. [Дата надання чинності 01.01.2015 р.] – К.: Мінрегіон України, 2014. – 199 с. – (Національний стандарт України).
10. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. Введ. З 1 січня 2007 р. на заміну розділу 10 СНиП 2.01.07-85. К.: Мінбуд України, 2006. – 10 с.
11. СНиП 2.09.03-85. Сооружения промышленных предприятий. ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 57 с. – (Будівельні норми і правила).

REFERENCES

1. Popov V.O., Popova A.V. Analytical modeling of the stressed-deformed state of a reservoir for storing methanol with a volume of 20000 m³ from technological and climatic influences. Modern technologies, materials and construction in building. Scientific and technical collection. Vinnytsya, VNTU, 2021-1. S. 87-98.
2. DBN V.1.1.12:2014. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiynykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivnytstvo v seysmichnykh rayonakh Ukrainy. Vved. Z 1.10.2014r. na zaminu DBN V.1.1.12:2006. K.: Minrehion Ukrainy, 2014 – 110 s.
3. Rezervuary vertykal'ni stalevi dlya zberihannya nafty ta naftoproduktiv z tyskom nasychenykh pariv ne vyshche 93,3 kPa. VBN V.2.2-58.2-94. / Derzhkomnaftohaz. - K.: Ukrnaftoprodukt, 1994. - 98 s. – (Vidomchi budivel'ni normy Ukrainy).
4. Henkin A. E. Obladnannya khimichnykh zavodiv: Navch. posibnyk dlya tekhnikumiv. - 4-te vyd., Pererob. I dod. - M.: Vyshch. Shk., 1986. - 280 s.: Il.
5. DBN V.1.2-14-2009. Zahal'ni pryntsyepy zabezpechennya nadiynosti ta konstruktyvnoyi bezpeky budivel', sporud, budivel'nykh konstruktсий ta osnov. K.: Minbud Ukrainy, 2009. - 37 s. – (Derzhavni budivel'ni normy Ukrainy).

6. Bayda D.M., Sazonova I.R. Osoblyvosti rozrakhunku stalevoho rezervuaru pry diyi seysmichnykh vplyviv. Budivnytstvo u seysmichnykh rayonakh Ukrainy. Budivel'ni konstruktsiyi: Mizhvidomchyy naukovu-tekhnichnyy zbirnyk naukovykh prats' (budivnytstvo) / DP «DNDIBK». – Vypusk 76. – К., 2012. – S. 154–159.
7. STO-SA-03.003-2009. Sudyny ta aparaty. Normy ta metody rozrakhunku na mitsnist'. Rozrakhunok na seysmichni diyi. М., 2009 – 77 s.
8. DBN V.1.2-:2006. Navantazhennya ta vplyvy. Normy proektuvannya. [Na zaminu SNiP 2.01.07-85 (krim rozdil 10)]. [Chynne vid 2007-01-01] – К. : Minbud Ukrainy, 2006. – 71 s. – (Derzhavni budivel'ni normy Ukrainy).
9. DBN V.2.6-168:2014. Stalevi konstruktsiyi. Normy proektuvannya. Na zaminu DBN V.2.6-163:2010 u chastyni rozdil 1 ta DSTU B V.2.6-194:2013. [Data nadannya chynnosti 01.01.2015 r.] – К.: Minrehion Ukrainy, 2014. – 199 s. – (Natsional'nyy standart Ukrainy).
10. DSTU B V.1.2-3:2006. Prohyny ta peremishchennya. Vymohy proektuvannya. Vved. Z 1 sichnya 2007 r. na zaminu rozdil 10 SNiP 2.01.07-85. К.: Minbud Ukrainy, 2006. - 10 s.
11. SNiP 2.09.03-85. Sporudy promyslovykh pidpryyemstv. TSYTP Derzhbudu SRSR, 1986. - 57 s. – (Budivel'ni normy ta pravyla).

Попов Володимир Олексійович — к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: v.a.popov.vntu@gmail.com. ORCID 0000-0003-2379-7764

Войцехівський Олександр Владиславович – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії; завідувач науково-дослідної лабораторії ефективних будівельних конструкцій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: voichevinn@gmail.com

Крикльва Катерина Павлівна – магістр Вінницького національного технічного університету.

V. Popov
O. Voitsehivskiy
K. Kryklyva

SEISMIC RESISTANCE OF A LARGE METHANOL STORAGE TANK

Vinnitsia National Technical University

The paper contains the methods of analytical modeling of the seismic loads at the large-sized tanks in the form of impulsive and convective hydrodynamic pressures of the liquid. Have been performed the simulation of the stress-strain state of the tank by the finite element method basis on the developed mathematical models of seismic impact. The simulation takes into account the distortion of the tank's geometry, obtained as a result of long-term operation and reduction in the strength of tank structures due to corrosive wear. Have been considered the generally accepted foreign method for calculating seismic resistance for assessing the strength and durability of tank's building structures. The method is adapted to the requirements of national standards. Have been revealed that the most dangerous state for the tank is seismic action with a horizontal direction cosine as a result of the analysis of possible design situations. Have been performed the numerical calculations using the proposed method of analytical modeling of seismic impact for a tank with a volume of 20 000 m³, built in the Yuzhny city, Odessa region. Have been determined the estimated height value of the excited wave, which can appear on the surface of methanol during a seismic shock. Have been proven that in order to preserve the integrity of the roof structures, as well as to ensure the seismic resistance of other structures, the filling of the tank with the product should be limited to 61% of the total design capacity. Have been verified the most overloaded sections of the shell, which are the supporting layers of the side wall, as well as the most probable limit conditions during a seismic shock (buckling).

Have been developed the technological regulations for further safe operation of tank based on seismic resistance and outlined directions for further scientific research on this topic.

Key words: tank, methanol, stress-strain state, seismic load, magnitude, impulsive and convective pressure.

Popov Vladimir O. — Ph.D. Docent of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnitsia national technical university, Vinnitsia city, email: v.a.popov.vntu@gmail.com

Voitsehivskiy Oлександр V. — Ph.D. docent of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Head of research laboratory of effective building structures, Vinnitsia national technical university, Vinnitsia city, email: voichevinn@gmail.com

Kryklyva Kateryna – Master of Vinnitsia National Technical University.

В. О. Попов
О. В. Войцехівський
О. В. Стінський

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДІВ РЕКОНСТРУКЦІЇ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОДНОПРОЛІТНИХ МОСТІВ

Вінницький національний технічний університет

У статті набув подальшого розвитку метод підсилення сталезалізобетонних однопролітних мостових споруд, що зазнали зносу внаслідок тривалої експлуатації потребують та вимагають розширення. Описано конструктивні рішення та принцип роботи під навантаженням існуючих типових сталезалізобетонних однопролітних мостів. Як приклад розглянуто реальну аварійну мостову споруду у смт. Дашів Гайсинського району Вінницької області, що потребує невідкладної реконструкції. Докладно описано основні конструктивні елементи мосту, та їх технічний стан. Показано можливі раціональні способи розширення та підсилення споруди у двох варіантах. Варіант 1 – підсиленням існуючих сталевих і залізобетонних конструкцій з частковим перекриттям дорожнього руху. Варіант 2 – заміною прогонової будови із повним перекриттям роботи мосту на час виконання будівельно-монтажних робіт. Для першого і другого варіантів розроблено принципові конструктивні схеми реконструкції споруди. Описано технологічну послідовність посилення мостової споруди за обома заданими методами, проаналізовано переваги та недоліки, а також, оцінено вартісні показники реконструкції кожного з запропонованих варіантів. Доведено, що метод посилення (варіант 1) більш доцільний за необхідності часткової експлуатації споруди під час виконання будівельно-монтажних робіт. Такий метод дозволяє відновити проектну несучу здатність мостової споруди із забезпеченням сучасних габаритних вимог та вимог безпеки руху за менші кошти. Методу повної заміни прогонової будови (варіант 2), не дивлячись на вищу вартість, слід віддавати перевагу у всіх інших випадках, з огляду на динаміку постійного зростання транспортного потоку у нашій державі. При варіанті 2 можна досягти не тільки потрібних габаритних, а й більш високих несучих характеристик мостової споруди за більш короткий термін. Надійність та ефективність кожного з методів підтверджено відповідними міцнісними розрахунками.

Ключові слова: сталезалізобетонний міст, пролітна будова, просторова сталева ферма, напружено-деформований стан, реконструкція.

Вступ

Ця робота є логічним продовженням попередніх досліджень, присвячених раціональним способам реконструкції мостових споруд, розглянутих у [1 – 4].

Відомо, що в Україні, в умовах воєнного стану особлива увага приділяється критичній транспортній інфраструктурі. Навіть другорядні дорожні системи в цей складний час мають стратегічне значення, як альтернативні транспортні артерії для перевезення вантажів різного призначення. Значення автодоріг суттєво підвищується і через неможливість використання традиційних авіаційних та морських шляхів. Найбільш конструктивно складними та відповідальними структурними елементом автодороги є мостові споруди. Результати наукових досліджень, присвячених оцінці ступеня зносу дорожнього фонду показують, що саме мости є найбільш зношеними конструкціями та потребують невідкладних ремонтних заходів [1 – 4]. Тому роботи з модернізації мостів, розпочаті в мирний час, в рамках програми Президента «Велике будівництво», повинні проводитись без зупину і під час воєнного стану для збільшення вантажопідйомності та пропускної здатності автомобільних доріг України, загалом, та мостових споруд, зокрема.

На цей час в Україні частину загального фонду автодорожніх мостів на дорогах місцевого і національного значення складають сталезалізобетонні споруди. Такі споруди утворені металевими пролітними балочними чи фермовими системами, що формують основний опорний «скелет» споруди та залізобетонних плит, що сприймають безпосередній вплив від дорожнього покриття. Залізобетонні плити або улаштовані вільно обпертими на металевий остов (тоді слід говорити про незалежну поведінку залізобетонної і сталеві складових споруди під навантаженням), або конструктивно зв'язані стад-болтами з металоконструкціями та працюють спільно у вигляді суцільної сталезалізобетонної прогонової будови. Такі споруди зводилися протягом 50-х ... 60-х років минулого століття.

Яскравим прикладом мостової споруди, виконаної за сталезалізобетонною схемою і зведеної за Радянських часів, є міст через річку Сорока у смт. Дашів Вінницької області на дорозі державного значення Р-33 [4] (рис. 1).



Рисунок 1 – Загальний вигляд сталевозалізобетонного мосту на автодорозі державного значення Р-33 у смт. Дашів до реконструкції. Тут: 1 – залізобетонна двохконсольна прогонова плита, 2 – просторова сталева ферма, 3 – берегова опора, 4 – перильне огородження.

Територія, де збудований об'єкт реконструкції розташований у I кліматичній зоні та, згідно з класифікацією [5] знаходиться у 3-му вітровому, 4-му сніговому та 3-му ожеледному районі. Враховуючи можливі економічні збитки, споруда належить до класу наслідків (відповідальності) – СС-2 (середні наслідки), згідно з [6]. За [7] клас наслідків – II.

Прогонова будова мосту виконана однопролітною, сталевозалізобетонною. Монолітна залізобетонна плита прогонової будови прямокутного перерізу з консольним виступом тротуарної частини, має довжину близько 22 м, загальну ширину 8,86 м та товщину під автодорогою 440 мм. Плита опирається на три металеві ферми з паралельними поясами з трикутно-стійочною системою грат висотою 2,1 м, крок ферм 2,76 м. Верхній та нижній пояси ферм виконані таврового перерізу висотою 200...340 мм. Сійки ферм виконані зі спарених кутиків $\perp 100 \times 75 \times 8$, що з'єднані між собою у тавр пластинами товщиною 12 мм. Опорні розкоси виконані зі спарених у таври кутиків $\perp 130 \times 90 \times 10$, решта розкосів виконані зі спарених кутиків $\perp 130 \times 90 \times 8$. Сійкість ферм забезпечується поперечними хрестовими зв'язками улаштованими у вертикальній площині та горизонтальними зв'язками у площині верхніх та нижніх поясів ферм. Робоче армування монолітної прогонової плити через відшарування захисного шару проглядається на існуючій споруді на багатьох ділянках. Під проїзною частиною виявлені арматурні стрижні класу А-I діаметром 10 ... 16 мм, що улаштовані з кроком близько 100 мм. Тротуар влаштований з обох боків проїзної частини у вигляді консольних звисів монолітної плити прогонової будови. Конструкція мосту до реконструкції зображена на рис. 2 та 3.

В результаті інструментальних досліджень стану споруди було виявлено, що, згідно з класифікацією [8], мостова споруда знаходиться в обмежено працездатному стані.

Головними проблемами мосту є не забезпечення міцності сталевозалізобетонної прогонової конструкції. При нормативних тимчасових впливах для дороги Р-33 (III категорія) інтенсивністю НК-100, А-15 [9] основні несучі конструкції мосту перевантажені.

Ферми вимагають підсилення та зниження корисних динамічних впливів до НК-80 та А-11 [9]. Габарит проїзної частини Г-6,94 м не відповідає вимогам [10, табл. 5.1]. Існуюча ширина тротуару (0,75 м) не відповідає нормативним вимогам (2,25 м). Міцність бетонного каменю залізобетонних плит прогонової будови, встановлена за результатами інструментального обстеження, відповідає класу В15 та не відповідає вимогам [11, табл. 3.4], тобто, мінімум В30 для прогонових конструкцій.

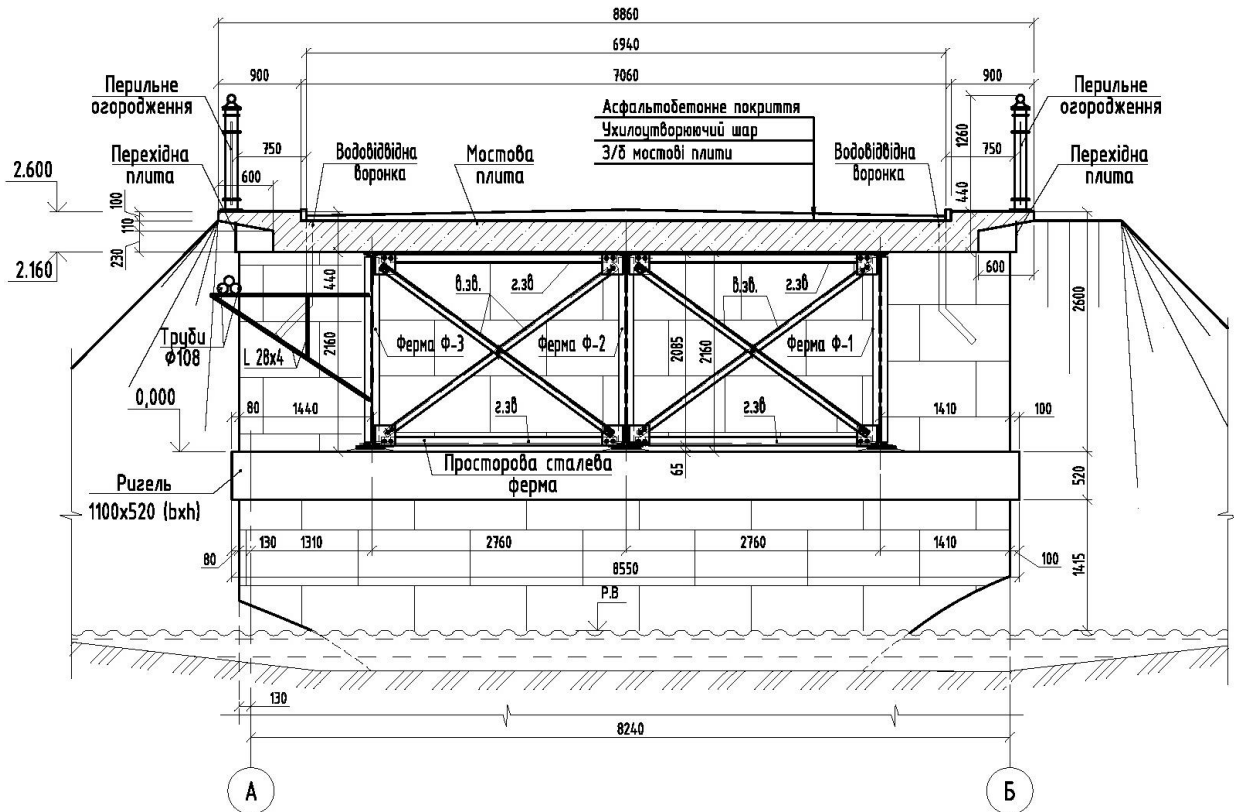


Рисунок 2 – Конструктивна схема мосту існуючого аварійного мосту у смт. Дашів.



Рисунок 3 – Конструкція прогонової будови мосту на дорозі Р-33 у смт. Дашів у вигляді просторової ферми з накладною двохконсольною залізобетонною плитою (вид знизу).

Постановка проблеми

На цей час завдання підсилення непридатних до нормальної експлуатації прогонових будов мостових споруд, загалом, та сталезалізобетонних споруд, зокрема, здійснюється різними способами [1, 2, 4, 12]. Дотепер універсального ефективного рішення підсилення сталезалізобетонних балочних мостових споруд не існує. У кожного з методів підсилення є як переваги, так і недоліки [12]. Техніко-економічне порівняння варіантів показує, що перевагу має той метод, який дає тривалий позитивний ефект [2]. Іноді оптимальним варіантом виявляється зведення нової мостової споруди, або заміна пролітної будови із збереженням та підсиленням мостових опор. Тому доцільним і актуальним є пошук

раціонального конструктивного рішення підсилення прогонової будови сталезалізобетонних мостових споруд на прикладі реальної споруди у смт. Дашів Гайсинського району Вінницької області.

Основна частина

Виконавши ґрунтовний аналіз чинної нормативної та наукової документації з проектування реконструкції мостових споруд [1 – 12], та зваживши на технічний стан існуючих конструкцій мостової споруди, в яких сталева частина зберіглася непогано, а залізобетонна зазнала критичних ушкоджень, запропоновано два раціональних варіанти його посилення: варіант 1 – посиленням існуючих прогонових конструкцій та варіант 2 – заміною прогонової будови.

Розглянемо перший пропонований варіант реконструкції мосту, принципова схема якого зображена на рис. 4.

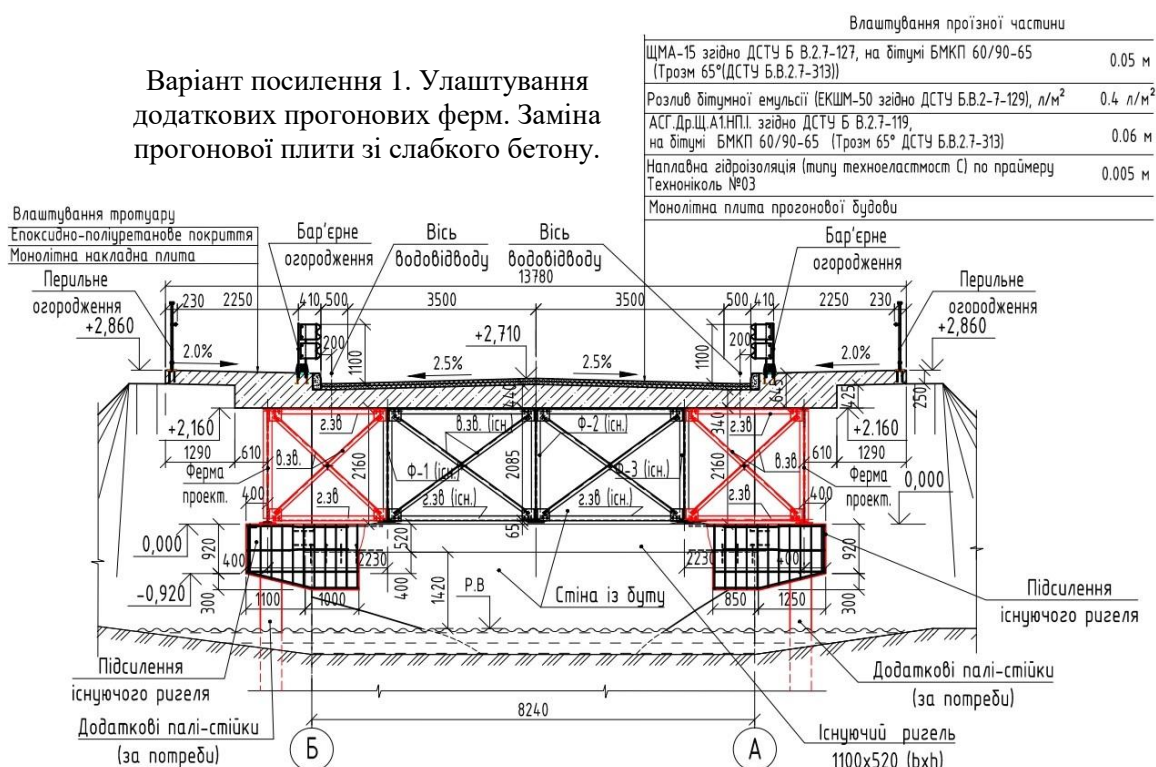


Рисунок 4 – Принципова схема посилення і розширення прогонової будови мосту по варіанту 1 улаштуванням двох додаткових металевих ферм. Червоним виділено нові металоконструкції.

Перший варіант посилення мосту пов'язаний із посиленням існуючих конструкцій. Берегові опори збільшуються на потрібні величину шляхом улаштування додаткових опорних паль з двох боків берегових опор, нарощуванням існуючих ригелів, що обпираються на берегові опори та нові палі. На ці нарощені ділянки встановлюються два додаткові ряди плоских металевих ферм, конструктивно подібних до існуючих. Додаткові плоскі ферми зв'язуються з існуючою сталевією прогоновою системою горизонтальними та вертикальними зв'язковими системами у єдиний просторовий блок. Підсилюють існуючі ферми у потрібних місцях, відновлюючи їх проектну несучу здатність. Після утворення єдиного просторового блоку з п'яти прогонових ферм існуюча залізобетонна монолітна плита проїзної частини та тротуарів розбирається. Розбирання можна виконувати у одну або дві черги [4].

При варіанті розбирання залізобетонної пролітної плити у одну чергу, тобто, повністю, за один підхід, необхідно повністю перекрити рух на мостовій споруді. При розбиранні пролітної будови по половині перерізу існує можливість залишити обмежений реверсивний рух для пішоходів та легкого автомобільного транспорту. Технологічний варіант з частковим перекриттям руху на мостовій споруді, що реконструюється, використовується рідко через необхідність запровадження і виконання на будмайданчику екстраординарних заходів безпеки при здійсненні будівельно-монтажних робіт через загрозу обвалення частин споруди при розбиранні, а також через необхідність залучення будівельної установи з високою технологічною дисципліною, яких в Україні не так вже і багато.

Вказаний спосіб посилення має як велику перевагу – можливість обмеженої експлуатації споруди під час реконструкції, так і низку значних недоліків – необхідність обмеження вантажопідйомності

поширеного мосту з потрібного (НК-100, А-15) до проектного (НК-80, А-11) тимчасового колісного впливу, технологічні складнощі при улаштуванні поширень опорних ригелів у стиснених умовах, проблеми з приєднанням нових сталевих конструкцій до старих, необхідність улаштовувати більш товсту плиту для забезпечення необхідної поперечної водовідвідної розуклонки прогонової будови тощо.

Узагальнена технологічна послідовність робіт з виконання робіт з улаштування підсилення виконується у дві черги:

Перша черга:

- демонтаж існуючого дорожнього покриття, дефектних перильного та бар'єрного огородження існуючого мосту;
- встановлення додаткових палей поблизу берегових опор;
- улаштування бічних нарощень ригель-ростверків з об'єднанням існуючих опорних конструкцій з новими палями;
- встановлення додаткових сталевих прогонових ферм на видовжені ригель-ростверки;
- улаштування системи ґрат між існуючими сталевими конструкціями та новими фермами з утворенням єдиного жорсткого просторового сталевих блоку;
- демонтаж половини прогонової залізобетонної плити з обмеженою тимчасовою експлуатацією іншої половини;
- улаштування половини нової залізобетонної прогонової плити (з випусками робочого армування у майбутній шов бетонування), що спирається частково на старі металоконструкції, частково, на ферму поширення та тимчасова експлуатація цієї половини;

Друга черга:

- демонтаж залишків старої залізобетонної плити та улаштування на її місці іншої половини нової прогонової плити;
- улаштування перехідних конструкцій, улаштування дорожнього і тротуарного покриття;
- улаштування бар'єрного та перильного огорожень;
- захист сталевих і бетонних конструкцій мосту від корозії.

Другий варіант посилення мосту широко відомий, застосовується дуже часто для гарантованого відновлення працездатності прогонової будови мостової споруди та сприйняття зростаючих тимчасових навантажень (НК-100, А-15). Цей метод пов'язаний із повною заміною прогонової будови зі сталевих залізобетонної на класичну балочну збірно-монолітну конструкцію (рис. 5).

Після реконструкції міст буде являти собою однопрогонову залізобетонну конструкцію зі збірних залізобетонних мостових І-подібних балок та нерозрізної монолітної залізобетонної прогонової плити. Конструкції монолітної плити улаштовані по щитах незйомної збірної залізобетонної опалубки, яка встановлена в шпонках між І-подібними балками. Балки улаштовані по розрізній схемі з деформаційними швами поблизу перехідних плит.

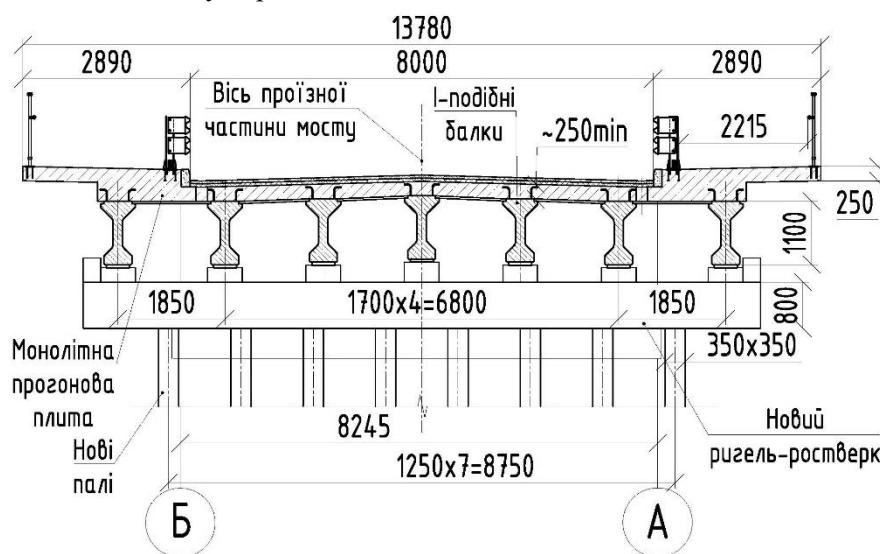


Рисунок 5 – Проектований переріз мостової споруди після реконструкції за другим варіантом шляхом заміни прогонової будови

Отримана збірно-монолітна прогонова будова в осях «0-1» являє собою плиту із ребрами вздовж прольоту. В цьому варіанті реконструкції заміна опорних ригель-ростверків не достатньої довжини на

нові не представляє великих складнощів.

Прогонові балки, що улаштовуються на підферменниках ростверків змінної висоти, які забезпечують проектну розуклонку верхньої поверхні мостової споруди в поперечному напрямку. Між підферменниками і балками встановлюються спеціальні мостові еластомерні опори – деформаційні вкладиші для компенсації горизонтальних та вертикальних зміщень опорних частин балок під час їх роботи під навантаженням.

У порівнянні зі старою сталеві-залізобетонною мостовою спорудою, загальна ширина мосту після капремонту стає більшою на величину близько 5 м. Бетон основних прогонових монолітних конструкцій (монолітної плити, монолітних ригелів-ростверків) з ненапруженою арматурою згідно з вимогами [11, табл. 3.4] приймається за розрахунком в межах В30 ... В40.

У якості робочого напруженого армування І-подібних балок прийнято арматурні джгути з канатів К-7, які встановлюються в нижній зоні балки. Монолітну прогонову плиту рекомендовано армувати двома арматурними сітками, що улаштовані в верхній та нижній зоні. Сітки слід виготовляти з дротів діаметром 16 мм класу А-III (А400), що встановлені з кроком 200 мм (у повздовжньому та поперечному напрямках).

Дорожній одяг проїзної частини мосту в обох варіантах реконструкції повинен бути багат шаровим, середньою товщиною 110 мм.

Узагальнена технологічна послідовність робіт з виконання робіт з улаштування підсилення:

- демонтаж існуючого дорожнього покриття, дефектних перильного та бар'єрного огороження існуючого мосту;
- встановлення додаткових паль поблизу берегових опор;
- улаштування бічних нарощень ригель-росверків з об'єднанням існуючих опорних конструкцій з новими палями;
- встановлення додаткових сталевих прогонових ферм на видовжені ригель-ростверки;
- улаштування системи ґрат між існуючими сталевими конструкціями та новими фермами з утворенням єдиного жорсткого просторового сталевих блоку;
- демонтаж половини прогонової залізобетонної плити з обмеженою тимчасовою експлуатацією іншої половини;
- улаштування половини нової залізобетонної прогонової плити (з випусками робочого армування у майбутній шов бетонування), що спирається частково на старі металоконструкції, частково, на ферму поширення та тимчасова експлуатація цієї половини;
- демонтаж залишків старої залізобетонної плити та улаштування на її місці половини нової прогонової плити;
- улаштування перехідних конструкцій, улаштування дорожнього і тротуарного покриття;
- улаштування бар'єрного та перильного огорожень;
- захист сталевих і бетонних конструкцій мосту від корозії.

Для підтвердження надійності та довговічності мостових споруд після реконструкції за обома варіантами було здійснено скінчено елементне моделювання напружено-деформованого стану споруд під дією комплексу технологічних впливів від рухомого складу та кліматичних навантажень. Підібрано раціональні перерізи конструктивних елементів та їх армування згідно з нормативними критеріями.

Техніко-економічне порівняння зазначених варіантів реконструкції сталеві-залізобетонних мостових споруд у довоєнних цінах на прикладі однопролітного 22 метрового мосту у с. Дашів Вінницької області, який потребує невідкладної реконструкції засвідчує. Вартість першого варіанту реконструкції шляхом посилення сталевих частин і заміни залізобетонної частини у дві черги з неповним перекриттям складає 25 266 тис. грн. Термін будівництва – 10,5 міс. Відповідно, вартісні показники другого варіанту із повною заміною пролітної будови – 28 357 тис. грн. та 8,5 міс. будівництва. Різниця у вартості складає близько 11 %. Зрозуміло, що вартість мосту із повною заміною прогонових конструкцій буде вищою. Водночас, терміни, потрібні для реконструкції мосту із частковим перекриттям руху транспорту будуть на 19 % довші.

Висновки

Набув подальшого розвитку метод реконструкції сталеві-залізобетонних автодорожніх мостових споруд. Докладно розглянуто два методи реконструкції мостів, які у своєму теперішньому стані не відповідають чинним нормам за параметрами вантажопідйомності і транспортних габаритів, а саме метод посилення сталевих і бетонних частин та метод повної заміни прогонової будови. Наведений науковий матеріал проілюстрований реальним прикладом непридатної до нормальної експлуатації мостової споруди у смт. Дашів Вінницької області.

Доведено, що метод посилення більш доцільний за умови необхідності часткової експлуатації споруди під час виконання будівельно-монтажних робіт. Такий метод дозволяє відновити проектну несучу здатність мостової споруди (НК-80, А-11) із забезпеченням сучасних габаритних вимог та вимог безпеки руху за менші кошти. Економія у довоєнних цінах складає до 11 %.

Методу повної заміни прогонової будови, не дивлячись на вищу вартість, з огляду на динаміку постійного зростання транспортного потоку у нашій державі, слід віддавати перевагу у всіх інших випадках (вантажопідйомність можна збільшити аж до НК-100, А-15, тобто, на 20 %). При цьому можна досягти не тільки потрібних габаритних, а і несучих характеристик мостової споруди за більш короткий термін. Економія часу на виконання будівельно-монтажних робіт при реконструкції складає до 19 %.

Надійність та ефективність кожного з методів підтверджено відповідними міцнісними розрахунками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Popov VOLODYMYR, Voitsehivskiy OLEXANDR The effective method of strengthening of reinforced concrete beam bridges by arrangement of the horizontal steel-concrete cover system. Concrete structures for resilient society. Proceeding of the FIB Symposium 2020, 22-24 November, China, Shanghai. Chapter 12. P. 1258 – 1264.
2. В.О. Попов, І.В. Масвська, А.В. Попова, і М.Я. Жилівський. Метод реконструкції балочних мостів без зупинки їх експлуатації улаштуванням нової збірно-монолітної пролітної будови. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. Вінниця, ВНТУ, 2021-2. С. 5-15.
3. Попов В.О., Войцехівський О.В. Метод підсилення залізобетонних мостових опор улаштуванням бітрапецеїдальної обойми. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. Науково-технічний збірник. Вінниця, ВНТУ, 2022-1. С. 5 – 13.
4. Попов В.О. і Войцехівський О.В. Рациональний метод розширення габариту вузьких сталезалізобетонних мостів з неповним перекриттям руху [Електронний ресурс] / В.О. Попов, О.В. Войцехівський // Тези доповіді на міжнародній конференції «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проектуванні, будівництві та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури в рамках програми «Велике Будівництво». Київ, 24-25.11.2022. – Електрон. текст. дані. – 2022. С. 166 – 171. Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/1-kUn6INFk-1P8u0dhA5sKsMBvoHZ6WSv/view>
5. ДБН В.1.2-:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. [На заміну СНиП 2.01.07-85 (крім розділу 10)]. [Чинний від 2007-01-01] – К. : Мінбуд України, 2006. – 71 с. – (Національні стандарти України).
6. ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд: [Чинний від 2019-01-01]. – К., Мінрегіон України, 2018. – 30 с. – (Національні стандарти України).
7. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування. [На заміну ДБН В.2.3-14:2006]. [Чинний від 2009-11-11] – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. (Національні стандарти України).
8. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Введ. з 1 грудня 2013 р. на заміну ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009. К.: Мінбуд України, 2013. – 36 с.
9. ДБН В.1.2-15:2009 Мости та труби. Навантаження та впливи. [На заміну ДБН В.2.3-14:2006]. [Чинний від 2009-11-11] – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. (Національні стандарти України).
10. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [На заміну ДБН В.2.3-4:2007]. [Чинний від 2016-04-01] – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – (Національні стандарти України).
11. ДБН В.2.3-14:2006 Мости та труби. Правила проектування. [На заміну СНиП 2.05.03-84]/ [чинний від 2006-05-06]. К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 217 с. – (Національні стандарти України).
12. Дементьев, В.А. Усиление и реконструкция мостов на автомобильных дорогах: Учеб. пособие / В.А. Дементьев, В.П. Волокитин, Н.А. Анисимова; под общ. ред. проф. В.А. Дементьева; ВГАСУ. Воронеж, 2006. – 116 с.

REFERENCES

1. Popov VOLODYMYR, Voitsehivskiy OLEXANDR The effective method of strengthening of reinforced concrete beam bridges by arrangement of the horizontal steel-concrete cover system. Concrete structures for resilient society. Proceeding of the FIB Symposium 2020, 22-24 November, China, Shanghai. Chapter 12. P. 1258 – 1264.
2. V.O. Popov, I.V. Mayevs'ka, A.V. Popova, i M.YA. Zhylovs'kyu. Metod rekonstruktsiyi balochnykh mostiv bez zupynky yikh ekspluatatsiyi ulashtuvannyam novoyi zbirno-monolitnoyi prolytnoyi budovy. Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstrukttsiyi v budivnytstvi. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. Vinnytsya, VNTU, 2021-2. S. 5-15.
3. Popov V.O., Voytsekhivs'kyu O.V. Metod pidsylennya zalizobetonnnykh mostovykh opor ulashtuvannyam bitrapetsoidal'noyi oboymy. Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstrukttsiyi v budivnytstvi. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. Vinnytsya, VNTU, 2022-1. S. 5 – 13.
4. Popov V.O. i Voytsekhivs'kyu O.V. Ratsional'nyy metod rozshyrennya habarytu vuz'kykh stalezalizobetonnnykh mostiv z nepovnym perekryttyam rukhu [Elektronnyy resurs] / V.O. Popov, O.V. Voytsekhivs'kyu // Tezy dopovidi na mizhnarodniy konferentsiyi «Vprovadzhennya innovatsiynykh materialiv i tekhnolohiy pry proektuvanni, budivnytstvi ta ekspluatatsiyi ob`ektiv transportnoyi infrastruktury v ramkakh prohramy «Velyke Budivnytstvo». Kyiv, 24-25.11.2022. – Elektron. tekst. dani. – 2022. S. 166 – 171. Rezhym dostupu: <https://drive.google.com/file/d/1-kUn6INFk-1P8u0dhA5sKsMBvoHZ6WSv/view>
5. DBN V.1.2-:2006. Navantazhennya i vplyvy. Normy proektuvannya. [Na zaminu SNyP 2.01.07-85 (krim rozdil 10)]. [Chynnyy vid 2007-01-01] – K. : Minbud Ukrayiny, 2006. – 71 s. – (Natsional'ni standarty Ukrayiny).
6. DBN V.1.2-14-2018. Zahal'ni pryntsy py zabezpechennya nadiynosti ta konstruktivnoyi bezpeky budivel' i sporud: [Chynnyy vid 2019-01-01]. – K., Minrehion Ukrayiny, 2018. – 30 s. – (Natsional'ni standarty Ukrayiny).

7. DBN V.2.3-22:2009 Mosty ta truby. Osnovni vymohty proektuvannya. [Na zaminu DBN V.2.3-14:2006]. [Chynnyy vid 2009-11-11] – K.: Minrehionbud Ukrayiny, 2009. (Natsional'ni standarty Ukrayiny).
8. DSTU-N B V.2.3-23:2012. Nastanova z otsynuyvannya i prohozuvannya tekhnichnoho stanu avtodorozhnikh mostiv. Vved. z 1 hrudnya 2013 r. na zaminu DSTU-N B V.2.3-23:2009. K.: Minbud Ukrayiny, 2013. – 36 s.
9. DBN V.1.2-15:2009 Mosty ta truby. Navantazhennya ta vplyvy. [Na zaminu DBN V.2.3-14:2006]. [Chynnyy vid 2009-11-11] – K.: Minrehionbud Ukrayiny, 2009. (Natsional'ni standarty Ukrayiny).
10. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobil'ni dorohy. Chastyna I. Proektuvannya. Chastyna II. Budivnytstvo. [Na zaminu DBN V.2.3-4:2007]. [Chynnyy vid 2016-04-01] – K.: Minrehionbud Ukrayiny, 2009. – (Natsional'ni standarty Ukrayiny).
11. DBN V.2.3-14:2006 Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya. [Na zaminu SNyP 2.05.03-84]/ [chynnyy vid 2006-05-06]. K.: Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrayiny, 2006. – 217 s. – (Natsional'ni standarty Ukrayiny).
12. Dement'ev, V.A. Usylenye y rekonstruktsyya mostov na avtomobil'nykh dorohakh: Ucheb. posobyе / V.A. Dement'ev, V.P. Volokytyn, N.A. Anysymova; pod obshch. red. prof. V.A. Dement'eva; VHASU. Voronezh, 2006. – 116 s.

Попов Володимир Олексійович — к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: v.a.popov.vntu@gmail.com. ORCID 0000-0003-2379-7764

Войцехівський Олександр Владиславович – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури. Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії; завідувач науково-дослідної лабораторії ефективних будівельних конструкцій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: voicshvinn@gmail.com

Стінський Олег Володимирович – Заступник начальника управління-начальник відділу впровадження пріоритетних проектів регіонального розвитку Департаменту розвитку громад, будівництва та житлово-комунального господарства Хмельницької облдержадміністрації, магістрант кафедри БМГА Вінницького національного технічного університету, м. Хмельницький email: Olegstin@i.ua

V. Popov
O. Voitshivskiy
O. Stinskiy

COMPARISON OF THE EFFICIENCY OF RECONSTRUCTION METHODS OF STEEL-CONCRET SINGLE-SPAN BRIDGES

Vinnitsia National Technical University

The paper contains developed the method of strengthening steel-reinforced concrete single-span bridge structures that have undergone wear and tear due to long-term operation and require expansion. Have been described the structural solution and the principle of operation under load of the existing typical steel-reinforced concrete single-span bridges. As an example have been considered real emergency bridge structure in the village of Dashiv of the Haysyn district of the Vinnitsia region, in need of urgent reconstruction. Have been described in detail its main structural elements and technical condition. Have been shown possible rational ways of expanding and strengthening the structure in two variants. Variant 1 – reinforcement of existing steel and reinforced concrete structures with partial blocking of road traffic. Variant 2 – replacement of the span structure with a complete shutdown of the bridge for the duration of the construction and installation works. Have been developed basic constructive schemes for the reconstruction of the structure for the first and second variants. Have been described the technological sequence of strengthening the bridge structure according to both mentioned methods, have been analyzed the advantages and disadvantages and have been estimated the cost indicators of the reconstruction of each of the proposed variants. Have been proven that the strengthening method (variant 1) is more appropriate if it is necessary to partially operate the structure during construction and installation works. This method makes it possible to restore the design load-bearing capacity of the bridge structure with the provision of modern dimensional requirements and traffic safety requirements for less cost. The method of complete replacement of the span structure (variant 2), despite the higher cost, should be preferred in all other cases according to dynamics of constant growth of traffic flow in our country. With variant 2, it is possible to achieve not only the required dimensions, but also higher load-bearing characteristics of the bridge structure in a shorter period of time. The reliability and efficiency of each of the methods is confirmed by the corresponding strength calculations.

Key words: steel-reinforced concrete bridge, span structure, spatial steel truss, stressed-deformed state, reconstruction.

Popov Vladimir O. – Ph.D. Docent of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnitsia national technical university, Vinnitsia city, email: v.a.popov.vntu@gmail.com

Voitshivskiy Oleksandr V. – Ph.D. docent of department of civil engineering, architecture and municipal economy, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Head of research laboratory of effective building structures, Vinnitsia national technical university, Vinnitsia city, email: voicshvinn@gmail.com

Stinskiy Oleg V. – Deputy Head of Department, Head of the Department for the Implementation of Priority Regional Development Projects of the Community Development Department department of construction and housing and communal services Khmel'nitsky Regional State Administration, undergraduate of the department DCEAME, Vinnitsia national technical university, Khmel'nitsky city, email: Olegstin@i.ua.

МЕТАЛЕВІ НЕСУЧІ І ГЕРМЕТИЗУЮЧІ КОНСТРУКЦІЇ ДЛЯ ПІДЗЕМНИХ ТА ЗАХИСНИХ СПОРУД

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

²Вінницький національний технічний університет

Розробка нових технологій для будівництва захисних споруд багатофункціонального призначення відображає нинішню необхідність поліпшення заходів захисту цивільних людських і матеріальних ресурсів (та подвійного призначення) і підвищення обороноздатності за допомогою споруд, будівель, сховищ та укриттів. Для ґрунтовної оцінки відомих напрацювань по цій темі виконали огляд історії і досягнень у галузі виробництва і застосування металевих матеріалів і конструкцій у будівництві підземних та захисних споруд, проаналізували досягнення і недоліки. Основну увагу звернули на досвід крупнотоннажного виготовлення чавунних тюбінгів на підприємствах колишнього СРСР, як найбільш близьких до сучасних часів масштабних виробництв з вагомими результатами, корисними для вивчення і удосконалення в конструкторському і технологічному напрямках. З шістдесятих років минулого століття на кріплення підземних споруд різного призначення, у тому числі й для захисних та спеціальних об'єктів, щорічно в колишньому СРСР вироблялося 25-40 тис. тонн чавунних тюбінгів. Майже всі стовпи Метробуду, багато стовпів Міноборони та інших міністерств колишнього СРСР постійно використовували чавунні тюбінги на своїх об'єктах. Для нинішнього часу виявлено необхідність і можливість інтенсифікації будівництва захисних споруд шляхом застосування у металевих матеріалів, зокрема високоміцних ливарних сплавів, передусім високоміцних чавунів, а також ресурсоефективних ливарних методів виготовлення будівельних та захисних сегментів чи тюбінгів. Найбільш придатною технологією для такого виробництва тонкостінних легковагих металовиробів на нинішній час є ЛГМ-процес, який після удосконалень за останні десятиліття, в тому числі завдяки 3D-технологіям і адаптації до застосування новітніх сплавів, має потенціал для забезпечення росту будівництва як стаціонарних, так і мобільних захисних споруд.

Ключові слова: захисні споруди; захисні конструкції; литі матеріали; тюбінг; чавун; високоміцний чавун; лиття за моделями, що газифікуються.

Вступ

Проблема розробки новітніх технологій для одержання захисних споруд багатофункціонального призначення відображає нинішню актуальну потребу удосконалення заходів захисту цивільних людських і матеріальних ресурсів (та подвійного призначення), а також збільшення живучості призначених для цього споруд, будівель, сховищ та укриттів. За Законом України [1], підписаним Президентом в серпні 2022 р., усі нові будівлі зі значним (СС3) і середнім (СС2) класами наслідків, у яких постійно перебуватимуть понад 50 осіб або періодично перебувають понад 100 осіб, а також інші об'єкти будівництва відповідно до переліку, визначеного Кабінетом Міністрів України, обов'язково матимуть захисні споруди цивільного захисту (сховища й протирадіаційне укриття) або споруди подвійного призначення (наземні або підземні будівлі/споруди). Нові бомбосховища мають з'явитись і в існуючій забудові, що дозволить створити в Україні мережу захисних споруд.

Результати огляду та передумови нових технологічних розробок

Мета цієї статті полягає у проведенні аналізу технічної інформації по цій тематиці, зокрема у галузі таких збірних металевих захисних споруд, що мають тюбінгові конструкції, оскільки такі несучі і герметизуючі конструкції у великій кількості вироблялись і зводились в колишньому СРСР і, зокрема, вагомий досвід поточного виробництва тюбінгів протягом десятиліть накопичений на заводах України. Корисна на сьогодні інформація, передусім вітчизняний досвід і напрацювання, потрібні як аналоги і основа для розвитку технологій виготовлення металевих збірних захисних споруд, які на, думку авторів, мають значну перспективу з використанням нових ливарних і металообробних процесів.

Згідно з урядовим документом [2], на схемі (рис. 1) представлено типи захисних споруд, серед яких вирішальний корисний вклад належить підземним будівлям та спорудам, котрі можуть бути розділені на три великі групи: цивільного, виробничого та спеціального призначення. Тим не менш, величезна їх різноманітність (сьогодні відомо понад 40 напрямів використання підземного простору) і постійне вдосконалення, може мати більш детальну класифікацію [3].

За схемою (рис. 1) важливу захисну функцію виконує метрополітен та інші підземні споруди. Метрополітен, крім транспортної функції, завжди проектувався і призначався для захисту населення від впливу засобів ураження, високих температур і продуктів горіння, біологічних засобів, отруйних речовин, аварійно-хімічно небезпечних речовин. Споруди та пристрої метрополітену, що експлуатуються в мирний час у транспортному режимі, за потреби максимально використовуються в

режимі притулку для захисту та життєзабезпечення людей, що укриваються. Лінії метрополітену, що пристосовуються під притулки, як правило, проектується розділеними на дільниці, у кожній з яких передбачаються додаткові споруди та пристрої для забезпечення їх автономного функціонування. Ключовим захисним фактором захисної споруди є її герметичність разом з безвідмовною та якісною роботою фільтрів вентиляційних пристроїв.



Рисунок 1 – Типи захисних споруд для укриття населення [2].

Кріплення підземних споруд з сегментів – чавунне тьюбінгове кріплення в даний час є конструкцією, що відповідає всім вимогам, що пред'являються до конструкцій підземних споруд, в тому числі захисних: міцність, стійкість, надійність, водонепроникність (як основна вимога екологічної та експлуатаційної безпеки), ремонтпридатність, виключення похибок при складанні (технологічна надійність), мінімальні експлуатаційні витрати, можливість багаторазового застосування сегментів типу тьюбінгів (для тимчасових підземних споруд, наприклад, пілот-тунелів, робочих стовбурів (стволів), тимчасових виробок) [4].

Унікальною властивістю є вогнестійкість чавунних конструкцій – вкрай важлива умова безпеки експлуатації та самого існування споруд, а також ефективний опір сейсмічним та іншим ударним навантаженням ("живучість" підземної споруди). Також перспективні на основі болтової збірки тонкостінні конструкції з високоміцних сплавів мають потенціал як швидкого монтажу, так і використання в якості мобільних для релокації споруд у вигляді захисних модулів. Перелічені чинники визначили можливість повсюдного застосування чавунного кріплення, насамперед, у важких інженерно-геологічних умовах закладання тунелю чи іншої підземної споруди. У загальній вартості тунелів значну частину (близько 60 %) становить вартість чавунного кріплення [4].

Розглянемо деякі сторінки історії розвитку кріплення з чавунних тьюбінгів та перспективи його застосування у сучасному підземному будівництві на основі публікацій [3-10]. За письмовими даними у 1795 р. чавун вперше було використано для виробництва тьюбінгів, які було використано для ствола на шахті у місті Тайнсайд на півночі Англії [5]. У 1800 р. англієць Уайт отримав патент на використання стропил і покрівлі з чавуну, який раніше не застосовувався. На заводах Болтона та Уайта у м. Сохо (Англія) з чавуну виливали також підлогу та сходи. До середини 19 століття чавунне кріплення англійського типу з тьюбінгів забезпечувало бурхливий розвиток кам'яновугільної промисловості Великобританії, в якій було збудовано понад 250 шахт і вже в 1913 р. видобувалось 280 млн т вугілля, значну частку якого експортували [6].

З 1850 р. у Німеччині відбувається промислова революція, освоюються родовища кам'яного вугілля, рудні та калійні родовища. До кінця 19 століття в Німеччині, в Рейнсько-Вестфальському районі було

побудовано понад 89 стволів, з яких тьобінговим кріпленням було закріплено понад 5524 м (в середньому 62 пог. м на ствол). У 1883 році була створена тьобінгова колона з розчеканкою швів між тьобінгами свинцевим дротом (доти шви розклинювали деревом) [6]. Вперше Ю. Риммером були розроблені чавунні тьобінги, що механічно оброблялися по бортах, зі свердленням бортових отворів і з просвердленими тампонажними пробками. Ущільнення всіх елементів тьобінгового кільця - стикових фланців, болтових з'єднань і тампонажних отворів виконували свинцем. Бочкоподібні шайби болтових з'єднань і тампонажних пробок ущільнювали за рахунок затягування свинцевих шайб болтами і пробками. Закріпний (зовнішній) простір укріплювали цементним розчином. Гідроізоляцію горизонтальних та вертикальних (механічно оброблених) фланців проводили «карбуванням» свинцевих прокладок, що після монтажу забезпечувало повну герметизацію внутрішньої частини тьобінгової колони, зовні покритої цементними тампонажними завісами.

На початку 20 століття складні гідрогеологічні умови в гірничодобувних районах Німеччини, утруднені майже суцільним заселенням території та щільною промисловою забудовою, що негативно впливало на деформацію поверхні під впливом гірничотехнічних факторів (просідання поверхні від осушення та водозниження в районі шахт), виявили серйозні недоліки існуючих конструкцій тьобінгових кріплень стволів, які руйнувалися під дією поверхні, що просідає. У 1925-1927 рр. внаслідок втрати стійкості тьобінгового кріплення зруйнувалися два нові шахтні стволи діаметром 6,5 м. Жорсткість кріплення була збільшена шляхом включення в спільну роботу з чавунним кріпленням залізобетону з 1958 р. методом проектування О. Домке для комбінованого чавунно-бетонного кріплення [6].

У 60-ті рр. минулого століття виникла необхідність розробки податливого кріплення, що було вирішено шляхом застосування при проходці ствола тимчасового кріплення, несуча здатність якого більша, ніж основного кріплення. Чавунне тьобінгове кріплення в Німеччині замінили герметичним зварним сталобетонним кріпленням, що розраховували за методикою Х. Лінка, а як основний податливий елемент кріплення застосовували асфальтову оболонку, що оточує сталобетонне кріплення ззовні. Застосування такого кріплення обмежує внутрішній діаметр стовбура до 5-6 м, бо технологічно було можливо виготовляти внутрішню сталеву обичайку завтовшки не більше 80 мм, що зумовлювалося можливістю вальців.

Навпаки, в СРСР з 60-тих рр. минулого століття найширше застосували саме чавунно-бетонне кріплення. На кріплення шахтних стволів різного призначення, у тому числі й для захисних та спеціальних об'єктів, щорічно вироблялося 25-40 тис. т чавунних тьобінгів [6]. Трест Шахтспецбуд на проходження найскладніших стволів щорічно витрачав близько 25 тис. т чавунних тьобінгів. З 1965 р. цим трестом пройдено близько 2200 пог. м стволів із кріпленням чавунними тьобінгами. Майже всі стволи Метробуду, багато стволів Міноборони та інших міністерств СРСР постійно використовували чавунні тьобінги на своїх об'єктах.

Для кріплення стволів переважно використовувалися тьобінги внутрішнім діаметром 6,5 м, 7,0 м, 7,5 м і 8,0 м. При цьому питання збереження стійкості кілець було вирішено теоретично та практично. Так, при широкому застосуванні чавунного тьобінгового кріплення на гірських об'єктах, у тому числі і на осушуваних з можливим просіданням поверхні на 0,5-3,5 м, на практиці було забезпечено несучу здатність кріплення на вертикальні стискаючі навантаження, розроблено методи визначення цих навантажень, конструктивні рішення та заходи, що дають безпечність та герметичність кріплення. Проблему вертикальної податливості кріплення стволів було вирішено не шляхом розділу водонепроникного кріплення і масиву, що просідає, а вставленням вузлів податливості в тих пластах, де передбачалися в кріпленні напруги, близькі до граничної руйнівної.

Сьогодні технологія підземного будівництва накопичила досвід експлуатації облицьованих металевими тьобінгами стволів (і захисних споруд) різного призначення в умовах агресивного впливу середовищ (води, що фільтрується через кріплення, чи соляного просипу всередині ствола тощо), впливу агресивного газу (сірководню), що дозволяє підходити гнучкіше до конструкції кріплення ствола в цілому. Якщо встановлюється термін служби ствола 120 років, то ця вимога практично завжди пред'являється лише до основного матеріалу кріплення – чавуну. При цьому скріплювальні елементи не обов'язково повинні мати такі властивості, бо в процесі експлуатації ствола нормами передбачено постійний нагляд за кріпленням і періодичну ревізію основних елементів кріплення, а у разі виходу елемента з роботи - заміну ущільнювальних шайб прокладок, певної кількості болтів чи пробок. Через 30-60 років майже на всіх спорудах відбувається перехід на нові умови експлуатації, часто із зміною функції призначення самого ствола, що водночас означає заміну чи ремонт армування ствола. За цей термін болтові сталеві елементи (гайки та різьби болтів) значною мірою руйнуються корозією, тому їм потрібна можливість заміни.

Конструкція кріплення повинна передбачати ремонт окремих елементів кріплення та заміну їх новими вузлами для захисту цієї конструкції від негативних впливів (наслідків відпрацювання шахтного поля або водозниження). Це забезпечують методи: герметичного зварювання; ущільнення герметизуючими елементами (прокладками та шайбами) шляхом їх деформування; затяжки в болтових з'єднаннях та пробках (тампонажних та заливальних); а також ущільнення карбуванням свинцю в нерухомих з'єднаннях (з'єднувальний шов між бортами тюбінгів) та ущільнення дерев'яними клинами з подальшим їх набуханням при залишковому просоченні води [6, 7]. Останній метод застосовували на початку історії застосування чавунних тюбінгів.

Хоч, привабливим здається застосування герметичного зварювання для ізоляції швів металевих несучих конструкцій, але при ретельному аналізі виявляється, що зварні роботи можна застосовувати для неглибоких стовбурів, не схильних до впливу зсувів і осаду поверхні від водозниження чи підземних розробок. З огляду на те, що корозія сталі 2-2,5 мм/рік, очевидно, що без спеціального захисту термін служби герметичного зварного шва дуже недовгий [6]. Крім того, у разі потреби шов не завжди можна переварити. Тому за майже рівної трудомісткості герметизації швів зварюванням чи карбуванням у складних гірських умовах частіше перевага надається карбуванню, насамперед із-за можливості виконання цієї роботи за будь-яких умов.

Ґрунтовний аналіз властивостей конструкцій в галузі захисту від корозії, безпеки конструкції, сприйняття додаткових навантажень при експлуатації, впливу вертикальних осадів при відпрацюванні шахтного поля чи подальшому розвитку осушення водоносних горизонтів, простоти та доступності ремонтних робіт, показує безперечні переваги чавунного кріплення перед сталевим [6, 7].

В роботі [8] фахівцями ливарниками докладно описано практику лиття на заводі колишнього СРСР чавунних тюбінгів-сегментів для великого кільця діаметром кілька метрів і шириною 1,0–1,5 м, у свою чергу з них збирають величезні підземні труби, де розташовують станційні чи інші приміщення, рейкові шляхи для руху вагонів, ескалатори тощо. Для будівництва метрополітену використовують кільця тунелів внутрішніми діаметрами 6 м для тунелю з одним шляхом і 10 м – для прокладання всередині тунелю двох колій.

Тюбінги виливають з чавуну, що стійкіший проти корозії, ніж сталь, оскільки під землею із зовнішнього боку тюбінгова труба може контактувати з підземними водами, що прискорює корозію металу. У СРСР виробництво тюбінгів почало розвиватися з 1932 р. з початком будівництва метрополітену. У цей період було розпочато виготовлення тюбінгів на Балтійському заводі у м. Ленінграді, на Уралмашзаводі в м. Свердловську, на заводі «Російський дизель» у м. Ленінграді, на Станколіті у м. Москві, на НКМЗ у м. Краматорську.

Аналізуючи американський досвід виробництва тюбінгів, автори [8] заключають, що тюбінги вищої якості отримували в сухих формах з піщано-глинистої суміші (ПГС-формах). Однак з огляду здешевлення виробництва і підвищення його продуктивності в США віддали перевагу сирій формі, хоча при цьому збільшувався брак лиття. В огляді [8] ґрунтовно описано відомі реальні технології виробництва тюбінгових сегментів у колишньому СРСР з фіксацією уваги передусім на технології формовки (виготовлення ливарної піщаної форми). Очевидно, ливарна технологія лише формовкою не обмежується, проте остання – головний компонент ливарної технології, що найбільш істотно впливає на якість вилівка та його економічність, а інші компоненти технології (виплавка металу, його заливка у форму, вибивання, фінішні операції) нічим суттєво не відрізнялися від загальноприйнятих на той час у ливарному виробництві.

За часів СРСР литі тюбінги виробляли приблизно на двадцяти заводах, серед них – 7 українських підприємств (у наведеному нижче переліку вказано тодішні назви заводів-виробників): НКМЗ, металургійний завод ім. Ілліча (м. Маріуполь), Запоріжсталь, КЦРЗ (м. Кривий Ріг), Криворіжсталь, металургійний завод ім. Г.І. Петровського (м. Дніпропетровськ), Дніпропетровський завод металургійного обладнання (ДЗМО). Розглянемо технології формування на цих та інших заводах у радянський період за матеріалами [4, 6, 8].

Найбільш повно і всебічно технологія виливання тюбінгів була відпрацьована на ДЗМО (нинішня назва ПАТ «Дніпроважмаш», м. Дніпро), де ця технологія існує в даний час, а тюбінговий є цех цілком спеціалізованим. Для формування нижніх ливарних півформ використовується ПГС, що складається з гусарівського піску, відпрацьованої суміші, водо-глинистої суспензії при загальному вмісті в ній глинистої речовини 13-15 %. Ця ПГС має $\sigma_{сж} = 0,60-0,75$ кгс/см² та вологість 6,0-6,8 %. Щільність набивання форми визначається твердістю 80-85 од., що досягається 80-90 ударами струшувальної формувальної машини. Нижня півформа фарбується водною графітовою фарбою і підсушується теплом протягом 33 хв при температурі $t = 100-120$ °С в перші 10 хв і 230-280 °С - в останні 10 хв. Така технологія сушіння забезпечує просушений шар глибиною 20 мм. Стрижні для утворення отворів

(«чобітки») виготовляють з ПГС, фарбують, висушують теплом та встановлюють в нижню півформу. Верхню півформу виготовляють з тієї ж ПГС, що й нижню, фарбують графітовою фарбою і збирають з нижньою. Форми для тюбінгів виготовляють на конвеєрі. Заливання форм проводять також на конвеєрі чавуном СЧ20 згідно з ГОСТ 1412-85 при $t = 1270-1310$ °С.

Сьогоднішній вигляд тюбінгової продукції ПАТ «Дніпроважмаш» (<https://www.dts.dp.ua/>) показано на рис. 2.



Рисунок 2 – Чавунні тюбінги ПАТ «Дніпроважмаш»

На Дніпроважмаші нині застосовують також піщано-фуранову ливарну форму, яка дорожче (суміш з фурановою смолою у 13 разів дорожче за ПГС) і менш продуктивна. Це виробництво розташовано у неспеціалізованому цеху, де можливості механізації обмежені. Тюбінги, виготовлені за ПГС-процесом, за товарним виглядом та якістю, поза сумнівом, поступаються тюбінгам, виготовленим за фурановою технологією формовки.

На заводі Донецьміськмаш (м. Донецьк) виливали тюбінги за такою технологією. Ливарні форми з ПГС після теплової сушки покривали графітовою фарбою ГП-1. Сушку форм проводили в камерних сушарках при 350-390 °С. Стрижні виготовлялися з РСС (рідкорухома самотвердна суміш) на лігносульфонаті технічному рідкому як сполучному. Стрижні фарбували ГП-1 і висушували в камерних сушарках протягом 5 год. Виготовляли форми на формувальні машинах відповідних розмірів. Виливки виходили дуже чистими та гладкими.

Виробництво тюбінгів на Московському механічному заводі Головтоннельметробуду колишнього СРСР, за словами в. о. головного інженера цього заводу Кузнєцова С.І. не відповідало вимогам тогочасного ливарного виробництва [8]. Форми отримували на струшувальних формувальних машинах мод. 235, 236. Номенклатура тюбінгів (близько 50 найменувань) відповідала збірним кільцям діаметром 7500, 8500 і 9500 мм. Матеріал тюбінгів – СЧ20, плавильний агрегат – вагранка продуктивністю 15 т/год, швидкість заливання металу – 10-20 кг/с. Матеріал форм та стрижнів – типова ПГС. Сушили лише стрижні. Брак за 1986 р. у вигляді скипів, виходу металу в тріщини форм і стрижнів, обвалів, ужимин та ін. – 9 %. Маса різних тюбінгів складала від 350 до 1950 кг.

Технологія лиття тюбінгів на Криворізькому центральному рудоремонтному заводі (КЦРЗ) була така. У 80-ті роки минулого століття КЦРЗ виробляв один різновид тюбінгів масою 700 кг із СЧ20, який виплавляли в електродуговій печі ДС-6Н1. Температура заливки - 1320-1340 °С і тривалість заливання одного тюбінгу - 60-80 с. Форми виготовляли на автоматизованій формувальній лінії на базі 10-тонного струшувального столу конструкції КЦРЗ в опоках одних розмірів (1800x1200)x500:500 з рідкоскляної суміші традиційного складу і затвердінням вуглекислим газом (СО₂-процес) без нагрівання. Брак виливків становив 8,2 % таких видів: заливи по роз'єму, подутості, засмічення, тріщини, спай.

На Волгоградському заводі «Барикади» виливали тюбінги одного різновиду для швидкісного волгоградського трамваю. Маса виливка – 526 кг із переважаючою товщиною стінки 22 мм з чавуну СЧ 21-40 (ГОСТ 1420-70), який виплавляли у коксовій вагранці з холодним дуттям, температура

залиття – 1270-1300 °С. Форми виготовлялися вручну з ПГС та з наступним сушінням в камерній сушарці на глибину просушування – 60 мм. Форми покривали до сушіння водяною фарбою за допомогою пензля. Брак - 1,5-2,0 %, в основному по засміченням.

На Череповецькому металургійному комбінаті (МК) виливали тюбінги одного різновиду одиничною масою 612 кг. Форми виготовляли з рідкоскляної суміші за CO₂-процесом. Брак лиття, переважно за газовими раковинами, становив від 2-3 до 4,7 %.

На Жданівському МК ім. Ілліча (колишній Жданов – нині Маріуполь) наприкінці 80-х років минулого століття виливали тюбінги одного виду масою 930 кг при переважаючих товщинах стінок 35-40 мм із СЧ20 з виплавою його в електропечі ДСП-2. Температура заливки була 1250-1270 °С, тривалість заливки одного тюбінгу - 50-55 с. Форми виготовляли на струшувальних формувальних машинах мод. 235 з ПГС і заливали в сирому стані. Брак, здебільшого з засмічень і обвалів, становив 7 %.

На Магнітогорському МК виробляли тюбінги одного виду масою 612 кг з переважаючими товщинами стінок 22-30 мм із СЧ20, який виплавляли в індукційній тигельній печі ІЧТ-10М2 і заливали у форми при 1290-1320 °С зі швидкістю 15-17 кг/с. Форми виготовляли на струшувальній формувальній машині з ПГС, фарбували цирконовою фарбою і висушували в камерній сушарці протягом 8 год до глибини просушування 70 мм. Брак, переважно по засміченням, складав 8-12 %.

На Запорізькому МК виготовлялися тюбінги одного різновиду одиничною масою 880 кг, переважною товщиною стінок – 20-40 мм із чавуну СЧ20, температура заливки якого - 1250-1270 °С зі швидкістю 20 кг/с. Форми виготовляли на струшувальних формувальних машин мод. 234 і 236 з ПГС і висушували в камерних сушарках протягом 12 год при 300-350 °С. Форми перед сушінням фарбували графітовою фарбою. Брак лиття складав 10-12 %. Основні види браку – засмічення та ужимини.

Карагандинський МК виробляв тюбінги одного різновиду масою 762 кг/шт. при переважній товщині стінки 22 мм і з чавуну СЧ20, що виплавляли в 10-тонній вагранці холодного дуття, температура залиття - 1280-1300 °С, швидкість залиття – 17 кг/с. Форми виготовляли на струшувальних формувальних машинах мод. 234 з ПГС, фарбували графітовою фарбою і висушували в камерній сушарці. Брак від ужимин, газових і шлакових раковин становив 6-7 %.

На Криворізькому МК Криворіжсталь виробляли тюбінги двох видів масою 736 та 878 кг/шт. із СЧ20 при товщинах стінок 50-70 мм. Плавильний агрегат – електродугова піч ДСН-5, температура залиття – 1320-1350 °С, тривалість залиття 40-50 с. Формовка – на машині, що струшує, мод. 234. Матеріал форми – ПГС, заливали чавун у сирому формі. Брак (засмічення, ужимини) становив 12,3 %.

На Ленінградському заводі Лентрубліт виливали кільця тюбінгові двох видів для метрополітену: перший вид – кільце з 10 фрагментів (тюбінгів) масою від 196 до 529 кг, загальна маса кільця – 5371 кг з чавуну СЧ20; другий різновид – кільце з 17 тюбінгів масою від 280 до 795 кг, маса кільця 11880 кг з СЧ20. Чавун виплавляли у водоохолоджуваній вагранці з безперервним випуском металу у поворотний копильник. Плавильна кампанія – тиждень. Температура заливки 1220-1260 °С, час залиття одного тюбінгу - від 25 до 40 с залежно від його маси. Форми виготовляли на машині, що струшує, мод. 235С1. Матеріал форми – ПГС. Заливали чавун у сирому формі без теплового сушіння. Брак тюбінгів – 5 %.

Наприкінці 70-х років минулого століття на Лентрубліті було створено аналогічне Дніпроважмашу спеціалізоване виробництво тюбінгів зі спробами виливання тюбінгів із чавуну підвищеної міцності. Тонкостінні тюбінги дослідного виробництва мали товщину спинок 8-9 мм і масу зібраного кільця не більше 3 т. Проте серійний процес, що потребував заміни сирого форми, в заводських цехах налагодити не вдалося, як і забезпечити взаємозамінність серійних тюбінгів із СЧ20 на тонкостінні, зокрема з високоміцного чавуну (ВЧ) марки ВЧ50 [4, 8].

На Новолипецькому МК виготовляли тюбінги одного різновиду масою по 700 кг для Московського метрополітену. Переважна товщина стінок – 22 мм, чавун – СЧ20. Плавильний агрегат – ДСП 25Н01, температура заливки -1330 °С і тривалість заливки форми – 35 с. Форми виготовляли на формувальній машині мод. 234М, а заливку чавуну проводили у сирому формі. Різноманітний брак складав 7-10 %.

На Кузнецькому МК виробляли тюбінги одного виду масою 612 кг із СЧ20. Переважна товщина стінок – 40 мм. Чавун виплавляли у вагранці і заливали при 1220-1260 °С в сирому формі з ПГС. ПГС мала ту особливість, що у ній вміст кам'яновугільного порошку складав 6-7 %. Брак лиття (переважно засмічення, ужимини, пригар) становив 13-14 %.

Новокузнецький МК виробляв тюбінги одного різновиду одиничною масою 1100 кг при товщинах стінок 30-50 мм із СЧ20. З тюбінгів цього типу складали шахтне кільце великого діаметру. Чавун виплавляли в індукційній печі ІЛТ-10, температура заливки -1260-1280 °С, залиття чавуну у сирому формі – 20-22 кг/с. Формувальний агрегат – піскомет ПН-40 виробництва Сиблітмаш. Матеріал форми – ПГС. Форму не фарбували, а напиляли на її поверхню цемент марки 400. Брак складав 6,14 %

за видами: ужимини, тріщини, засмічення.

У 70-х роках минулого століття передбачалося будівництво на ДЗМО нового цеху тюбінгів полегшеної конструкції з використанням розробленої ЦНДІТМашем формовки з сипкої рідкоскляної суміші (РС) з затверджувачем – ферохромовим шлаком та додатковим затверджувачем форм – CO_2 [7]. Форми підлягали фарбуванню водною цирконовою фарбою та короткочасному підсушуванню теплом. Передбачалося, що стрижні також виготовлятимуть із РС та лиття тюбінгів не з сірого, а міцнішого чавуну. Однак, технологію не вдалося реалізувати, вона виявилася громіздкою, непродуктивною та неекономічною.

Загалом, за описом [8] виявлено, що на абсолютній більшості заводів колишнього СРСР тюбінги виготовлялися у формах із сирової ПГС і традиційним матеріалом для тюбінгів служив чавун СЧ20. Також проведеними науково-технічними дослідженнями було встановлено, що тюбінги доцільно виливати з ВЧ, який підвищує міцність конструкції, при традиційних товщинах стінок дозволяє безпечну експлуатацію тюбінгів в умовах високих навантажень, або значно (в 1,5-2,0 рази) знизити масу тюбінгів при колишніх навантаженнях для тюбінгів з СЧ20. Феритно-перлітна структура ВЧ підвищує економічність тюбінгових конструкцій. Вища пластичність ВЧ у виливку знижує концентрацію напруг, що виникають на з'єднаннях фланців як в межах окремого кільця, так і в напрямку труби з набором кілець. Деталі з ВЧ менше схильні до відбілу чавуну, ніж такі ж деталі з СЧ20 (та дослідні з СЧ30), що покращує механічну оброблюваність перших. ВЧ забезпечує кращу заповнювальність форми металевим розплавом для легшого виконання тонких деталей, зменшення спаїв і недоливів. Проте, серійне виробництва тюбінгів з ВЧ не знайшло поширення на заводах колишнього СРСР [8].

Нинішні вимоги воєнного часу не залишають вибору щодо пріоритетів промислової політики, актуалізуючи розвиток вітчизняного ВПК та виробництва товарів подвійного призначення у найближчому майбутньому. При цьому захист таких виробів та устаткування, а також людських і матеріальних ресурсів потребують створення нових технологій для виготовлення захисних споруд багатофункціонального призначення та збільшення живучості наявних для цього споруд чи будівель.

Науковим відділом проф. О. Шинського у Фізико-технологічному інституті металів та сплавів НАН України, реалізуючи потенціал технології лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ), ведуться дослідження по створенню модульних литих легковагих конструкцій для побудови як стаціонарних, так і мобільних захисних споруд. ЛГМ дозволяє отримувати виливки з собівартістю, близькою до такої для литва в форми з сирової ПГС. Особливо економічно вигідно ЛГМ-процес проявляється при виливанні дрібносерійної продукції достатньо крупних габаритів (для конкретних металевих споруд) за разовими моделями, отриманими вирізанням з пінополістиролу на 3D-фрезері за кресленням з монітору комп'ютера чи на столі нагрітим ніхромовим дротом за шаблонами. При цьому враховується як новітній досвід виробництва і гідроізоляції при монтажу тюбінгів [9], так і проектується нові металоконструкції збірних захисних споруд, обидва приклади наведено на рис. 3.

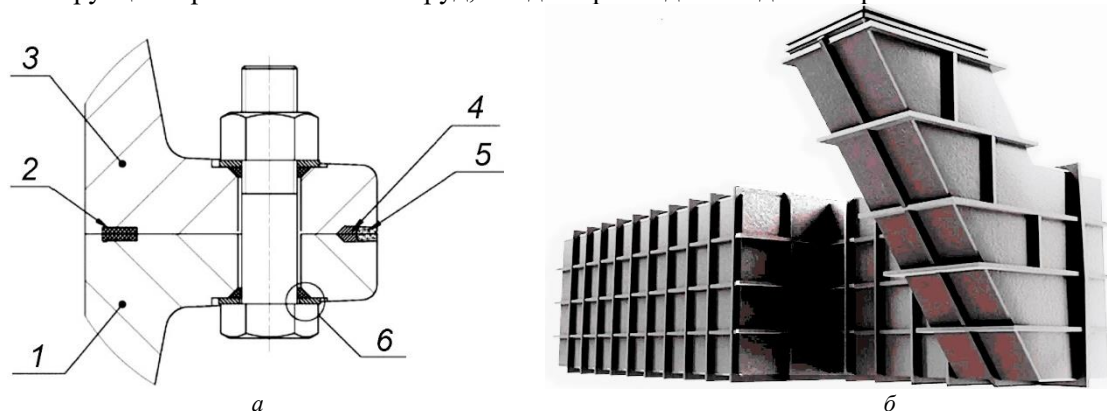


Рисунок 3 – Приклади: *а* – вузла болтового з'єднання тюбінгів з гідроізоляцією: 1 – тюбінг № 1; 2 – гідроізоляційні профілі; 3 – тюбінг № 2; 4 – свинцевий дріт; 5 – цемент, що розширюється; 6 – комплект болтового з'єднання; *б* – збірної захисної металеві споруди.

Наразі відпрацьовується технологія лиття сегментів захисних споруд з високоміцних сплавів, передусім з ВЧ, з оптимальними товщинами стінок [10]. Для виготовлення протирадіаційних укриттів доцільно, як аналог, для них адаптувати спосіб [11] виготовлення виливка корпусу контейнера з ВЧ для захоронення та транспортування радіоактивних відходів, литий корпус якого з метою зменшення металоемності виконаний тришаровим. Між двох стінок з високоміцного феритного чавуну при

випливають виконують внутрішній прошарок з перекристалізованого кам'яного петрургічного матеріалу. Цей прошарок в стінках контейнера на 20 % зменшує масу вилівка за рахунок того, що питома вага феритного ВЧ складає близько 7000 кг/м³, а кам'яного петрургічного матеріалу 3400 кг/м³, але практично не зменшує рівень біологічного захисту від радіоактивних відходів, бо його показник лінійного коефіцієнту ослаблення гамма-квантів - в межах 0,41-0,45см⁻¹, а феритного ВЧ – в межах 0,42-0,47см⁻¹ [11].

Висновки

В нинішніх умовах воєнного часу захист людських і матеріальних ресурсів, продукції та устаткування ВПК конче потребує створення нових технологій для виготовлення захисних споруд багатофункціонального призначення та збільшення живучості наявних для цього споруд чи будівель. За Законом України усі нові будинки – і п'ятиповерхові, і великі на декілька під'їздів з 24 поверхами, мають бути обладнані бомбосховищами. Нові бомбосховища мають з'явитись і в існуючій забудові, що дозволить створити в Україні мережу захисних споруд. В процесі проведення науково-технічних досліджень по цій темі на основі огляду історії і досягнень у галузі виготовлення і застосування металевих матеріалів і конструкцій у будівництві підземних та захисних споруд виконано аналіз здобутків і недоліків. Особливу увагу зосередили на практичній реалізації ливарної технології виготовлення тубінгів на підприємствах колишнього СРСР, як найбільш близьких до нинішніх часів виробництва з вагомими результатами, доступними для запозичення і конструкторсько-технологічного удосконалення. Нарощування виробництва будівельного литва пропорційно збільшувало об'єми будівництва. Виявлено необхідність і можливість задля інтенсифікації будівництва підземних та захисних споруд збільшення застосування у цій галузі металевих матеріалів шляхом застосуванням високоміцних ливарних сплавів, передусім високоміцних чавунів, а також ресурсоефективних точних ливарних методів виготовлення будівельних та захисних сегментів чи тубінгів. Найбільш придатною технологією для такого виробництва тонкостінних легковагих металовиробів на нинішній час є ЛГМ-процес, який після удосконалень за останні десятиліття, в тому числі завдяки 3D-технологіям і адаптації до використання новітніх сплавів, має потенціал для забезпечення росту будівництва як стаціонарних, так і мобільних захисних споруд.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Проект Закону про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо забезпечення вимог цивільного захисту під час планування та забудови територій. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/Card/39666>.
2. Міністерство освіти і науки України. Захисні споруди цивільного захисту. URL: <https://mon.gov.ua/ua/ministerstvo/diyalnist/civilnij-zahist-ta-bezpeka-zhittvediyalnosti/zahisni-sporudi-civilnogo-zahistu>.
3. Швець В.Б., Бойко І.П., Винников Ю.Л., М.Л. Зоценко та ін. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти: Підручник. Дніпропетровськ: «Пороги», 2014. 231 с.
4. Мосолов Д.А. Эффективные конструктивные параметры обделенных чугуных обделок тоннелей метрополитенов: дисс... канд. техн. наук. 05.23.11. Науч. -исслед. ин-т транспортного строительства. Москва, 2007. 205 с.
5. Barry N. Whittaker, Russell C. Frith. Tunnelling: design, stability and construction. Institution of Mining and Metallurgy, 1990. P. 284.
6. Мишедченко А.А. История развития крепи из чугуных тубингов и перспективы ее применения в современном подземном строительстве. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2007. № 1. С. 36-40.
7. Бокий Б.В., Федоров С.А., Зимица Е.А., Тимофеев О.В. Технология и механизация строительства подземных сооружений и шахт. Москва: «Недра», 1971. 712 с.
8. Белобров Е.А., Карпенкова О.Л., Белобров Л.Е., Белобров Е.Л. Технологии производства литых тубингов. *Литве України*. 2017. № 2. С. 18—23.
9. Колонтаевский Е.В., Мишедченко А.А. Гидроизоляция комбинированной чугуно-бетонной крепи. *Метро и тоннели*. 2020. № 3. С. 34-41.
10. Патент 126031 Україна, МПК B22 D7/00, B22 D23/00. Виливок з чавуну з кулястим графітом / В.С. Дорошенко, В.О. Шинський. Опубл. 11.06.2018, Бюл. № 1.
11. Патент 88741 Україна, МПК B22D 25/00, B22D 15/00, G01F 5/00. Спосіб виготовлення вилівка корпусу контейнера для захоронення та транспортування радіоактивних відходів / Д.С. Козак, В.Б. Бубликов, А.А. Шейко та ін. Опубл. 10.11.09.2009, Бюл. № 21.

REFERENCES

1. Draft Law on Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on Ensuring Civil Protection Requirements During Planning and Development of Territories. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/Card/39666>. [in Ukrainian].
2. Ministerstvo osviti i nauki Ukrainy. Protective structures of civil protection. URL: <https://mon.gov.ua/ua/ministerstvo/diyalnist/civilnij-zahist-ta-bezpeka-zhittvediyalnosti/zahisni-sporudi-civilnogo-zahistu>. [in Ukrainian].

3. Shvec V.B., Bojko I.P., Vinnikov Yu.L., M.L. Zocenko ta in. Soil mechanics. Basics and foundations: Textbook. Dnipropetrovsk: «Porogi», 2014. 231 p. [in Ukrainian].
4. Mosolov D.A. Effective design parameters of lightweight cast-iron linings of subway tunnels: diss... kand. tehn. nauk. 05.23.11. Nauch. -issled. in-t transportnogo stroitelstva. Moskva, 2007. 205 p. [in Russian].
5. Barry N. Whittaker, Russell C. Frith. Tunnelling: design, stability and construction. Institution of Mining and Metallurgy, 1990. P. 284.
6. Mishedchenko A.A. The history of the development of lining from cast-iron tubing and the prospects for its use in modern underground construction Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten. 2007. № 1. P. 36-40 [in Russian].
7. Bokij B.V., Fedorov S.A., Zimina E.A., Timofeev O.V. Technology and mechanization of construction of underground structures and mines. Moskva: «Nedra», 1971. 712 p. [in Russian].
8. Belobrov E.A., Karpenkova O.L., Belobrov L.E., Belobrov E.L. Technologies for the production of cast tubing. Lite Ukrainy. 2017. № 2. P. 18—23 [in Russian].
9. Kolontaevskij E.V., Mishedchenko A.A. Waterproofing of combined cast-iron-concrete lining. Метро и тоннели. 2020. № 3. С. 34-41 [in Russian].
10. Patent of Ukraine no.126031, IPC B22 D7/00, B22 D23/00. Cast iron with spherical graphite / V.S. Doroshenko, V.O. Shynskiy. Publ. 11.06.2018, Bull. no. 1 [in Ukrainian].
11. Patent of Ukraine no. 88741, IPC B22D 25/00, B22D 15/00, G01F 5/00. The method of making a casting of a container body for disposal and transportation of radioactive waste / D.S. Kozak, V.B. Bublikov, A.A. Shejko ta in. Publ. 10.11.09.2009, Bull. no. 21 [in Ukrainian].

Дорошенко Володимир Степанович – д-р техн. наук, провідний науковий співробітник відділу фізико-хімії ливарних процесів, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (м. Київ), e-mail: doro55v@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0070-5663.

Янченко Олександр Борисович – кандидат техн. наук / Ph.D., доцент, кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: 1961yab@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3888-3772.

V. Doroshenko¹
O. Yanchenko²

METAL BEARING AND SEALING STRUCTURES FOR UNDERGROUND AND PROTECTIVE STRUCTURES

¹Physical and Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

²Vinnitsia National Technical University

The development of new technologies for the construction of multi-purpose protective structures reflects the current need to improve measures to protect civilian human and material resources (and dual purpose) and increase defense capability with the help of structures, buildings, storage and shelters. For a thorough assessment of known developments on this topic, a review of the history and achievements in the field of production and use of metal materials and structures in the construction of underground and protective structures was carried out, achievements and shortcomings were analyzed. The main attention was paid to the experience of large-tonnage production of cast iron tubing at the enterprises of the former USSR, as the closest to modern times of large-scale production with significant results, useful for study and improvement in design and technological directions. Since the sixties of the last century, 25,000 to 40,000 tons of cast iron tubing were produced annually in the former USSR for fastening underground structures of various purposes, including for protective and special facilities. Almost all the trunks of Metrobud, many trunks of the Ministry of Defense and other ministries of the former USSR constantly used cast iron tubing at their facilities. For the present time, the necessity and possibility of intensification of the construction of protective structures through the use of metal materials, in particular high-strength casting alloys, especially high-strength cast irons, as well as resource-efficient casting methods for the production of construction and protective segments or tubing, have been identified. The most suitable technology for such production of thin-walled lightweight metal products at the present time is the Lost Foam casting process, which, after improvements over the past decades, including thanks to 3D technologies and adaptation to the use of the latest alloys, has the potential to ensure the growth of both stationary and mobile construction protective structures.

Keywords: protective structures; protective structures; cast materials; tubing; cast iron; high-strength cast iron; Lost Foam casting.

Doroshenko Volodymyr – Dr. Sci. (Engin.), Leading Researcher, Department of Physical Chemistry of Foundry Processes, Physical and Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv), e-mail: doro55v@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0070-5663.

Yanchenko Olexander – PhD (Engin.), Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Vinnitsia National Technical University, e-mail: 1961yab@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3888-3772.

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

УДК 666.972

DOI 10.31649/2311-1429-2023-1-36-42

В. П. Ковальський

В. О. Тимошенко

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ ВИНОСУ В БУДІВНИЦТВІ

Вінницький національний технічний університет

Досліджено перспективи використання золи виносу, яка виникає під час спалювання вугілля у теплових електростанціях, у будівництві. Зола виносу розглядається як вторинний продукт, який може бути ефективно використаний для поліпшення якості будівельних матеріалів та зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

Розглянуто основні методи активації золи-винесення та її позитивний вплив на міцність будівельних матеріалів, а також їх стійкість до агресивних факторів. Крім того, розглянуто вплив використання золи на енергоефективність будівельних матеріалів та зменшення викидів вуглекислого газу. Проведено огляд сучасних досліджень та перспективних напрямків використання золи виносу в будівництві для проведення подальших досліджень з її комплексної модифікації і застосування що дозволить суттєво зменшити антропогенний вплив на довкілля, з метою отримання будівельних матеріалів.

Отримані результати дослідження демонструють, що використання золи виносу в будівництві має великий потенціал. Воно дозволяє зменшити використання первинних матеріалів, поліпшити якість будівельних матеріалів та знизити негативний вплив енергетичної галузі на довкілля.

Ключові слова: зола-винесення, відходи, методи активації, будівельні матеріали.

Вступ

В енергетичному комплексі України найбільшу загрозу для довкілля становлять теплові електростанції. Вони чинять істотний негативний вплив на навколишнє природне середовище. Щороку в Україні утворюється 6-7 млн тон золошлакових відходів. Поки вугілля буде основним джерелом енергії, вони утворюватимуться всюди, де працюють вугільні ТЕС. В Європі до 92 % золошлаків утилізується [1-3]. В Україні поки зарано говорити про такі цифри, однак золошлакові матеріали вже успішно використовуються у виробництві цементу, бетону, будівельних сумішей, а відтепер і в дорожньому будівництві [4-6]. Застосування відходів одних виробництв в якості сировини для інших, в тому числі для інших галузей – головний принцип циркулярної економіки, яка є основою для сталого розвитку країн і підприємств.

Розширення використання вторинної сировини дозволяє більш оперативно вирішувати ресурсні і екологічні проблеми. При цьому головним напрямком науково-технічного прогресу є створення та впровадження у виробництво ресурсо- і енергозберігаючих безвідходних технологій та виробництв, при роботі яких усі компоненти сировини, що добувається і переробляється, використовуються ощадливо та в повному обсязі.

Золошлакові відходи (ЗШВ) від спалювання на теплових станціях твердих видів палива (вугілля, горючі сланці, торф) відносять до найбільш багатотонажних промислових відходів. Орієнтовно, теплоелектростанція (ТЕС) потужністю 1 млн. кВт за добу роботи спалює 10000 т вугілля, виділяючи при цьому, біля 1000 т шлаку та золи. Займаючи величезні площі, вони є джерелом забруднення оточуючого середовища, небезпечні для здоров'я населення, становлять загрозу рослинному та тваринному світу [7-9]. Разом з тим, за хімічним і мінералогічним складом вони багато в чому ідентичні природним мінеральним матеріалам та є перспективним джерелом сировини.

Мета дослідження – проаналізувати процес утворення золи-винесення на теплоелектростанціях. Визначити основні властивості золи виносу. Розглянути основні шляхи використання золи виносу, як комплексної добавки для будівельних матеріалів та виробів.

Аналітичні дослідження

При спалюванні твердого палива в топках при температурі близько 1200-1700°C теплових електричних станцій утворюються великотоннажні тверді мінеральні відходи, представлені шлаком і летючою золою. Схема утворення золи ТЕС показана на рис. 1.

Золошлакові відвали на більшості електростанцій переповнені. Якщо не вирішувати цю проблему, то такі електростанції доведеться у найближчі роки зупинити і виводити з енергосистеми. Подальше

розміщення відходів потребує будівництва нових, або розширення існуючих золовідвалів, що призводить до відчуження значних територій та забруднення навколишнього середовища [10-12].

Експерименти показують, що термічні відходи - це мінеральна сировина, яка використовується для виробництва цементу та кераміки. У той же час використання очисних споруд зменшує виробничі витрати на основні будівельні матеріали (цемент, суха суміш, бетон, розчин, бетонні та пінобетонні блоки, цегла, тротуарна плитка та ін.) щонайменше на 15-20 %. Його можна використовувати для бетону – від важкого гідравлічного до легкого лакобетону та стінової плитки.

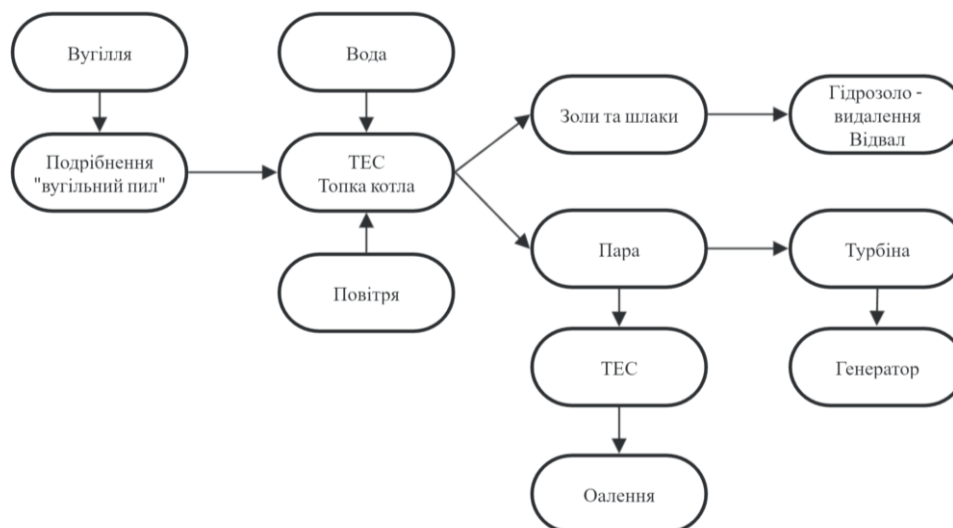


Рисунок 1 – Загальна схема утворення золи ТЕС

Дрібні і легкі частинки з питомою поверхнею 1500-3000 см²/г, що містяться в кількості близько 90%, виходять з топки у вигляді газів, а більші за розміром осідають і сплавляються в кускові шлаки.

На сучасних теплоелектростанціях спалювання вугільної сировини відбувається у пилоподібному стані. Найбільший існуючий розмір зерен шлаку в складі золошлакової суміші було прийнято 20 мм. Зола з димовими газами (зола виносу) виноситься з топки і затримується для їх очищення в циклонах і електрофільтрах [13-16]. Для переважної кількості фрагментів золи характерна склоподібна фактура поверхні. Розмір сферичних частинок коливається в районі кількох мікрон до 50-60 мкм (рис. 2).

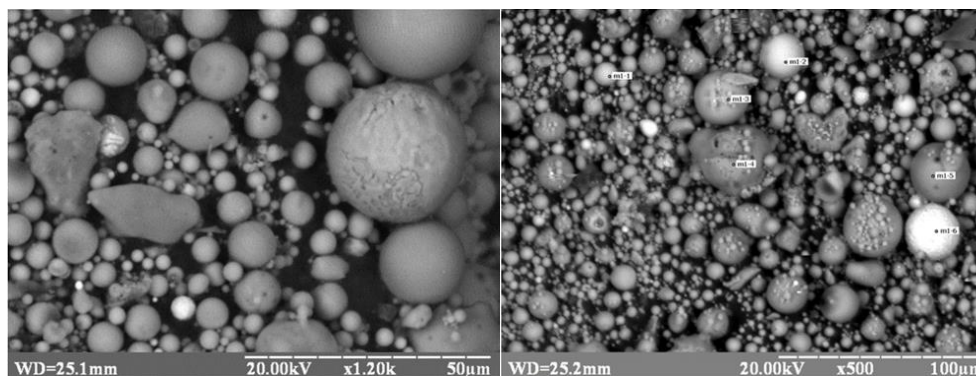


Рисунок 2 – Зображення частинок золи виносу

Будова і склад золи залежить від цілого комплексу одночасно діючих факторів: виду і морфологічних особливостей палива, що спалюється, тонини помолу в процесі його підготовки, зольності палива, хімічного складу мінеральної частини палива, температури в зоні горіння, часу перебування частинок в цій зоні та ін. При значному вмісті карбонатів кальцію в мінеральній частині вихідного палива під впливом високих температур в процесі горіння утворюються силікати, алюмінати і ферити кальцію – мінерали, здатні до гідратації. Такі золи при замішуванні з водою здатні до тужавлення і самостійного твердіння. У них, як правило, містяться оксид кальцію і оксид магнію у вільному стані.

Відходи частково замінюють великі та малі наповнювачі в бетоні. Отже, у важкому бетоні зола-винесення може замінити до 25 % цементу, тоді як у легеньких вона може зменшити споживання цементу на 10-15 %, тоді як керамзитовий гравій може зменшитись на 15-20 %.

Кількість золошлакових відходів, що використовується у складі в'язучої речовини та бетонної суміші, може бути збільшена за рахунок її активації різними способами, в тому числі механічним, хімічним, термічним, за допомогою НВЧ-енергії та комплексним (гідромеханічним, механохімічним, електро-механохімічним).

Механічна активація полягає у збільшенні питомої поверхні вихідної золи шляхом подрібнення. Для подрібнення: кульові млини, вібраційні млини, молоткові млини. Для помелу використовують: шаровий млин, вібраційний млин, молотковий млин дезінтегратор. Дезінтегратор являється однією з найкращих установок для ультра-мілкового помелу в тому числі й для помелу золи [17-19].

Це сприяє не тільки кількісному підвищенню реакційної здатності реагентів, але й має якісний ефект: формування нових активних поверхонь алюмосилікатної фази, що містять мікродефекти, які відрізняються високою поверхневою енергією і, відповідно, реакційною здатністю. У той же час підвищення питомої поверхні золи більше 700 м²/кг призводить до зниження міцності внаслідок збільшення водопотреби.

Відокремлення більш тонкої фракції золи (до 45 або 90 мкм) можливо не тільки завдяки помелу, але й шляхом сепарації. Такий підхід сприяє економії енергії в процесі помелу, але не дозволяє утилізувати всі 100 % золи. [12, 14].

В свою чергу вибір способу активації залежить від хіміко-мінералогічного складу золи, способу її отримання, а також від складу в'язучої системи, до якої цю золу додають.

Хімічна активація золи-винесення зазвичай пов'язана з розчиненням алюмосилікатного скла золи у лужному або кислому середовищі. Кислотна активація, яка іноді використовується у хімічній технології, широко не використовується в галузі будівельних матеріалів у зв'язку з високою вартістю як матеріалів, так і процесу, а також небезпечністю для персоналу та обладнання [19-21].

Лужноземельна, сульфатна та лужна. У першому випадку як активатор золи використовують портландцемент або вапно; фазовий склад новоутворень представлений переважно низько основними гідросилікатами кальцію. У другому випадку як активатор використовують сульфати кальцію (гіпс або наближені до нього за складом речовини), а фазовий склад новоутворень представлений переважно різними видами гідросульфо-алюмінатів кальцію.

У третьому випадку активаторами є гідроксиди, силікати або карбонати лужних металів, а новоутворення представлені відповідно лужноземельними або лужними гідросилікатами та гідроалюмосилікатами. Недоліком сульфатної активації золівмісного цементу є нестабільність у часі гідросульфоалюмінатів, у першу чергу – етрингіту, а також можливість утворення вторинного етрингіту, що може призвести до розвитку деструктивних процесів у структурі бетону, що твердіє. У той же час, сульфатна активація за наявності силікатних добавок може бути ефективно використана для отримання довговічних золівмісних цементів та матеріалів на їх основі незалежно від технології випалювання вугілля та вилучення золи. [12, 21].

Лужноземельна активація традиційно проводилась з використанням сполук на основі лужноземельних металів (кальцієвмісних речовин: вапна, портландцементу тощо). Отримані таким чином вапняно-зольні в'язучі або пуцоланові портландцементи на основі золи широко використовуються у будівельній галузі. Прогрес у розвитку лужних в'язучих дозволив запропонувати інші підходи до вирішення цієї проблеми, що передбачають використання сполук лужних металів. Особливістю таких систем, де використовується лужна активація, є високе значення рН дисперсійного середовища. При правильному підборі складу та концентрації лужного активатора сполуки лужних металів різко інтенсифікують першу стадію хімічної деструкції вихідної алюмосилікатної фази золи, а потім беруть активну участь у процесах синтезу. [12-14].

Термічна активація полягає в збільшенні розчинності глинозему та кремнезему за рахунок підвищення температури. Стосовно цементів з використанням активованих зол, то термічна активація використовується на етапі мокрого помелу або теплової обробки відформованих виробів (пропарювання, автоклавної обробки тощо). Як і у випадку механічної, термічна активація ефективна тільки у поєднанні з хімічною. Слід зазначити, що на відміну від механічної активації, яка визначає переважно кінетичний аспект активації, вибір температури обробки в значному ступені може визначати напрям процесу структуроутворення і, відповідно, фазовий склад новоутворень.

Ознайомившись з результатами багаторічних досліджень для хімічної активації кислої золи як з технологічної, так і з економічної точок зору, найбільш придатним є лужноземельно-сульфатний метод, причому при такій активації додатково потрібно використовувати пуцоланові та пластифікуючі добавки. Введення пуцоланової добавки необхідно для формування довговічного штучного каменю шляхом попередження та запобігання протіканню процесів утворення вторинного етрингіту або

таумаситу [14, 15]. Додавання золи винесення дозволяє підвищити міцність штучного каменю в довготривалій перспективі (рис. 3) [22, 23].

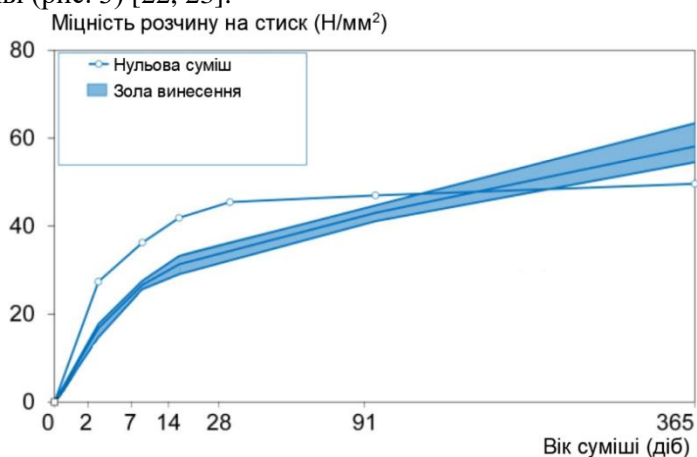


Рисунок 3 – Графік залежності зміни міцності бетонної суміші протягом року з додаванням золи винесення і без

Активация золи виносу приводит до підвищення наступних властивостей композиційних в'язучих та виробів на їх основі:

1. Міцність та довговічність: ефективна активація золи виносу призводить до покращення міцності та довговічності будівельних матеріалів.
2. Покращення реактивної активності: активація золи може змінити її хімічний склад та поверхневі властивості, що впливає на реактивну активність.
3. Розподіл частинок та площа поверхні: активована зола має більшу поверхню та зменшений розмір частинок, що сприяє збільшенню контактної площі та збільшенню активності.
4. Енергоефективність: використання активованої золи може покращити енергоефективність будівельних матеріалів, зменшуючи споживання енергії під час їх виробництва або експлуатації.

Додаткове використання пластифікуючих добавок необхідно як для регулювання реологічних властивостей бетонних сумішей, так і кінетики набору міцності на ранніх етапах твердіння.

Одним з основних застосувань золи виносу є її використання як домішки до цементу або бетону. Зола додається до суміші цементу, піску, води та щебеню для створення бетону або цементної суміші. Вона виступає в якості підвищувача міцності та ультрафіолетового захисту, поліпшує робочі характеристики бетону і забезпечує його більшу тривалість та стійкість до дії агресивних середовищ, наприклад, хлоридного впливу або сільськогосподарських добрив.

Застосування золи виносу також сприяє зменшенню використання первинних матеріалів, таких як цемент, що допомагає зберегти природні ресурси та зменшити енерговитрати на їх виробництво. Крім того, використання золи сприяє скороченню викидів вуглекислого газу, пов'язаних з виробництвом цементу, оскільки заміна частини цементу золою виносу зменшує кількість необхідного цементу у будівельних матеріалах.

Використання золи виносу також розширює можливості використання відходів будівельної галузі. Наприклад, зола може використовуватись у виробництві блоків, цегли, асфальту, штукатурки та інших будівельних матеріалів. Вона додає матеріалам більшу міцність, покращує їх теплоізоляційні властивості та зменшує їх вартість.

Досвід роботи заводів ряду країн показав, що економічно доцільно вводити золу до складу звичайного бетону. Дослідникам давно відомо, що при заміні частини цементу золою поліпшується зручність вкладення бетонної суміші. Це відбувається, головним чином, за рахунок гладкої поверхні і сферичної форми зольних частинок. Чим дрібніша зола тим більша кількість цих частинок. Відповідно з цим зменшується і кількість води для отримання необхідної консистенції бетонної суміші і поліпшуються її показники: підвищується пластичність, однорідність і щільність бетонної суміші. Зола дозволяє поліпшити гранулометрію піску, в якому відсутні дрібні фракції. Особливо доцільно її додавати в важко обробні бетонні суміші з малою кількістю цементу.

Наприклад, використання золи-винесення і золошлакових відходів ТЕС в керамзитобетоні замість кварцового піску, знижує його щільність на 40-80 кг/м³ і дозволяє скоротити витрати цементу при виробництві бетону на 15-50 кг у розрахунку на 1 м³ бетону. При цьому підвищується корозійна стійкість і теплофізичні показники бетону. Застосування золи при виробництві бетону забезпечує максимальну економію цементу (10-25 % залежно від виду, якості заповнювачів і типу конструкцій).

У європейських країнах і Японії частка корисного використання золи (в основному в будівництві) досягає 90-95 %. Із застосуванням золи виносу побудовані такі об'єкти, як найбільший хмарочос в світі - Бурдж-Халіф в ОАЕ, один з найдовших мостів у світі - Великий Бельт в Данії, тунель під Ла-Маншем, а також ряд великих гребель, градирень електростанцій, аеродромів і інших відповідальних інженерних споруд і промислових будівель.

Висновки

Використання золи виносу в будівництві є одним з ефективних способів використання відходів та ресурсозбереження. Зола виносу виникає як вторинний продукт під час спалювання вугілля або біомаси у теплових електростанціях або промислових печах. Замість того, щоб просто зберігати її на полігоні відходів, золу використовують в будівельній галузі з метою поліпшення якості будівельних матеріалів та зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

Загалом, використання золи виносу в будівництві є перспективним напрямом, який сприяє сталому розвитку та зменшенню негативного впливу будівельної галузі на довкілля. Вона дозволяє ефективно використовувати відходи та забезпечує створення екологічно стійких та енергоефективних будівельних матеріалів

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. М. С. Лемешев, та О. В. Березюк, «Антистатичні покриття із електропровідного бетону», Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві, No 2, 2017, с. 26-30.
2. Ковальський В. П. Композиційні в'язучі речовини на основі відходів промисловості [Електронний ресурс] / В. П. Ковальський, Т. Г. Шулік, В. П. Бурлаков // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/5035/4128>
3. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).
4. Drukovanyy M. Activation of gold-cement binding systems [Електронний ресурс] / М. Drukovanyy, V. Ocheretnyi, V. Kovalskiy // Матеріали L науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 10-12 березня 2021 р. – Електрон. текст. дані. – 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12714>.
5. Lyubarsky V. Use of fly ash in production wall materials [Електронний ресурс] / V. Lyubarsky, V. Kovalskiy // Матеріали LI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 31 травня 2022 р. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/16112>.
6. Ковальський, В.П. і Сідлак, О.С. 2014. ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛИ ВИНосу ТЕС у БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 16, 1 (Жов 2014), 35–40.
7. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Кочевих М. О. Заповнювачі для бетону. – Підручник. – К.: ФАДА, ЛТД. 2001. – 399 с.
8. Ковальський В. П. Композиційні в'язучі речовини на основі відходів промисловості [Електронний ресурс] / В. П. Ковальський, Т. Г. Шулік, В. П. Бурлаков // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. - Електрон. текст. дані. - 2018. - Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp2018/paper/view/5035/4128>
9. Очеретний В. П. Мінерально-фазовий склад новоутворень зола шламового в'язучого [Текст] / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, М. П. Машницький // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2006. - No 3. – С. 41–45.
10. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л., Корнейчук Ю.А. Эффективные цементно-золяные бетоны. – Ровно. – 1998. – 195 с.
11. Утилізація відходів промисловості шляхом виготовлення на їх основі сухих будівельних сумішей [Текст] / А. В. Бондар, В. П. Ковальський, В. П. Бурлаков, Є. Р. Матвійчук // Екологічні науки : науково-практичний журнал. – Київ ДЕА, 2018. – № 3(22). – С. 21-24.
12. К.К. Пушкарьова Ресурсозберігаючі мінеральні в'язучі речовини і високоефективні композиційні матеріали на основі паливних зол і шлаків. - Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2013, вип. 138.- 19-26с.
13. Очеретний В. П. Комплексна активна мінеральна добавка на основі відходів промисловості / В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, М. П. Машницький // Состояние современной строительной науки – 2006 : IV междунар. науч.-практ. интернет-конф, 12–20 мая 2006 г. : сб. научных трудов. – 2006. – С. 116–121.
14. Пушкарьова, К.К. Перспективні технології утилізації відходів паливно-енергетичної промисловості та ефективність їх застосування при отриманні будівельних матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками [Текст] / К.К. Пушкарьова, О.А. Гончар, В.В. Павлюк // Строительные материалы и изделия. – 2005. – № 4. – С. 20-23.
15. Postolatii M. Building products using industrial waste [Електронний ресурс] / М. Postolatii, S. Yakivchuk, V. Kovalskiy // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології в будівництві, Вінниця", 10-12 листопада 2020 р. – Електрон. текст. дані. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/view/10896>.
16. М. С. Лемешев, та О. В. Березюк, «Антистатичні покриття із електропровідного бетону», Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві, No 2, 2017, с. 26-30.
17. Ковальський В. П. Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, М. С. Лемешев, А. В. Бондар. – Рівне: Видавництво НУВГІП, 2013. – Випуск 26. – С. 186 – 193.
18. Мінцзюнь, Го, А. П. Оленюк, and В. П. Ковальський. Використання техногенної сировини для будівництва автомобільних доріг. Харківський національний університет міського господарства імені ОМ Бекетова, 2022.

19. Очеретний В. П. Мінерально-фазовий склад новоутворень зола шламового в'язучого [Текст] / В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, М. П. Машницький // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. - 2006. - № 3. - С. 41–45.
20. Друкований М. Ф. Комплексне золошламове в'язуче / М. Ф. Друкований, В. П. Очеретний, В. П. Ковальський // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. - Одеса, 2006. - № 21. - С. 94–100.
21. Pushkarova K.K. Physical - chemical foundations for synthesis of a durable artificial stone based on ash-cement-sulfate binding systems / K.K. Pushkarova, V.I. Gots, V.V. Pavljuk // Ibausil. – Weimar, 2006. – P. 1-0829-0836.
22. Очеретний, В. П., et al. *Определение факторного пространства для построения математической модели карбонатного пресс-бетона*. Одеська державна академія будівництва та архітектури, 2004.
23. Prof. Dr.-Ing. Detlef Heinz Technische Universität München Flugasche und Hüttensand – Zusatzstoffe mit Zukunft? – 14. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 21. März 2018 – 2018. – 27с.

REFERENCES

1. M. S. Lemeshev, та O. V. Berezyuk, «Antystatychni pokryttya iz elektroprovodnoho betonu», Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi u budivnytstvi, No 2, 2017, s. 26-30.
2. Koval's'kyy V . p. Kompozytsiyni v'yazhuchi rechovyny na osnovi vidkhodiv promyslovosti [Elektronnyy resurs] / V.V. p. Koval's'kyy, T. H. Shulik, V. p. Burlakov //Materialy XLVII naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi pidrozdiliv VNTU, Vinnytsya, 14–23 bereznya 2018 r. – Elektron. tekst. data. – 2018. – Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/5035/4128>
3. Kalafat K., Vakhitova L., Drizhd V. «Tekhnichni doslidzhennya i rozrobky». Mizhnarodna naukova hrupa. – Boston: Primedia eLaunch, 616 r. (2021).
4. Drukovanyy M . Aktivatsiya zolototsementnykh zv'yazuyuchykh system [Elektronnyy resurs] / M.V. Drukovanyy, V. Ocheretnyi, V. Kovalskiy // Materialy L naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi pidrozdiliv VNTU, Vinnytsya, 10-12 bereznya 2021 r. – Elektron. tekst. data. – 2021. – Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12714>.
5. Lyubarsky V. Use of fly ash in production wall materials [Elektronnyy resurs] / V. Lyubarsky, V. Kovalskiy // Materialy LI naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi pidrozdiliv VNTU, Vinnytsya, 31 travnya 2022 r. – Elektron. tekst. data. – 2022. – Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2022/paper/view/16112>.
6. Koval's'kyy, V.P. i Sidlak, O.S. 2014. VYKORYSTANNYA ZOLY VYNOSU TES U BUDIVEL'NYKH MATERIALIKH. Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. 16, 1 (Zhov 2014), 35–40.
7. Kryvenko P . V., Pushkar'ova K. K., Kochevykh M. O. Zapovnyuvachi dlya betonu. – Pidruchnyk. – K.: FADA, TOV. 2001. – 399 s.i. - 2006. - № 3. – S. 41–45.
8. Koval's'kyy V . p. Kompozytsiyni v'yazhuchi rechovyny na osnovi vidkhodiv promyslovosti [Elektronnyy resurs] / V.V. p. Koval's'kyy, T. H. Shulik, V. p. Burlakov // Materialy XLVII naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi pidrozdiliv VNTU, Vinnytsya, 14-23 bereznya 2018 r. - Elektron. tekst. data. - 2018. - Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp2018/paper/view/5035/4128>
9. Ocheretnyy V . p. Mineral'no-fazovyy sklad novoutvoren' zolo shlamovoho v'yazhuchoho [Tekst] / V.V. p. Koval's'kyy, V. p. Ocheretnyy, M. p. Mashnyts'kyy // Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. - 2006. - № 3. – S. 41–45.
10. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L., Korneychuk YU.A. Efektyvni tsementno-zol'ni betony. – Rovno. – 1998. – 195 s.
11. Utylizatsiya vidkhodiv promyslovosti shlyakhom vyhotovlennya na yikh osnovi sukhykh budivel'nykh sumishey [Tekst] / A.A. V. Bondar, V. p. Koval's'kyy, V. p. Burlakov, YE. R. Matviychuk // Ekolohichni nauky : naukovo-praktychnyy zhurnal. – Kyiv DEA, 2018. – № 3(22). – S. 21-24.
12. K.K. Pushkar'ova Resursozberihayuchi mineral'ni v'yazhuchi rechovyny ta vysokoefektyvni kompozytsiyni materialy na osnovi palyvnykh zol i shlakiv. - Zbirnyk naukovykh prats' UkrDAZT, 2013, vyp. 138.- 19-26s.
13. Ocheretnyy V . p. Kompleksna aktyvna mineral'na dobavka na osnovi vidkhodiv promyslovosti / V.V. p. Ocheretnyy, V. p. Koval's'kyy, M. p. Mashnyts'kyy // Sostoyanye sovremennoy stroytel'noy nauky – 2006 : IV mizhnar. nauch.-prakt. internet-konf, 12–20 travnya 2006 r. : sb. naukovykh trudov. – 2006. – S. 116–121.
14. Pushkar'ova, K.K. Perspektyvni tekhnolohiyi utylizatsiyi vidkhodiv palyvno-enerhetychnoyi promyslovosti ta efektyvnist' yikh zastosuvannya pry otrymanni budivel'nykh materialiv z pidvyshchenymy ekspluatatsiynymy kharakterystykamy [Tekst] / K.K. Pushkar'ova, O.A. Honchar, V.V. Pavlyuk // Budivel'ni materialy ta vyroby. – 2005. – № 4. – S. 20-23.
15. Postolatiy M . Budivel'ni vyroby z vykorystanniam promyslovykh vidkhodiv [Elektronnyy resurs] / M. Postolatiy, S. Yakivchuk, V. Kovalskiy // Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi "Innovatsiyni tekhnolohiyi v budivnytstvi, Vinnytsya", 10-12 lystopada 2020 r. – Elektron. tekst. data. – Vinnytsya : VNTU, 2020. – Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/view/10896>.
16. M. S. Lemeshev, та O. V. Berezyuk, «Antystatychni pokryttya iz elektroprovodnoho betonu», Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi u budivnytstvi, No 2, 2017, s. 26-30.
17. Koval's'kyy V . p. Obruntuvannya dotsil'nosti vykorystannya zoloshlamovoho v'yazhuchoho dlya pryhotuvannya sukhykh budivel'nykh sumishey / V. p. Koval's'kyy, V. p. Ocheretnyy, M. S. Lemeshev, A. V. Bondar. – Rivne: Vydavnytstvo NUVHiP, 2013. – Vypusk 26. – S. 186 – 193.
18. Mintszyun', Ho, A . p. Olenyuk ta V. p. Koval's'kyy. Vykorystannya tekhnohennoyi syrovyny dlya budivnytstva avtomobil'nykh dorih. Kharkiv's'kyy natsional'nyy universytet mis'koho hospodarstva imeni O. M. Beketova, 2022.
19. Ocheretnyy V . p. Mineral'no-fazovyy sklad novoutvoren' zolo shlamovoho v'yazhuchoho [Tekst] / V.V. p. Koval's'kyy, V. p. Ocheretnyy, M. p. Mashnyts'kyy // Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi. - 2006. - № 3. – S. 41–45.
20. Drukovanyy M . f. Kompleksne zoloshlamove v'yazhuche /M. f. Drukovanyy, V. p. Ocheretnyy, V. p. Koval's'kyy // Visnyk Odes'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury. – Odesa, 2006. – No 21. – S. 94–100.
21. Pushkarova K.K. Fyzyko – khimichni osnovy syntezu mitsnoho shtuchnoho kamenyu na osnovi zo tsementno sul'fatnykh v'yazhuchykh system / K.K. Pushkarova, V.I. Hots, V.V. Pavlyuk // Ibausil. – Veymar, 2006. – S. 1-0829-0836.
22. Ocheretnyy V . P. ta in. Opredelenye faktornogo prostoru dlya pobudovy matematycheskoy modely karbonatnoho pres-betona. Odes'ka derzhavna akademiya budivnytstva ta arkhitektury, 2004.
23. Profesor d.t.n. Detlef Heinz Technische Universität München Flugasche und Hüttensand – Zusatzstoffe mit Zukunft? – 14. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 21 bereznya 2018 – 2018. – 27с.

Ковальський Віктор Павлович – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства і архітектури Вінницького національного технічного університету, e-mail: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com ORCID 0000-0002-3103-6319.

Тимошенко Віталій Олександрович — магістр, факультет будівництва, теплоенергетики та газопо-стачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vitaliktymoshenko@gmail.com.

V. Kowalski
V. Tymoshenko

STUDY OF THE PROSPECTS OF USING FLY ASH IN CONSTRUCTION

Vinnitsia National Technical University

The prospects of using fly ash, which occurs during the burning of coal in thermal power plants, in construction were studied. Fly ash is considered as a secondary product that can be effectively used to improve the quality of building materials and reduce the negative impact on the environment.

The impact of ash on the strength of building materials, as well as their resistance to aggressive factors, is considered. In addition, the impact of using ash on the energy efficiency of building materials and reducing carbon dioxide emissions is considered.

Ways of processing waste, which allow to significantly reduce the negative anthropogenic impact on the environment, are considered. It was found that gold and varnish waste can be used in construction, agriculture, and water treatment technologies. Ash and slag waste is most widely used in the construction industry as a ready aggregate and raw material. In particular, the use of thermal power plant slag for road construction is widespread.

An overview of modern research and experience in the use of fly ash in construction is carried out, and examples of successful cases of its application are given.

The research results show that the use of fly ash in construction has great potential. It allows to reduce the use of primary materials, improve the quality of construction materials and reduce the negative impact of the construction industry on the environment.

In general, the use of fly ash in construction is a promising direction that contributes to sustainable development and reducing the negative impact of the construction industry on the environment. It allows efficient use of waste and ensures the creation of environmentally sustainable and energy-efficient building materials

Key words: ash, TPP, waste, impurities, building materials.

Kowalski Viktor – Ph.D., Associate Professor, Department of Urbanism and Architecture VNTU (Vinnitsa National Technical University), e-mail: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com ORCID 0000-0002-3103-6319.

Tymoshenko Vitalii – Master of department construction, urban and architectural Vinnitsia National Technical University, e-mail: vitaliktymoshenko@gmail.com.

THE INFLUENCE OF DEICING SALT ON AIR VOIDS OF ASPHALT MIXTURE UNDER FREEZE-THAW CYCLE

Vinnitsa National Technical University

The extensive use of deicing salt has not only solved the problem of road icing but also had a serious impact on the pavement, reducing its lifespan. In order to deeply understand the impact of deicing salt on the air voids of asphalt mixture in the northwest climate of China, this paper conducted freeze-thaw cycle tests on AC-13 and AC-16 asphalt mixtures under three different deicing salt solutions and three different low-temperature environments, and analyzed the changes in air voids, meanwhile, the Logistic prediction model was used to evaluate the change characteristics of the air voids. The experimental results showed that the air voids of asphalt mixture increased to varying degrees after multiple freeze-thaw cycles; when the temperature was above its freezing point, no frost heave damage occurred, and the air voids increased slowly; when the temperature was below the freezing point, frost heave damage occurred, causing rapid growth and connection of voids in the mixture, and the air voids increased rapidly; the Logistic model showed a good fit with the observed changes in air voids.

Key words: asphalt mixture, freeze-thaw cycle, air voids, deicing salt.

Introduction

With the rapid development of society, more and more roads have been paved with asphalt concrete [1-2]. However, as the impact of global climate change intensifies, winter maintenance of roads in cold regions has become an important issue [3]. The main method of winter road maintenance is to spread deicing salt when the road is frozen, but the long-term and excessive use of deicing salt also increases the damage to road materials [4-5].

Air voids is one of the important indicators for evaluating the performance of asphalt mixtures [6]. The size of the air voids directly affects the frost resistance and durability of asphalt mixture, and reducing the air voids appropriately is an effective way to improve their performance. Scholars have conducted some related research on the influence of air voids, JOHN T [7] believes that lower air voids is beneficial for both fatigue life and initial stiffness. Jing Hu [8] found through a study of the internal structure of asphalt mixture that different porosity distributions and shapes have a significant impact on the failure state of asphalt mixture. Yanjing Zhao [9] proved through CT scanning images that non-connected pores in asphalt concrete mainly distribute near the center of the specimen, and connected pores are distributed slightly closer to the outer edge. Tao Ma [10] investigated the influence of structural parameters such as air voids, pore size, and pore distribution on the creep behavior of asphalt mixtures and found that the more and larger the pores, the greater the creep strain of the asphalt mixture, in addition, the uneven distribution of pores in asphalt mixture also has a negative impact on their creep deformation. However, these studies did not consider the variation of porosity under salt dissolution conditions.

On the basis of the special climate in northwest China [11-12], this paper uses collected data on rainfall, air humidity, and temperature between pavement layers to conduct freeze-thaw cycle tests on two types of asphalt mixture with three deicing salt solutions of suitable concentration and in three low-temperature environments. The study aims to investigate the mechanism of the effect of deicing salt on the air voids of asphalt mixtures and to propose corresponding measures to reduce the damage caused by deicing salt to asphalt mixtures, providing a reference for road design and maintenance.

Experimental materials and methods

In this experiment, KL-90 petroleum asphalt was selected, and its various technical indicators were determined to meet the requirements of the specifications, as shown in Table 1. The technical indicators of the selected coarse and fine aggregates and mineral powder also met the specifications, as shown in Tables 2 - 4.

Table 1

Technical indexes of asphalt

Index	Test Result	Requirement	Test Method
Penetration (25 °C, 100 g.5s)/0.1 mm	88.5	80~100	T0604
Penetration Index	-0.9	-1.5~+1.0	T0604
Softening Point/°C	49	≥45	T0606
Flash Point/°C	303	≥245	T0611
Extensibility (15 °C)/cm	147	≥100	T0605
Density (15 °C)/(g·cm-3)	1.034	—	T0603
Dynamic viscosity (60°C)/Pa·s	153	≥140	T0620
Solubility/%	99.8	≥99.5	T0607

Table 2

Technical indicators of coarse aggregate

Index	Test Result	Requirement	Test Method
Crushed Stone Value/%	17.6	≤28	T0316
Los Angeles Abrasion Loss/%	17.5	≤30	T0317
Apparent Particle Density	2.82	≥2.5	T0304
Solmdness/%	10.8	≤12	T0314
Water Absorption/%	1.5	≤3	T0304

Table 3

Technical indicators of fine aggregate

Index	Test Result	Requirement	Test Method
Apparent Particle Density	2.74	≥2.50	T0328
Sand Equivalent/%	75	≥60	T0334
Solmdness/%	9.2	≤12	T0340
Mud Content/%	2.0	≤3	T0333

Table 4

Technical indicators of mineral powder

Index	Test Result	Requirement
Density/(t·m-3)	2.82	≥2.5
Water Absorption/%	0.88	≤1
Hydrophilic Coefficient/%	≤1	≤1
Appearance	No agglomerates	No agglomerates

For this experiment, two types of dense-graded asphalt mixture, AC-13 and AC-16, were selected. The target gradation curves are shown in Figures 1 - 2.

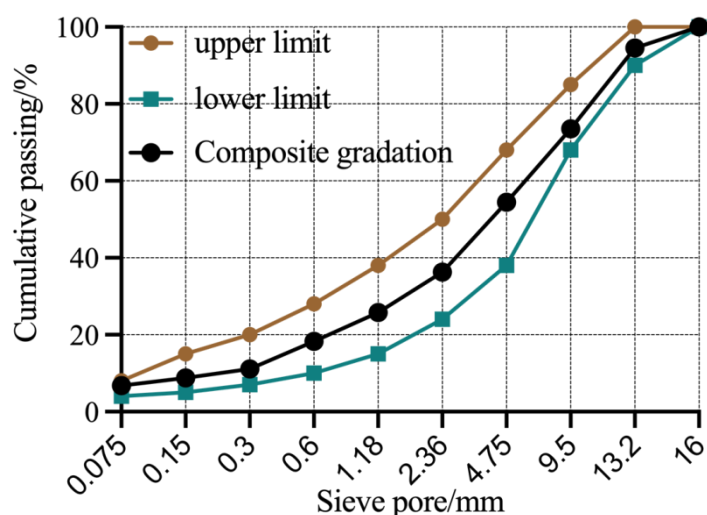


Fig.1 Synthetic grading curve of AC-13

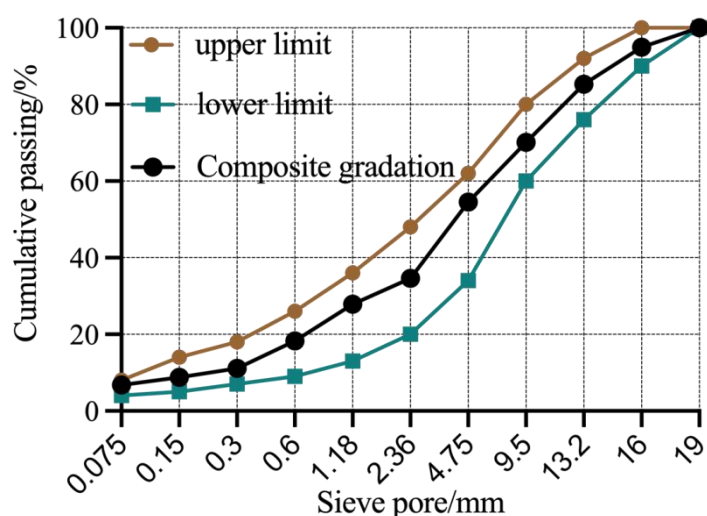


Fig.2 Synthetic grading curve of AC-16

On the basis of considering the deicing effect and economy, the experiment adopted 20% industrial salt (NaCl), 15% urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) and 20% anhydrous ethanol ($\text{CH}_2\text{CH}_3\text{OH}$) as the solutions for the freeze-thaw cycles, respectively. Marshall specimens of two types of gradations, AC-13 and AC-16, were prepared and subjected to freeze-thaw cycle tests with 0, 5, 10, 15, 20, 25, and 30 cycles at temperatures of -5°C , -15°C , and -25°C . Each cycle included immersion in the three solutions for 12 ± 0.5 hours and subsequent placement in the temperature controlled cabinet for 12 ± 0.5 hours. After the completion of the freeze-thaw cycles, the air voids of the asphalt mixture were determined according to the "Standard Test Methods for Bitumen and Bituminous Mixtures for Highway Engineering" (JTG E20-2011).

Results analysis and discussion

The results of air voids and its growth rate of AC-13 asphalt mixture after freeze-thaw cycles in three different deicing salt solutions and three different low temperature environments are shown in Figure 3.

From Figures 3(a) and 3(b), it can be seen that when the gradation of asphalt mixture is AC-13 and the freezing temperature is -5°C , the air voids corresponding to the three types of deicing salt solutions shows an increasing trend with the increase of freeze-thaw cycles, and the temperature at this time did not fall below the freezing point of the three deicing salt solutions, so the growth rate is slow. Among them, $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ has the greatest influence on the air voids, and its corresponding air voids increased by 39.25% to 6.28% in the 30th cycle, which no longer meets the air voids requirements of some pavements. NaCl has the second largest influence on the air voids, and its corresponding air voids increased by 19.51% to 5.39% in the 30th cycle. $\text{CH}_2\text{CH}_3\text{OH}$ has the smallest influence on the air voids, and its corresponding air voids increased by 13.97% to 5.14% in the 30th cycle.

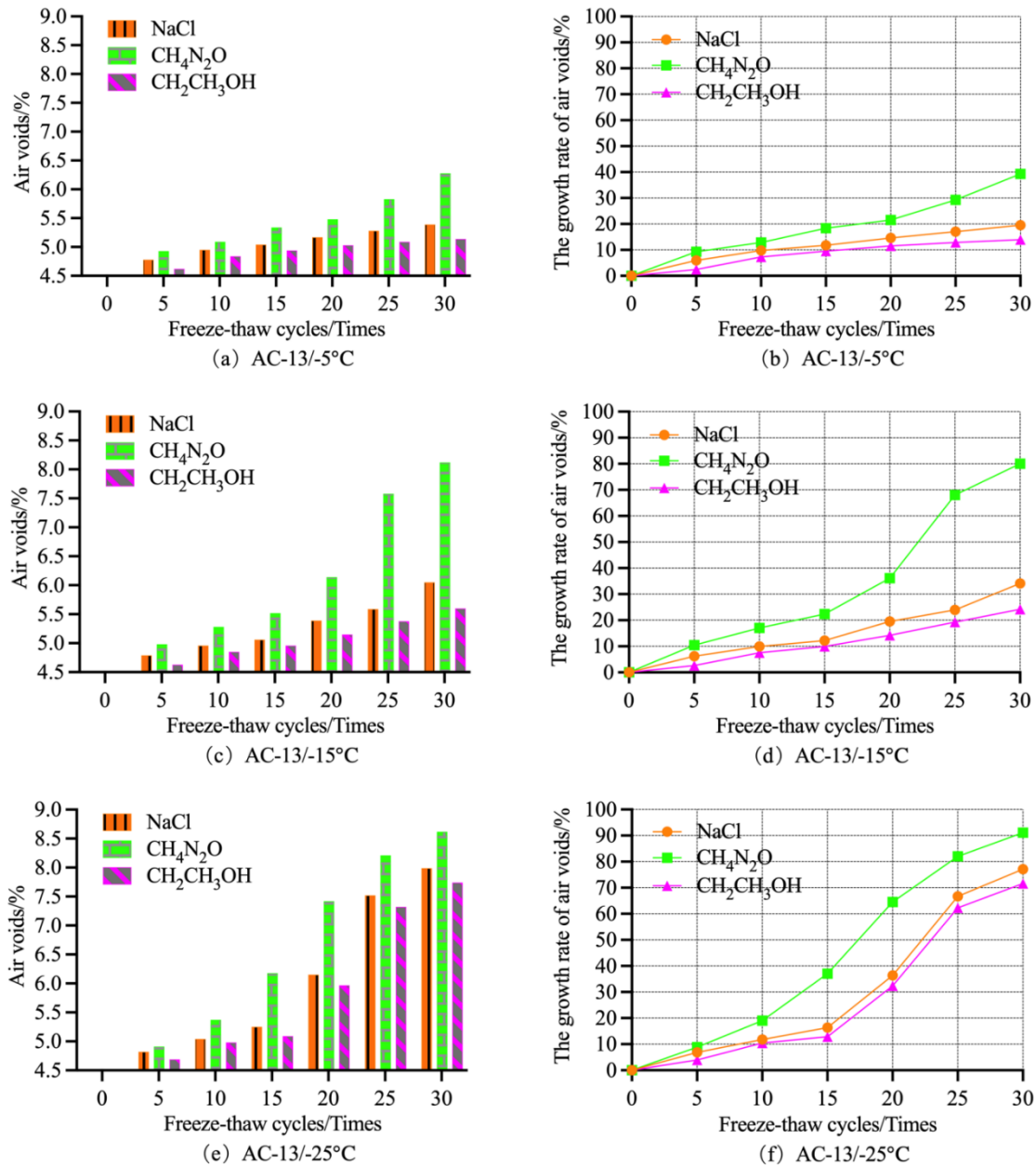


Fig. 3 Variation of air voids with increasing number of freeze-thaw cycles

From Figure 3(c) and 3(d), it can be seen that when the gradation of asphalt mixture is AC-13 and the freezing temperature is -15°C , the air voids of the three types of deicing salt solutions increases with the number of freeze-thaw cycles, and the air voids corresponding to $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ starts to increase rapidly from the 20th cycle, with a much higher growth rate than that of NaCl and $\text{CH}_2\text{CH}_3\text{OH}$. At this point, the temperature has dropped below the freezing point of the solution of $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$, and condensation occurs. In the 30th cycle, the corresponding air voids of $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ increased by 80.04%, reaching 8.12 %, which no longer meets the requirements for air voids of road. NaCl has the second largest impact on air voids, and its corresponding air voids increased by 34.15 % in the 30th cycle, reaching 6.05 %. $\text{CH}_2\text{CH}_3\text{OH}$ has the smallest effect on air voids, and its corresponding air voids increased by 24.17 % in the 30th cycle, reaching 5.60 %.

From Figure 3(e) and 3(f), it can be seen that when the gradation of asphalt mixture is AC-13 and the freezing temperature is -25°C , the air voids of the three deicing salts increases with an increase in the number of freeze-thaw cycles. The air voids corresponding to the three deicing salts start to increase rapidly from the 15th cycle, when the temperature is below the freezing point of all three deicing salt solutions, and condensation occurs. Among them, $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ has the greatest impact on the air voids, with its corresponding air voids increasing by 91.13 % in the 30th cycle, reaching 8.62 %. The effect of NaCl on the air voids is second, with its corresponding air voids increasing by 77.16 % in the 30th cycle, reaching 7.99 %. The effect of $\text{CH}_2\text{CH}_3\text{OH}$ on the air voids is the smallest, with its corresponding air voids increasing by 71.62 % in the

30th cycle, reaching 7.74 %.

The results of air voids and its growth rate of AC-16 asphalt mixture after freeze-thaw cycles in three different deicing salt solutions and three different low temperature environments are shown in Figure 4.

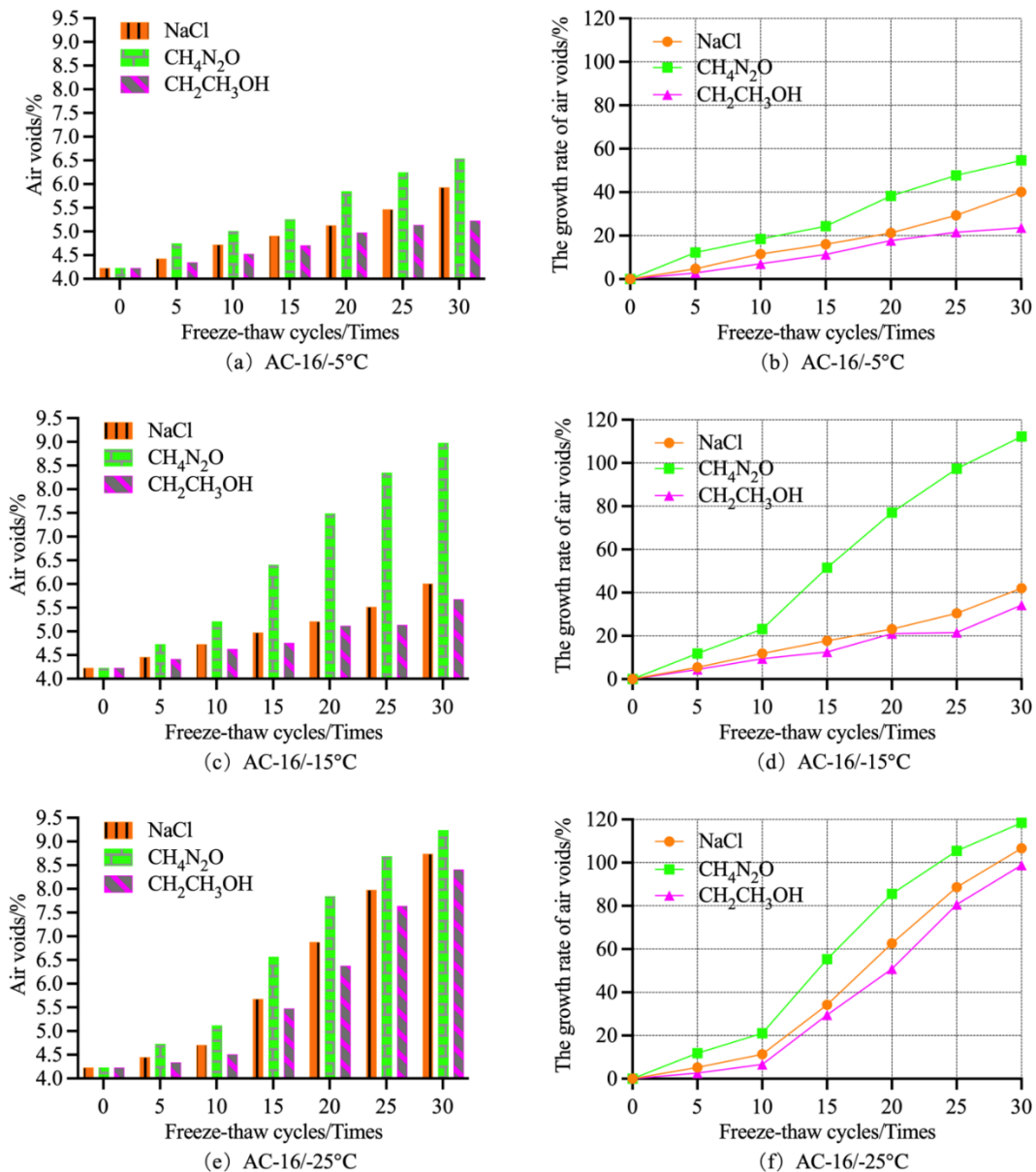


Fig. 4 Variation of air voids with increasing number of freeze-thaw cycles

From Figures 4(a) and 4(b), it can be seen that when the gradation of asphalt mixture is AC-16 and the freezing temperature is -25°C, as the number of freeze-thaw cycles increases, the corresponding air voids for the three types of deicing salts shows a growing trend, and the growth rates are slow as the temperature has not fallen below the freezing point of the three deicing salt solutions. Among them, CH₄N₂O has the greatest impact on the air voids, with an increase of 54.61 % at the 30th cycle, reaching 6.54 %, which no longer meets the requirements of certain pavement. The effect of NaCl on air voids is secondary, with an increase of 40.19% at the 30th cycle, reaching 5.93 %. The effect of CH₂CH₃OH on air voids is the smallest, with an increase of 23.64 % at the 30th cycle, reaching 5.23 %.

From Figures 4(c) and 4(d), it can be seen that for the AC-16 asphalt mixture, when the freezing temperature is -15°C, the air voids corresponding to the three types of deicing salt solutions shows an increasing trend with the increase of freeze-thaw cycles. The air voids corresponding to the solution of CH₄N₂O increases rapidly starting from the 20th cycle, with an increase rate far higher than that of NaCl and CH₂CH₃OH, and at this point, the temperature has already dropped below the freezing point of the solution of CH₄N₂O, and condensation phenomenon occurs. At the 30th cycle, the corresponding air voids of CH₄N₂O increased by 112.29 %, reaching 8.98 %, which can no longer meet the requirements of the pavement. The impact of NaCl

on the air voids is second, and at the 30th cycle, the corresponding air voids increases by 42.08 %, reaching 6.01%. The impact of CH₂CH₃OH on the air voids is the smallest, and at the 30th cycle, the corresponding air voids increases by 34.27 %, reaching 5.68 %.

From Figure 4(e) and 4(f), it can be seen that when the gradation of asphalt mixture is AC-16 and the freezing temperature is -25°C, the air voids of the three types of deicing salts all show an increasing trend with the increase of freeze-thaw cycles, and the air voids of the three types of deicing salts all starts to increase rapidly from the 15th cycle, at which point the temperature is lower than the freezing point of the three deicing salt solutions, and condensation occurs. Among them, CH₄N₂O has the greatest influence on air voids, and its corresponding growth rate reached 118.44 % at the 30th cycle, reaching 9.24 %; NaCl has the second greatest influence on air voids, and its corresponding growth rate reached 106.62 % at the 30th cycle, reaching 8.74 %; CH₂CH₃OH has the smallest influence on air voids, and its corresponding growth rate reached 98.82 % at the 30th cycle, reaching 8.41 %.

Based on Figures 3 and 4, it can be observed from the growth rate of air voids with the increase of freeze-thaw cycles that regardless of whether the freezing point of the deicing salt solution is reached or not, that is, whether it freezes or not, the rate of increase of AC-16 is higher than that of AC-13, moreover, the percentage of fine aggregate in AC-13 is higher than that in AC-16, which means that increasing the percentage of fine aggregate can slow down the speed of void damage and connectivity in asphalt mixtures.

Prediction models for air voids

In this paper, Logistic prediction model was constructed using two independent variables, x and y, to represent temperature and freeze-thaw cycles, respectively, and the air voids was used as the dependent variable:

$$R_T = \frac{a}{\left[1 + \exp\left(\frac{b-x}{m}\right)\right] \left[1 + \exp\left(\frac{c-y}{n}\right)\right]} + d$$

In this equation, a, b, c, d, m, and n are fitting parameters. R_T is a function that varies with x and y. Through numerical simulation, the Logistic prediction models were fitted under various conditions, and the results are shown in Table 5.

Table 5

Variance analysis of different influencing factors and air voids

Types of Deicing Salt	Gradation	Logistic prediction model	Correlation coefficient R ²
NaCl	AC-13	$R_T = \frac{26.6}{\left[1 + \exp\left(\frac{21.81-x}{1.366}\right)\right] \left[1 + \exp\left(\frac{-21.05-y}{2.298}\right)\right]} + 4.574$	0.9379
CH ₄ N ₂ O	AC-13	$R_T = \frac{1.415}{\left[1 + \exp\left(\frac{1.061-x}{0.7981}\right)\right] \left[1 + \exp\left(\frac{0.8903-y}{3.712}\right)\right]} + 3.869$	0.95
CH ₂ CH ₃ OH	AC-13	$R_T = \frac{9.653}{\left[1 + \exp\left(\frac{16.32-x}{1.14}\right)\right] \left[1 + \exp\left(\frac{-15.91-y}{2.069}\right)\right]} + 4.582$	0.9357
NaCl	AC-16	$R_T = \frac{14.31}{\left[1 + \exp\left(\frac{22.41-x}{1.645}\right)\right] \left[1 + \exp\left(\frac{-22.33-y}{2.648}\right)\right]} + 4.13$	0.9161
CH ₄ N ₂ O	AC-16	$R_T = \frac{3.044}{\left[1 + \exp\left(\frac{0.7394-x}{0.4165}\right)\right] \left[1 + \exp\left(\frac{1.913-y}{4.929}\right)\right]} + 2.61$	0.9453
CH ₂ CH ₃ OH	AC-16	$R_T = \frac{9.596}{\left[1 + \exp\left(\frac{15.02-x}{1.175}\right)\right] \left[1 + \exp\left(\frac{-15.8-y}{2.309}\right)\right]} + 4.24$	0.9294

From Table 5, it can be seen that, under the coupling effect of multiple factors, the variation of air voids in the asphalt mixture is well correlated with the Logistic model, and the correlation coefficients are all above

0.91. Therefore, the Logistic model can effectively reflect the changing trend of air voids over time.

Conclusions

By conducting freeze-thaw cycle tests on AC-13 and AC-16 under three different low-temperature environments and three different deicing salt solutions, the following conclusions can be drawn by analyzing the variation of air voids:

(1) The influence of deicing salts on the air voids of asphalt mixtures, from large to small, follows the order of $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O} > \text{NaCl} > \text{CH}_2\text{CH}_3\text{OH}$.

(2) The erosion resistance of AC-13 is higher than that of AC-16, indicating that increasing the percentage of aggregate can slow down the rate of void damage and connectivity in asphalt mixtures.

(3) When deicing salt solution infiltrates the interior of the asphalt mixture, it can cause erosion damage to the mixture even at temperatures above its freezing point, but frost heaving damage will occur when the temperature drops below its freezing point, which can lead to rapid growth and connectivity of voids in the mixture, seriously affecting the pavement's service life.

(4) The Logistic model shows good correlation with the change of air voids, with correlation coefficients greater than 0.91.

REFERENCES

- Mingjun, Guo. "Safety measures for driving on icy roads in winter." *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів і студентів "Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених 13: 266-267.*
- Yanqiu, F., et al., Discussion on the Influence of Road Traffic Safety Facilities on Traffic Safety. *Technological Innovation and Application*, 2019. 27.
- Kalafat K. Technical research and development [Text]: collective monograph / Kalafat K., Vakhitova L., Drizhd V., etc. – International Science Group. – Boston, : Primedia eLaunch 2021. – 616 p.
- Guo Mingjun. Research progress on hydrodynamic pressure of asphalt pavement [Електронний ресурс] / Guo Mingjun, I. V. Khomyuk, V. P. Kovalskiy // *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2022)»*, Вінниця, 16-17 червня 2022 р. – Електрон. текст. дані. – 2022. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2022/paper/view/16326>.
- Guo Mingjun Research of mechanical properties of bituminous concrete at low-temperature [Text] / Guo Mingjun, V. P. Kovalskiy // *Applied Scientific and Technical Research : proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference*, Ivano-Frankivsk, April 1–3, 2020. – Ivano-Frankivsk : Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 2020. – V. 2. – P. 104-105.
- Мінцзюнь Г. Overview of the test method for road pavement at high temperatures [Електронний ресурс] / Г. Мінцзюнь, В. П. Ковальський // *Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р.* – Електрон. текст. дані. – 2020. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2020/paper/view/8817>.
- Mingjun G. Review of road geothermal snow melting technology [Електронний ресурс] / G. Mingjun, V. Kovalskiy // *Матеріали L науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 10-12 березня 2021 р.* – Електрон. текст. дані. – 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12635>.
- Guo Mingjun Research status of road deicing salt [Текст] / Guo Mingjun, V. P. Kovalskiy // *Стратегія розвитку міст: молодь і майбутнє (інноваційний ліфт) : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (квітень 2020 року).* – Харків : Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, 2020. – С. 292-297.
- Guo Mingjun. Common evaluation methods for water stability of asphalt mixture [Електронний ресурс] / Guo Mingjun, Victor Kovalskiy, Mykhailo Bondar // *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2021»*, м. Вінниця, 12-14 листопада 2021 р. : електронне мережеве наукове видання. – Електрон. текст. дані. – 2021. – с. 4. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egcu/egcu2021/paper/viewFile/14092/11941>
- Guo Mingjun. The effect of anti-icing reagents on the frost resistance of asphalt concrete [Електронний ресурс] / Guo Mingjun, M. D. Bondar, V. P. Kovalskiy // *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології в будівництві (2022)", 23-25 листопада 2022 р.* – Вінниця : ВНТУ, 2022. – <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2022/paper/view/16746>

REFERENCES

- M. Sukhija and N. Saboo, "A comprehensive review of warm mix asphalt mixtures-laboratory to field," *Construction and Building Materials*, vol. 274, p. 121781, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121781.
- F. Kaseer, A. E. Martin, and E. Arámbula-Mercado, "Use of recycling agents in asphalt mixtures with high recycled materials contents in the United States: A literature review," *Construction and Building Materials*, vol. 211, pp. 974–987, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.286.
- M. Wang, H. Gao, M. Chai, Z. Sun, and J. Wang, "Study on the Performances of an Anticoagulant Ice Coating Material for Asphalt Pavement," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 2168, no. 1, p. 012014, Jan. 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2168/1/012014.
- K. Liu et al., "Deicing efficiency analysis and economic-environment assessment of a novel induction heating asphalt pavement," *Journal of Cleaner Production*, vol. 273, p. 123123, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123123.
- Q. Zhang, D. Wu, X. Zhang, K. Chang, and Y. Wang, "Effect of organic deicing agents on asphalt rheology and analysis of the mechanism," *Construction and Building Materials*, vol. 284, p. 122649, May 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122649.

6. S. Chen, Z. You, S.-L. Yang, A. Garcia, and L. Rose, "Influence of air void structures on the coefficient of permeability of asphalt mixtures," Powder Technology, vol. 377, pp. 1–9, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.powtec.2020.08.082.
7. J. T. Harvey and B.-W. Tsai, "Effects of asphalt content and air void content on mix fatigue and stiffness," Transportation research record, vol. 1543, no. 1, pp. 38–45, 1996.
8. J. Hu, Z. Qian, D. Wang, and M. Oeser, "Influence of aggregate particles on mastic and air-voids in asphalt concrete," Construction and Building Materials, vol. 93, pp. 1–9, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.05.031.
9. Y. Zhao, X. Wang, J. Jiang, and L. Zhou, "Characterization of interconnectivity, size distribution and uniformity of air voids in porous asphalt concrete using X-ray CT scanning images," Construction and Building Materials, vol. 213, pp. 182–193, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.056.
10. T. Ma, D. Zhang, Y. Zhang, Y. Zhao, and X. Huang, "Effect of air voids on the high-temperature creep behavior of asphalt mixture based on three-dimensional discrete element modeling," Materials & Design, vol. 89, pp. 304–313, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.matdes.2015.10.005.
11. Ping Li, Xiying Wei, Tengfei Nian, Yang liu, and Yu Mao, "Freezing Point Test of Deicers on Asphalt Pavement in Seasonal Frozen Region Bulletin of the Chinese Ceramic Society," Bulletin of the Chinese Ceramic Society, vol. 38, no. 05. pp. 1561–1567, 2019.
12. Yang liu and Ping Li, "Study on Temperature Field Prediction Model and Anti Icing Technology of Asphalt Pavement in Winter of Gansu Province," Lanzhou University of Technology, 2018.

Kovalskiy Victor P. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction, Municipal Economy and Architecture Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com ORCID 0000-0002-3103-6319.

Guo Mingjun, Postgraduate Department of Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: guo19920408@hotmail.com ORCID / 0000-0001-5924-0779

В. П. Ковальський
Го Мінцзюнь

ВПЛИВ ПРОТИОЖЕЛЕДНОЇ СОЛІ НА ПОРИСТІСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНУ ПРИ ПОПЕРЕМІННОМУ ЗАМОРОЖУВАННІ ТА ВІДТАВАННІ

Вінницький національний технічний університет

Широке використання протиожеледної солі ефективно вирішує проблему ожеледиці на дорогах взимку, але її використання негативно впливає на дорожнє покриття, скорочуючи його термін експлуатації. З метою отримання комплексного розуміння впливу протиожеледної солі на коефіцієнт пористості асфальтових сумішей, в умовах наближених до клімату північно-західного Китаю, було проведено дослідження поперемінного заморожування та відтавання. Дослідження проводились на двох видах асфальтобетонних зразків АС-13 і АС-16 які були насичені у трьох різних розчинах протиожеледної солі та піддавались низькотемпературному впливу при -5, -15 та -25°C. Вивчені та проаналізовані зміни коефіцієнта пористості. Застосована логістична модель прогнозування зміни коефіцієнта пористості, для оцінки характеристик довговічності асфальтобетону.

Експериментальні результати свідчать про те, що після кількох циклів заморожування та відтавання в обох видах асфальтобетонних зразків спостерігається зростання коефіцієнта пористості різного ступеня. Коли температура перебуває вище точки замерзання, суміші не піддаються пошкодженню від замерзання, і зростання коефіцієнта порожності відбувається відносно повільно. Однак, при температурі нижче точки замерзання, виникають пошкодження, що призводить до швидкого розширення та з'єднання порожнин всередині сумішей, що призводить до значного збільшення коефіцієнта пористості. Крім того, спостерігається чітка кореляція між логістичною моделлю та зміною коефіцієнта пористості встановленого в результаті проведення досліджень.

Ключові слова: асфальтна суміш, цикл заморожування-відтавання, повітряні порожнини, протиожеледна сіль.

Ковальський Віктор Павлович – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства і архітектури, Вінницького національного технічного університету, e-mail: kovalskiy.vk.vntu.edu@gmail.com ORCID 0000-0002-3103-6319.

Го Мінцзюнь, аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. e-mail: guo19920408@hotmail.com

В. В. Швець
М. О. Постолатій

РОЗРОБКА ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО БУДІВЕЛЬНОГО БЛОКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПІНОПОЛІСТИРОЛУ, ТЕХНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ ТА ПІНОУТВОРЮВАЧА

Вінницький національний технічний університет

Запропоновано робоча гіпотеза розробки нового будівельного матеріалу на основі цементу (Ц) з використанням пінополістиролу (ППС), технічного вуглецю (ТВ) та піноутворювача (ПУ).

Розкрито питання покращення економічних та енергетичних показників будівництва за рахунок використання нового будівельного матеріалу створеного на основі синергетичного ефекту від застосування позитивних характеристик цементу, пінополістиролу, технічного вуглецю та піноутворювача та розглянуто ефективність застосування кожного з наведених матеріалів.

Виділено основні характеристики легкого заповнювача ППС як енерго- та ресурсозберігаючого нового матеріалу, виокремлено основні переваги використання технічного вуглецю як матеріалу для збільшення міцності та щільності каркасу. Розглянуто застосування піноутворюючих добавок для зменшення ваги будівельного блоку.

Ключові слова: енергоефективність, будівельна галузь, легкий бетон, пінополістирол, пінополістирол бетон, технічний вуглець, щільність, міцність, теплопровідність, піноутворювач, термічний опір, легка вага.

Вступ

За останні роки економічна, енергетична та геополітична сфери зазнали значних змін. Тому саме зараз виникає питання шляхів покращення показників та ситуації в цілому. Для запобігання критичного стану, важливим етапом є збільшення інвестицій як вітчизняного, так і зарубіжного походження. Ефективне використання інвестицій є ключовим елементом у розвитку економіки будь-якої країни. Для покращення інвестування та подальшого розвитку передових технологій на території України необхідно довести доцільність та ефективність тих чи інших розробок та напрацювань.

У зв'язку з війною в Україні, що призвела до руйнування житлово-комунальної та енергетичної структури міст, перед будівельної галуззю постала проблема зведення великих об'ємів житлового фонду з застосуванням простих та енергоефективних технологій. Будівельна галузь одна з основних та найбільших споживачів енергії серед усіх галузей економіки, тому її енергетична ефективність стає все більш важливою через екологічні обмеження та зростання вартості палива та енергії. Енергія, необхідна в будівлях, здебільшого спрямована на забезпечення теплового комфорту, тому щоб зменшити їх енергоспоживання необхідно детально розглянути питання енергоефективності та економічної доцільності тих чи інших елементів будівельної галузі.

Аналіз

Для забезпечення комфортного проживання в будівлях, температура всередині будівлі має становити в середньому 20÷25 °С, тому конструктивні рішення повинні забезпечувати низькі вимоги до теплопередачі. Для того, щоб зменшити передачу температури від будівлі ззовні до середини, та зберегти міцнісні характеристики було запропоновано певні традиційні методи, такі як: будівництво суцільної цегляної стіни та встановлення додаткових шарів теплоізоляція (шар пінопласту, ізоляційна фарба або використання пустотілої цегли тощо. Проте ці рішення збільшать трудомісткість, терміни будівництва та витрати.

Сучасні ефективні технології зведення будівель йдуть в ногу з технологічним прогресом, що провокує зменшення уваги до конструкцій та матеріалів. Тому на сьогоднішній день актуальним є питання виявлення матеріалів, що користуються найбільшим попитом в будівництві. Найчастіше при зведенні будівель використовують цеглу в 48,3 % випадків (рис. 1) [1].

Основою такого попиту є значна міцність та довговічність цього будівельного матеріалу. В 21 % випадків будівництва використовують деревину тому, що воно має певні властивості, які чинять опір механічним впливам, таким як: стиск, вигин, розтяг. 18,7 % будівництва відбуваються з використанням блоків (піно-газо-полістеролбетону та інші). Ця технологія має переваги в екологічності, енергоефективності та має меншу собівартість при зведенні в порівнянні з іншими матеріалами. Найменшим попитом в будівництві користуються помешкання з каменю або моноліту – 7,8 % випадків.

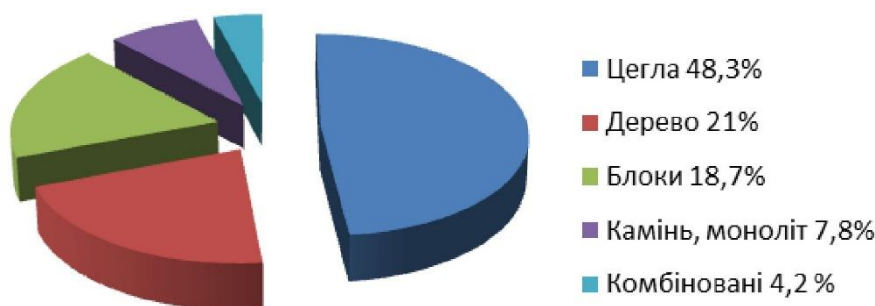


Рисунок 1 – Діаграма використання будівельних матеріалів [1]

Найоптимальнішим та найпопулярнішим рішенням будівельних організацій для підвищення теплотехнічних показників є зведення будівель з блоків з підвищеними показниками теплоізоляції: газобетонні, пінобетонні, полістиролбетонні, керамзитобетонні, а також саман та арболіт. До таких сучасних рішень утеплення відноситься використання цегляних блоків з нового матеріалу – легкого бетону (ЛБ), який має значний термічний опір та витримує навантаження, що діють на зовнішні стіни будівель.

Легкі бетони успішно застосовуються в будівництві, завдяки своїй низькій щільності. ЛБ є важливим матеріалом для зменшення власної ваги бетону, що відповідає спеціальному бетону конструкції висотних будинків. Для виробництва легкого бетону можна використовувати кілька видів неорганічних легкі заповнювачів, такі як керамзит, агроперліт, або органічні легкі заповнювачі, як кульки з пінополістиролу (ППС) [2].

ППС, також відомий як спінений полістирол, є типом стабільної полімерної піни з полістиролу з наднизькою щільністю, що складається з дискретних повітряних пустот у полімерній матриці, як показано на рис. 2.



Рисунок 2 – Спінений полістирол.

Останнім часом у багатьох технічних публікаціях йдеться про введення гранул ППС у матеріали на основі цементу. У цих технічних публікаціях наголошувалося на використанні гранул ППС як часткової або повної заміни крупних і дрібних заповнювачів.

На даний момент полістирольні кульки є відходами. Багато промислових продуктів упаковують у полістирол, який поглинає удари та має низьку теплопровідність. Ці відходи можна збирати та використовувати для виробництва бетонних панелей на основі полістиролу - це ефективний спосіб утилізації ППС, що не піддається біологічному розкладу, уникаючи відкритого звалища [3].

Легкий бетон з пінополістиролом (ППС) використовується вже кілька десятиліть. ППС призначений для зменшення конструкційної ваги матеріалу для збірних і збірних конструкцій з покращеною тепло-/звукоізоляцією. В першу чергу валик ППС був частково замінений як крупним, так і дрібним заповнювачем. Продуктивність, працездатність, механічні властивості та довгострокова продуктивність були проаналізовані та проінформовані. Крім того, обговорювалися такі функціональні можливості, як вологоізоляція, теплоізоляція та звукоізоляція матеріалу.

Хоча гранули ППС мають сферичну форму та закриту комірчасту структуру з приблизно 98% повітря і мають гідрофобну природу, їх можна легко додавати з цементною пастою в розчин або

бетонні суміші для отримання конструкційного легкого цементу. Щільність кульок ППС коливається від 12 до 35 кг/м³. Коли кульки ППС змішували в умовах високої лужності (pH > 8,5), таких як розчин цементу, хімічні та токсичні речовини могли легко вивільнитися. На відміну від інших легких заповнювачів, кульки ППС не мають недоліку водопоглинання через морфологію закритих пор. Висока водопоглинаюча здатність або ускладнює виробництво цементних сумішей, або знижує міцність на стиск через занадто великий вміст води. Однак високий вміст води може відігравати роль внутрішнього джерела затвердіння, що дозволяє покращити продуктивність кінцевого продукту [4].

Завдяки поєднанню теплоізоляційного матеріалу, яким є полістирольні гранули та бетону в одному продукті вдається отримати оптимальну комбінацію характеристик для будівельного матеріалу – стійкість до гниття, гідрофобність, найвищі показники несучих характеристик, теплоізоляції, вогнезахисту, звукопоглинання, морозостійкості і періодів замерзання / розморожування (термін експлуатації). Нещодавні дослідження були зосереджені на матеріалах на основі цементу з переробленими гранулами ППС, де було піднято питання використання даного матеріалу у цілях покращення екологічної ситуації та вирішення проблеми якості повітря.

Ще одним важливим елементом для покращення теплотехнічних характеристик легкого бетону є використання технічного вуглецю. Технічний вуглець (Carbon black) – це широковідомий компонент, що використовується як підсилювальний наповнювач у виготовленні протекторних шин для автомобілів та виробів із гуми, як чорний пігмент у поліграфічній галузі та електропровідна складова у електрохімічній промисловості.

На початку розвитку виробництва цього продукту, його називали «сажею», що на сьогодні не має нічого спільного з технічним вуглецем (ТВ), оскільки сучасне виробництво технічного вуглецю – автоматизоване. Сучасні засоби автоматизації забезпечують контроль та керування більшістю технологічних змінних, результатом чого є продукт з визначеними характеристиками якості. Сажа ж є продуктом, що утворюється при відхиленні режимних параметрів від заданих технологічних норм.

Міжнародна спільнота вчених довгий час працювала над розробкою оперативного методу визначення розмірів частинок ТВ. Однією з відправних точок у пошуку вирішення цієї проблеми, стало винайдення у 1980-х роках діагностики розмірів частинок сажі методом лазерного розжарювання (Laser-Induced Incandescence – LI). Доцільність вимірювання дисперсності можна пояснити тим, що вона є основною морфологічною властивістю технічного вуглецю, яка формується саме в реакторі. Дисперсність визначають враховуючи міжнародний стандарт якості ASTM International (American Society for Testing and Materials), який співпрацює разом із міжнародною організацією зі стандартизації ISO (International Organization for Standardization).

Однією з перспективних на нових технологій застосування ТВ є його використання у якості наповнювача у полімерних композитних матеріалах (ПКМ). Полімерні матриці, наприклад, часто використовуються в легких та гнучких композитах, які мають високу стійкість до корозії і зносу. Одна з ключових функцій матриці – це розподіл навантаження на всю поверхню наповнювачів, таким чином, що напруга рівномірно розподіляється вздовж всього композиту.

Найменші частинки технічного вуглецю мають складну структуру, що складається з псевдографітового кристалічного вуглецю і аморфного вуглецю. Частинки ТВ складаються в ланцюжок і складають складні розгалужені графітові структури. Величина частинок ТВ коливається в середньому в діаметрі від 9 до 320 нм. На поверхні частинок ТВ утворюються різноманітні функціональні групи: гідроксильні, карбонатні і тд.. При отриманні модифікованої форми технічного вуглецю відбувається його часткове окислення повітрям в тонкому шарі і при цьому кислотовмісні групи міцно адсорбуються на поверхні частин ТВ.

У роботі Р.В. Дінжос, Н.М. Фіалко, Е.А. Лисенкова [5] як полімерну матрицю для дослідження використовували промисловий поліетилен (ПЕ) (виробник: SABIC®HDPE. Company Eurotrubplast Holding Company Ltd Trusthose) та композити, які містили до 2,5 мас. % технічного вуглецю (ТВ). Частинки технічного вуглецю мають розмір 100-120 нм. Питома поверхня 10-25 м²/г. Для опису процесів теплопереносу в ПКМ необхідно знати залежність ефективної теплопровідності наповненого полімеру від геометрії, орієнтації, фізикохімічних особливостей взаємодії, теплофізичних параметрів, концентрації та розподілення вхідних в композицію компонентів. Для опису процесів теплопереносу в ПКМ необхідно знати залежність ефективної теплопровідності наповненого полімеру від геометрії, орієнтації, фізико-хімічних особливостей взаємодії, теплофізичних параметрів, концентрації та розподілення вхідних в композицію компонентів.

Авторами статті було проведено дослідження залежності коефіцієнту теплопровідності від процентного вмісту технічного вуглецю (рис 3).

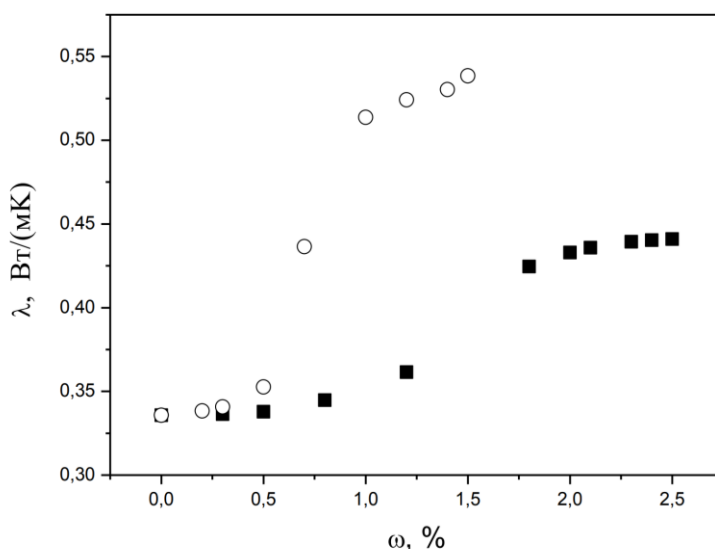


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнту теплопровідності від процентного вмісту ТВ (квадрати) [6]

З літературних даних [6] відомо, поверхня частинок володіє шорсткістю, за рахунок наповзань одного шару на інший, що в подальшому при використанні ТВ як наповнювача забезпечить щільність та міцність новоутвореного матеріалу. Грубо кажучи, ТВ можна рахувати бетонов'яжучою речовиною, тобто непереривною матрицею, яка заповнює міжзернистий простір суміші крупного і мілкого заповнювача, а також склеює і робить монолітом зерна каркасу. За рахунок високої дисперсності і великої питомої поверхності вуглецю для досягнення даних умов необхідна незначна кількість твердої добавки у порівнянні зі звичайними добавками. Технічний вуглець має низьку насипну щільність в щільному стані (508 кг/м^3), високою пористістю (74,3 об. %). Істинна щільність ТВ дорівнює 1978 кг/м^3 , питома адсорбція поверхні – $200 \text{ м}^2/\text{г}$, питома зовнішня поверхня – $175 \text{ м}^2/\text{г}$ [7].

За рахунок такої комбінації (бетон + пінополістирол + технічний вуглець) можна отримати міцний, зносостійкий та теплий, але відносно важкий за вагою, будівельний матеріал. Для того, щоб запобігти збільшенню ваги, пропонується застосувати піноутворюючі добавки. Такі добавки допомагають досягти пористої структури та покращують стабілізацію процесу твердіння бетону. В результаті застосування даної методики на виході отримуємо легкий, міцний та теплий матеріал.

На основі аналізу потреб ринку будівельних матеріалів запропоновано конструкцію термоблока [рис. 4, зразок 4], який містить в собі цементний каркас, ППС у ролі заповнювача для забезпечення теплоізоляції, технічний вуглець у якості наповнювача для забезпечення міцності та піноутворюючі добавки для зменшення ваги отриманого блоку.

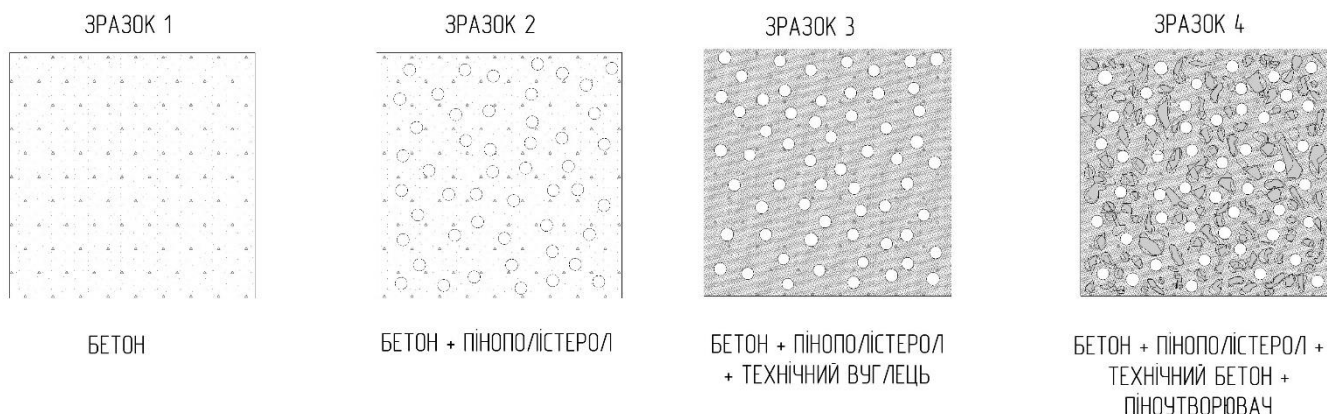


Рисунок 4 – Варіанти будівельних блоків в залежності від наповнення

В результаті отримуємо блок, який має переваги над традиційними матеріалами. Легка вага, низька проникність для хлоридів, невбираюча й гідрофобна природа мають відносно значення серед таких характеристик [8]. До основних переваг пінополістиролбетону з використанням ТВ як наповнювача відносять:

- високі теплоізоляційні та звукоізоляційні властивості;
- відносно низьку вагу, в порівнянні з бетоном, що спрощує транспортування, обробку та укладання матеріалу;
- екологічну чистоту;
- економічну вигідність та швидкий ріст популярності.

Використання запропонованого блоку скоротить тривалість проведення будівельних процесів на майданчику, що в свою чергу зменшить вартість даних робіт.

Висновок

Робоча гіпотеза наших досліджень ґрунтується на синергетичному ефекті використання таких особливостей матеріалів: міцності та в'язучих властивостей цементу, низької ваги та теплотехнічних показників ППС, широкий діапазон частинок ТВ за розмірами та їх шорстка поверхня (дозволяє формувати щільну і міцну структуру виробу) та здатність піноутворювача насичувати виріб повітрям (зменшує вагу виробу та збільшує термічний опір).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Швець В. В., Слівінський В. В., Козак В. Ю. Технічні особливості використання теплоізоляційних будівельних матеріалів XLIX Науково-технічна конференція, Вінниця, 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2020/paper/view/9946>.
2. Лам Т.В., Ву Д., Зиен В., Булгаков Б.И., Король Е.А. Свойства и теплоизоляционные эффективности легких бетонов // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 8(84). С. 173–191.
3. DPP Meddage та MTR Jayasinghe, «Використання легких бетонних панелей на основі ППС як ізоляційного матеріалу даху для системи плит NERD», в ICSBE 2020, Сінгапур, 2022, стор. 375–384. doi: 10.1007/978–981-16–4412-2_28.
4. K.Ganesh Babu, D.Saradhi Babu, Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume, Cement and Concrete Research, Volume 33, Issue 5, 2003, Pages 755-762, ISSN 0008-8846, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01055-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01055-4).
5. Дінжос Р. В. Аналіз теплопровідності полімерних наноккомпозитів наповнених вуглецевими нанотрубками та технічним вуглецем / Р. В. Дінжос, Н. М. Фіалко, Е. А. Лисенков // Журнал nano- та електронної фізики. - 2014. - Т. 6, № 1. - С. 01015(6). - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/jnef_2014_6_1_17.
6. Z. Han, A. Fina, Prog. Polym. Sci. 36, 914 (2011).
7. А.В. Малезжик, Журнал прикладной химии. 78, 938 (2005).
8. Lapyote Prasittisopin, Pipat Termkhajornkit, Young Hoon Kim, Review of concrete with expanded polystyrene (EPS): Performance and environmental aspects, Journal of Cleaner Production, Volume 366, 2022, 132919, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132919>.

REFERENCES

1. Shvez V.V., Slivins`ky`j V.V., Kozak V.Yu. Tehnichni osoblyvosti vykorystannya teploizolyacijnyh budivel`nyh materialiv XLIX Naukovo-technichna konferenciya, Vinnycya, 2020. [Elektronnyj resurs]. Rezhym dostupu do resursu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2020/paper/view/9946>.
2. Lam, T.V., Vu, D.T., Dien, V.K., Bulgakov, B.I., Korol, E.A. Properties and thermal insulation performance of lightweight concrete. Magazine of Civil Engineering. 2018. 84(8). Pp. 173–191. doi: 10.18720/MCE.84.17.
3. DPP Meddage та MTR Jayasinghe, «Використання легких бетонних панелей на основі ППС як ізоляційного матеріалу даху для системи плит NERD», в ICSBE 2020, Сінгапур, 2022, стор. 375–384. doi: 10.1007/978–981-16–4412-2_28.
4. K.Ganesh Babu, D.Saradhi Babu, Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume, Cement and Concrete Research, Volume 33, Issue 5, 2003, Pages 755-762, ISSN 0008-8846, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01055-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01055-4).
5. Dinzhos, R.V. Thermal conductivity analysis of polymer nanocomposites filled with carbon nanotubes and technical carbon / R.V. Dinzhos, N.M. Fialko, E.A. Lysenkov // Journal of nano- and electronic physics. - 2014. - Vol. 6, No. 1. - P. 01015(6). - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/jnef_2014_6_1_17.
6. Z. Han, A. Fina, Prog. Polym. Sci. 36, 914 (2011).
7. A.V. Malezhik, Journal of Applied Chemistry. 78, 938 (2005).
8. (2005).
9. Lapyote Praittisopin, Pipat Termkhajornkit, Young Hoon Kim, Review of concrete with expanded polystyrene (EPS): Performance and environmental aspects, Journal of Cleaner Production, Volume 366, 2022, 132919, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132919>.

Віталій Вікторович Швець – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. E-mail: vitalshv@i.ua. ORCID: 0000-0002-2748-3685.

Постолатій Маріанна Олександрівна – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету. E-mail: postolatiu@gmail.com.

V. Shvets
M. Postolatii

DEVELOPMENT OF A HIGH-PERFORMANCE BUILDING BLOCK USING POLYSTYRENE FOAM, ENGINEERED CARBON AND FOAMING FORM

Vinnitsa National Technical University

A working hypothesis for the development of a new construction material based on cement (C) using expanded polystyrene (PPS), technical carbon (TC) and foaming agent (PU) is proposed.

The issue of improving the economic and energy indicators of construction due to the use of a new building material created on the basis of the synergistic effect of the use of positive characteristics of cement, expanded polystyrene, technical carbon and foaming agent is discussed, and the effectiveness of the use of each of these materials is considered.

The main characteristics of lightweight PPS aggregate as an energy- and resource-saving new material are highlighted, the main advantages of using technical carbon as a material for increasing the strength and density of the frame are highlighted. The use of foaming additives to reduce the weight of the building block is considered.

Key words: expanded polystyrene concrete blocks, PPS, brickwork, thermal conductivity, energy efficiency, economic feasibility, heat engineering potential, multi-criteria evaluation.

Vitaliy Shvets – Ph.D., associate professor of urban planning and architecture, Vinnitsia National Technical University. E-mail: vitalshv@i.ua. ORCID: 0000-0002-2748-3685.

Marianna Postolatii – post graduate student of the department of construction, urban and architecture of Vinnitsia national technical university. E-mail: postolatiu@gmail.com.

О. В. Березюк
М. С. Лемешев
В. Л. Широбоков

ДИНАМІКА ОБСЯГІВ ПРОДУКУВАННЯ ВІДХОДІВ БУДІВНИЦТВА І ЗНЕСЕННЯ У МІСТІ КИЄВІ

Вінницький національний технічний університет

Відходи будівництва і знесення можуть бути широко застосовані у будівництві для одержання таких цінних матеріалів: як наповнювач та в'язуче для виробництва бетонів, сухих будівельних сумішей та інших будівельних матеріалів, для виробництва будівельних матеріалів із захисними властивостями від електромагнітних випромінювань та статичної електрики, для виготовлення анодних заземлювачів тощо. Тому визначення регресійної залежності, що описує динаміку обсягів продукування відходів будівництва і знесення у місті Києві для вирішення проблеми поводження з твердими промисловими відходами є актуальною науково-технічною задачею. Метою дослідження є визначення за допомогою регресійного аналізу залежності, що описує динаміку обсягів продукування відходів будівництва і знесення у місті Києві для вирішення проблеми поводження з твердими промисловими відходами. Під час дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором кращого виду функції із 16 найпоширеніших варіантів за критерієм максимального коефіцієнту кореляції. Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Визначення коефіцієнтів рівняння регресії здійснювалось методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір. Отримано адекватну регресійну залежність, що описує динаміку утворення відходів будівництва і знесення у Вінницькій області. Побудовано графічну залежність, що описує динаміку обсягів продукування відходів будівництва і знесення у місті Києві та дозволяє наглядно проілюструвати дану динаміку, показати достатню збіжність теоретичних та фактичних результатів. Встановлено, що у місті Києві протягом 2015-2019 рр. продукування маси відходів будівництва і знесення зростало за степеневу залежністю.

Ключові слова: динаміка, продукування відходів, відходи будівництва і знесення, тверді промислові відходи, регресійний аналіз.

Вступ

Разом із проблемою твердих побутових відходів [1-6] важливою є проблема твердих промислових відходів, обсяг яких в Україні за даними Міністерства охорони навколишнього середовища складає 175 млн. м³ в рік. До твердих промислових відходів відносять непридатні для виробництва певної продукції види сировини, її залишки, які не вживаються, або речовини, що виникають в результаті технологічних процесів, які не підлягають утилізації у даному виробництві. Цю групу складає 90% об'єму твердих промислових відходів, тому вони є одним із основних джерел антропогенного забруднення навколишнього природного середовища в глобальному масштабі. Тверді промислові відходи виникають як невідворотний результат споживчого відношення і неприйнятно низького коефіцієнта використання ресурсів. Наприклад, у колишньому СРСР кольорова металургія видобувала близько 2 млрд. т. гірських порід на рік, а товарна продукція із них складала тільки близько 1%. В нашій країні у відходи потрапляють майже 80-85% або 20-30 млрд. т. переробленої сировини із щорічним її приростом в межах до 2 млрд. т. у гірничодобувній, металургійній, хімічній та паливно-енергетичній галузях. З цього обсягу понад 200 млн. т. складають токсичні та інші небезпечні відходи. Приріст площ, зайнятих відходами, складає 50 тис. га [7] в рік. Разом із тим тверді промислові відходи можуть бути широко застосовані у будівництві для одержання таких цінних матеріалів: як наповнювач [8] та в'язуче [9-11] для виробництва бетонів, сухих будівельних сумішей та інших будівельних матеріалів [12, 13], для виробництва будівельних матеріалів із захисними властивостями від електромагнітних випромінювань [14, 15] та статичної електрики [16], для виготовлення анодних заземлювачів [17]. Можливість такого використання можна пояснити тим, що багато мінеральних та органічних відходів за своїм хімічним складом та технічними властивостями близькі до природної сировини. Також є перспективними використання дрібнодисперсних відходів металообробки для мінімізації об'ємів іммобілізованих рідких радіоактивних відходів [18]. У світовій практиці взагалі близько 90% відходів будівництва і знесення підлягають переробці та повторному використанню. Саме тому повторне використання та переробка відходів будівництва та знесення для України займає чільне місце поміж пріоритетних задач Національної стратегії поводження з відходами [19]. Тому визначення регресійної залежності, що описує динаміку обсягів продукування відходів будівництва і знесення у м. Києві для вирішення проблеми поводження з твердими промисловими відходами є актуальною науково-технічною задачею.

Метою дослідження є визначення за допомогою регресійного аналізу залежності, що описує динаміку обсягів продукування відходів будівництва і знесення у м. Києві для вирішення проблеми поводження з твердими промисловими відходами.

Актуальність та аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботі [8] запропонований шламозолокарбонатний прес-бетон, який складається з відходів каменерізання карбонатних порід, золи-виносу Ладижинської ТЕС, червоного шламу Миколаївського глиноземного заводу з добавкою портландцементу.

В матеріалах роботи [9] показано, що отримання фосфогіпсозолоцементних та металофосфатних в'язучих на основі відходів хімічної промисловості та металообробних виробництв дозволяють вирішити актуальну для України проблему енерго- та ресурсозбереження за допомогою створення нових будівельних матеріалів поліфункціонального призначення.

У результаті проведених досліджень, наведених в статті [10], отримано металозолофосфатне в'язуче на основі відходів промисловості.

Авторами статті [11] виявлено, що основним шляхом утилізації червоного шламу при виробництві будівельних матеріалів є його використання як модифікуючої добавки до золоцементного в'язучого.

Техніко-економічна доцільність більш широкого використання відходів ТЕС при виробництві цементу та інших будівельних матеріалів показана в роботі [12].

У статті [13] зазначено, що отримання бетонного щебеню, дрібнозернистих відсівів та їхнє повторне використання є заключною стадією замкненого циклу переробки бетонних і залізобетонних відходів – «зношення – вивезення – переробка – реалізація».

В матеріалах роботи [14] виявлено, що застосування бетел-м (бетон електропровідний металонасичений, який використовується спеціального покриття біологічного захисту від іонізуючих випромінювань всередині приміщень будівель і споруд) комірчастої, варіотропної та щільної структури дає можливість знизити рівень електромагнітних випромінювань і тим самим знизити небезпеку випромінювань. Авторами статті [15] обґрунтована доцільність застосування дрібнодисперсних порошоків шламів сталі ШХ-15 під час виготовлення спеціального захисного покриття від електромагнітних випромінювань.

В роботі [16] запропоновано використовувати для боротьби з зарядами статичної електрики покриття із електропровідного бетону, технологія виготовлення якого досить проста і не потребує дорогих матеріалів і спеціального устаткування.

Автори статті [17] стверджують, що бетел-м може використовуватись для виготовлення електропровідних елементів (анодних заземлювачів) систем антикорозійного катодного захисту підземних інженерних мереж. В матеріалах статті [18] обґрунтована доцільність проведення робіт з розробки нового виду матричних матеріалів на основі бетелу-м для іммобілізації рідких токсичних відходів.

В роботі [20] зокрема наведено статистичні дані щодо обсягів продукування відходів будівництва і знесення у м. Києві в різні роки. Однак конкретних математичних залежностей, що описують динаміку обсягів продукування відходів будівництва і знесення у м. Києві, в результаті аналізу відомих публікацій, авторами не виявлено.

Аналіз результатів дослідження

В табл. 1 наведено статистичні дані щодо обсягів продукування відходів будівництва і знесення у м. Києві в різні роки [20]. Зростання обсягів продукування відходів будівництва і знесення у м. Києві в 2015-2019 роках пояснюється збільшенням обсягів будівельного виробництва у цьому місті.

На основі даних табл. 1 планувалось отримати математичну модель у вигляді парної регресійної залежності обсягів продукування маси відходів будівництва і знесення у м. Києві. Оскільки аргументом регресійної залежності є рік, порядок значень якого на три порядки перевищує порядок ширини діапазону його зміни, то з метою підвищення точності регресійної залежності пропонується за початок координат прийняти рік, який передує початку досліджуваного діапазону ($x = t - 2014$).

Таблиця 1

Статистичні дані щодо обсягів продукування відходів будівництва і знесення у м. Києві в різні роки [20]

Рік	2015	2016	2017	2018	2019
Утворено, тонн	35255,54	38150,75	112347,4	98152	246704,3

Регресія проводилась на основі лінеаризувальних перетворень, які дозволяють звести нелінійну залежність до лінійної. Під час дослідження використано метод регресійного аналізу результатів однофакторних експериментів та інших парних залежностей із вибором кращого виду функції із 16 найпоширеніших варіантів за критерієм максимального значення коефіцієнта кореляції зі збереженням результатів в форматі MS Excel та Vitmar. Визначення коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювалась методом найменших квадратів за допомогою розробленої комп'ютерної програми "RegAnaliz", яка захищена свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір [21] і детально описана в роботі [22].

Результати регресійного аналізу наведені в табл. 2, де сірим кольором позначено комірку з максимальним значенням коефіцієнта кореляції R.

Отже, за результатами регресійного аналізу на основі даних табл. 1, як найбільш адекватну, остаточно прийнято таку регресійну модель

$$m_{\text{ВБЗ}} = 44652 + 313,9(t - 2014)^4 \text{ [т]}, \quad (1)$$

де $m_{\text{ВБЗ}}$ – річна маса відходів будівництва і знесення у м. Києві, т;
 t – рік.

Таблиця 2

Результати регресійного аналізу динаміки обсягів продукування відходів будівництва і знесення у м. Києві

№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R	№	Вид регресії	Коефіцієнт кореляції R
1	$y = a + bx$	0,88897	9	$y = ax^b$	0,89542
2	$y = 1 / (a + bx)$	0,93016	10	$y = a + b \cdot \lg x$	0,80123
3	$y = a + b / x$	0,68782	11	$y = a + b \cdot \ln x$	0,80123
4	$y = x / (a + bx)$	0,34346	12	$y = a / (b + x)$	0,93016
5	$y = ab^x$	0,94075	13	$y = ax / (b + x)$	0,86291
6	$y = ae^{bx}$	0,94075	14	$y = ae^{b/x}$	0,80642
7	$y = a \cdot 10^{bx}$	0,94075	15	$y = a \cdot 10^{b/x}$	0,80642
8	$y = 1 / (a + be^{-x})$	0,85906	16	$y = a + bx^n$	0,95191

На рис. 1 показано графічну залежність, що описує динаміку продукування маси відходів будівництва і знесення у м. Києві, побудовану за допомогою рівняння регресії (1), що підтверджує визначену раніше достатню збіжність отриманих теоретичної залежності порівняно із даними, наведеними в роботі [20].

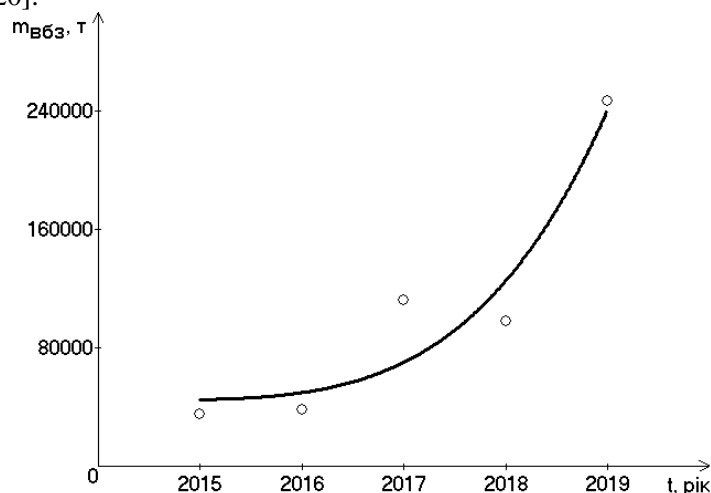


Рисунок 1 – Залежність, що описує фактичну (○) та теоретичну (—) динаміку продукування маси відходів будівництва і знесення у м. Києві

Аналіз графічної залежності на рис. 1 показав, що у м. Києві протягом 2015-2019 рр. продукування маси відходів будівництва і знесення зросло за степеневу залежністю.

Висновки

1. Визначено регресійну залежність, що описує продукування маси відходів будівництва і знесення у м. Києві та дозволяє прогнозувати масу утворення цих відходів, що необхідно для вирішення

проблеми поводження з твердими промисловими відходами.

2. Побудовано графічну залежність, що описує динаміку продукування маси відходів будівництва і знесення у м. Києві та дозволяє наглядно проілюструвати дану динаміку, показати достатню збіжність теоретичних та фактичних результатів.

3. Встановлено, що у м. Києві протягом 2015-2019 рр. продукування маси відходів будівництва і знесення зростало за степеневу залежністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Berezyuk, O. V., and Savulyak, V. I. "Dynamics of hydraulic drive of hanging sweeping equipment of dust-cart with extended functional possibilities." *TEHNOMUS – New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies* 22 (2015): 345-351.
2. Попович, В. В., Придатко, О. В., Сичевський, М. І., Попович, Н. П., та Панасюк, М. А. "Ефективність експлуатації сміттєвозів у середовищі "місто-сміттєзвалище".
Науковий вісник НЛТУ України 27 (10) (2017): 111-116.
3. Сагдеева, О. А., Крусір, Г. В., та Цикало, А. Л. "Дослідження впливу температурного режиму на перебіг процесів компостування органічного компоненту твердих муніципальних відходів." *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. СЗ Жицького. Серія: Харчові технології* 20 (85) (2018) 155-161.
4. Hamer, G. "Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety." *Biotechnology advances* 22 (1-2) (2003): 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2003.08.007>
5. Березюк, О. В. "Експериментальне дослідження процесів зневоднення твердих побутових відходів шнековим пресом." *Вісник Вінницького політехнічного інституту* 5 (2018): 18-24.
6. Berezyuk, O., and Savulyak V. "Approximated mathematical model of hydraulic drive of container upturning during loading of solid domestic wastes into a dustcart." *Technical Sciences* 20 (2017): 259-273.
7. Коц, І. В., та Березюк, О. В. "Вібраційний гідропривод для пресування промислових відходів." *Вісник Вінницького політехнічного інституту* 5 (2006): 146-149.
8. Ковальський, В. П., та Бондарь, А. В. "Шламозолокарбонатий прес-бетон на основі відходів промисловості." XXIV міжнар. наук.-практ. конф. "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я". Харків, 209. (2015).
9. Лемешев, М. С. "В'яжучі з використанням промислових відходів Вінниччини." XXIV міжнар. наук.-практ. конф. "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я". Харків, 381. (2016).
10. Лемешев, М. С. "В'яжуче на основі промислових відходів." *Международ. науч.-практ. Интернет-конф. "Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2017". URL: http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18481/statya_doclad_oct%20.doc*
11. Ковальський, В. П., Очеретний, В. П., Лемешев, М. С., та Бондар, А. В. "Обґрунтування доцільності використання золошламового в'яжучого для приготування сухих будівельних сумішей." *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* 26 (2013): 186-193.
12. Ковальський, В. П., та Сідлак, О. С. "Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах." *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві* 16 (2014): 35-40.
13. Попович, О. Р., Захарко, Я. М., та Мальований, М. С. "Проблеми утилізації та переробки будівельних відходів." *Вісник Національного університету Львівська політехніка. Теорія і практика будівництва* 755 (2013): 321-324.
14. Лемешев, М. С., та Христич, А. В. "Электротехнические материалы для защиты от электромагнитного загрязнения окружающей среды." 4-й междунар. науч.-практ. конф. "Инновационное развитие территорий". Череповец, 78-83. (2016).
15. Лемешев, М. С. "Металлонасыщенные бетоны для защиты от электромагнитного излучения." *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури* 33 (2013): 253-256.
16. Лемешев, М. С. "Електропровідні бетоны для захисту від статичної електрики." *Наук. симпоз. "Перспективні досягнення сучасних вчених". Одеса. 2017. URL: <http://www.sworld.education/index.php/ru/c217-14/29403-%D1%81217-032>*
17. Лемешев, М. С., та Березюк, О. В. "Електротехнічний бетон для виготовлення анодних заземлювачів." *Міжнар. наук.-практ. Интернет-конф. "Інтелектуальний потенціал XXI століття '2017". Одеса. 2017. URL: <http://www.sworld.education/index.php/ru/arts-architecture-and-construction-u7-317/modern-construction-technologies-u7-317/29688>*
18. Сердюк, В. Р., та Христич, О. В. "Використання Бетелу-М для іммобілізації рідких радіоактивних відходів." *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві* 5 (2008): 50-54.
19. ТОВ «SEC ECOLOGY». "Національна стратегія поводження з відходами для України." Київ, (грудень 2016). URL: <https://eco.kiev.ua/assets/files/Osnovna-chastina.pdf>
20. ТОВ «Український науково-дослідний інститут з розробки та впровадження комунальних програм та проектів». "План управління відходами в місті Києві до 2030 року." (2020). URL: <https://dzki.kyivcity.gov.ua/files/2021/11/5/plyr.pdf>
21. Березюк, О. В. "Комп'ютерна програма "Регресійний аналіз" ("RegAnaliz")." *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49486. К.: Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації: 03.06.2013.*
22. Березюк, О. В. "Определение регрессии коэффициента уплотнения твердых бытовых отходов от высоты полигона на основе компьютерной программы "RegAnaliz".
"Автоматизированные технологии и производства 2 (2015): 43-45.

REFERENCES

1. Berezyuk, O. V., and Savulyak, V. I. "Dynamics of hydraulic drive of hanging sweeping equipment of dust-cart with extended functional possibilities." *TEHNOMUS – New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies* 22 (2015): 345-351.
2. Popovych, V. V., Prydatko, O. V., Sychevskiy, M. I., Popovych, N. P., та Panasiuk, M. A. "Efektyvnist ekspluatatsii smittievoziv u seredovyschchi "misto-smittiezvalyshche".
Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy 27 (10) (2017): 111-116.

3. Sahdieieva, O. A., Krusir, H. V., ta Tsykalo, A. L. "Doslidzhennia vplyvu temperaturnoho rezhymu na perebih protsesiv kompostuvannia orhanichnogo komponentu tverdykh munitsypalnykh vidkhodiv." *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnogo universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnologii im. SZ Gzhytskoho. Seriya: Kharchovi tekhnologii* 20 (85) (2018) 155-161.
4. Hamer, G. "Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety." *Biotechnology advances* 22 (1-2) (2003): 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2003.08.007>
5. Bereziuk, O. V. "Eksperymentalne doslidzhennia protsesiv znevodnennia tverdykh pobutovykh vidkhodiv shnekovym presom." *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnogo instytutu* 5 (2018): 18-24.
6. Bereziuk, O., and Savulyak V. "Approximated mathematical model of hydraulic drive of container upturning during loading of solid domestic wastes into a dustcart." *Technical Sciences* 20 (2017): 259-273.
7. Kots, I. V., ta Bereziuk, O. V. "Vibratsiinyi hidropriyvod dlia presuvannia promyslovykh vidkhodiv." *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnogo instytutu* 5 (2006): 146-149.
8. Kovalskiy, V. P., ta Bondar, A. V. "Shlamozolokarbonatyi pres-beton na osnovi vidkhodiv promyslovosti." *XKhIV mizhnar. nauk.-prakt. konf. "Informatsiini tekhnologii : nauka, tekhnika, tekhnologiiia, osvita, zdorovia"*. Kharkiv, 209. (2015).
9. Lemeshev, M. S. "Viazhuchi z vykorystanniam promyslovykh vidkhodiv Vinnychchyny." *KhXIV mizhnar. nauk.-prakt. konf. "Informatsiini tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiiia, osvita, zdorovia"*. Kharkiv, 381. (2016).
10. Lemeshev, M. S. "Viazhuche na osnovi promyslovykh vidkhodiv." *Mezhdunar. nauch.-prakt. Ynternet-konf. "Nauchnye yssledovaniya y ykh praktycheskoe pryomenenye. Sovremennoe sostoianye y puty razvytiya '2017"*. URL: http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18481/statya_doclod_oct%20.doc
11. Kovalskiy, V. P., Ocheretnyi, V. P., Lemeshev, M. S., ta Bondar, A. V. "Obgruntuvannia dotsilnosti vykorystannia zoloshlamovoho viazhuchoho dlia pryhotuvannia sukhykh budivelnnykh sumishei." *Resursoekonomni materialy, konstruksii, budiv-li ta sporudy* 26 (2013): 186-193.
12. Kovalskiy, V. P., ta Sidlak, O. S. "Vykorystannia zoly vynosu TES u budivelnnykh materialakh." *Suchasni tekhnolo-hii, materialy i konstruksii u budivnytstvi* 16 (2014): 35-40.
13. Popovych, O. R., Zakharko, Ya. M., ta Malovanyi, M. S. "Problemy utylizatsii ta pererobky budivelnnykh vidkhodiv." *Visnyk Natsionalnogo universytetu Lvivska politekhnika. Teoriia i praktyka budivnytstva* 755 (2013): 321-324.
14. Lemeshev, M. S., ta Khrystych, A. V. "Elektrotekhnicheskyye materyaly dlia zashchyty ot elektromahnytnoho zahriazneniia okruzhaushchei sredey." *4-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Ynnovatsyonnoe razvytye terrytoryi"*. Cherepovets, 78-83. (2016).
15. Lemeshev, M. S. "Metallonasyshchennyye betony dlia zashchyty ot elektromahnytnoho yzlucheniya." *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* 33 (2013): 253-256.
16. Lemeshev, M. S. "Elektroprovodni betony dlia zakhystu vid statychnoi elektryky." *Nauk. sympoz. "Perspektyvni dosia-hnennia suchasnykh vchenykh"*. Odesa. 2017. URL: <http://www.sworld.education/index.php/ru/c217-14/29403-%D1%81217-032>
17. Lemeshev, M. S., ta Bereziuk, O. V. "Elektrotekhnichnyi beton dlia vyhotovlenniia anodnykh zazemliuvachiv." *Mizhnar. na-uk.-prakt. Internet-konf. "Intelektualnyi potentsial XXI stolittia 2017"*. Odesa. 2017. URL: <http://www.sworld.education/index.php/ru/arts-architecture-and-construction-u7-317/modern-construction-technologies-u7-317/29688>
18. Serdiuk, V. R., ta Khrystych, O. V. "Vykorystannia Betelu-M dlia immobilizatsii ridkykh radioaktyvnykh vidkhodiv." *Suchasni tekhnologii, materialy i konstruksii v budivnytstvi* 5 (2008): 50-54.
19. TOV «SEC ECOLOGY». "Natsionalna stratehiia povodzhennia z vidkhodamy dlia Ukrainy." Kyiv, (hruden 2016). URL: <https://eco.kiev.ua/assets/files/Osnovna-chastina.pdf>
20. TOV «Ukrainskyi naukovo-doslidnyi instytut z rozrobky ta vprovadzhennia komunalnykh proqram ta proektiv». "Plan upravlinnia vidkhodamy v misti Kyievi do 2030 roku." (2020). URL: <https://dzki.kyivcity.gov.ua/files/2021/11/5/plyp.pdf>
21. Bereziuk, O. V. "Kompiuterna prohrama "Rehresiinyi analiz" ("RegAnaliz")." *Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir № 49486. K.: Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti Ukrainy. Data reiestratsii: 03.06.2013.*
22. Bereziuk, O. V. "Opredelenye rehressyy koeffytsyenta uplotneniya tverdykh bytovykh otkhodov ot vysoty polyhona na osnove kompiuternoii prohrammy "RegAnaliz"." *Avtomatyzirovannyye tekhnologii y proyvodstva* 2 (2015): 43-45.

Березюк Олег Володимирович – докт. техн. наук, доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, тел.: 59-82-52, e-mail: bereziukoleg@i.ua, ORCID: 0000-0002-2747-2978

Лемешев Михайло Степанович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, e-mail: mlemeshev@i.ua, ORCID: 0000-0002-6083-0378

Шyroboков Віталій Леонідович – інженер - конструктор ТОВ «МБ-БУД», ORCID: 0009-0008-4429-0093.

**O. Bereziuk
M. Lemeshev
V. Shyrobokov**

DYNAMICS OF THE PRODUCTION VOLUME OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE IN THE CITY OF KIEV

Vinnytsia National Technical University

Construction and demolition waste can be widely used in construction to obtain such valuable materials: as a filler and binder for the production of concrete, dry building mixes and other building materials, for the production of building materials with

protective properties against electromagnetic radiation and static of electricity, for the manufacture of anode earthing devices, etc. Therefore, the determination of the regression dependence describing the dynamics of production volumes of construction and demolition waste in the city of Kyiv to solve the problem of solid industrial waste management is an urgent scientific and technical task. The purpose of the study is to determine with the help of regression analysis of dependence, which describes the dynamics of production volumes of construction and demolition waste in the city of Kyiv to solve the problem of solid industrial waste management. During the study, the method of regression analysis of the results of one-factor experiments and other paired dependencies was used, with the selection of the best type of function from the 16 most common options according to the criterion of the maximum correlation coefficient. The regression was carried out on the basis of linear transformations, which allow to reduce the non-linear dependence to a linear one. The coefficients of the regression equation were determined by the method of least squares using the developed computer program "RegAnalyz", which is protected by a certificate of copyright registration of the work. An adequate regression dependence describing the dynamics of construction and demolition waste generation in the Vinnytsia region was obtained. A graphical dependence was constructed that describes the dynamics of production volumes of construction and demolition waste in the city of Kyiv and allows to visually illustrate this dynamic, to show a sufficient convergence of theoretical and actual results. It was established that in the city of Kyiv during 2015-2019, the mass production of construction and demolition waste grew exponentially.

Keywords: *dynamics, waste production, construction and demolition waste, industrial solid waste, regression analysis.*

Bereziuk Oleg V. – Doct. Sc. (Eng.), Associated Professor, Professor of the Department Security of Life and Pedagogic of Security, e-mail: berezyukoleg@i.ua, ORCID: 0000-0002-2747-2978

Lemeshev Mykhailo S. – Cand. Sc. (Eng.), Associated Professor, Associated Professor of the Department of Construction, Urban Economy and Architecture, e-mail: mlemeshev@i.ua, ORCID:0000-0002-6083-0378

Shyrobokov Vitalii – engineer-designer , ORCID: 0009-0008-4429-0093

ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ І МІЦНІСТЬ БЕТОНІВ ПРИ РОЗТЯЗІ ПІСЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ОБТИСНЕННЯ НА ОСНОВІ ЙОГО СТРУКТУРНОЇ ТЕОРІЇ

Черкаський державний технологічний університет

Приведені результати теоретичних досліджень на основі структурної теорії тріщиностійкості і міцності бетону при розтягуванні після попереднього тривалого обтиснення різної інтенсивності. Для структурної схеми у вигляді шахового розташування заповнювача в цементній матриці розглянуто напружено деформований стан бетоном при розвантаженні або подальшому розтягуванні до напружень коли цементний камінь вичерпав свою несучу здатність (утворюються тріщини) і руйнування бетону в цілому.

Наведено аналітичні залежності визначення зазначених параметрів для різних рівнів попереднього обтиску.

Ключові слова: бетон, січний модуль, розчин, цементний камінь, заповнювач, структурна схема напруги, деформації.

Вступ

В даний час бетон є основним будівельним матеріалом. Однак його міцнісні та деформативні характеристики, як при короткочасному, так і тривалому прикладанні навантаження, що базуються на міцнісних та деформативних характеристиках його складових, вивчені недостатньо.

Тому важливою є розробка структурної теорії бетону. Розрахункові формули при цьому ґрунтуються на міцнісних та пружнопластичних характеристиках складових бетону, їх кількісному співвідношенні та взаєморозташуванні в одиниці об'єму.

Бетон є конгломератом і має тверді, рідкі та газоподібні включення. Взаємне розташування складових одиниць бетонного елемента здійснюється за допомогою ідеалізованих структурних схем бетону. Справжня структурна схема бетону складна і не піддається статистичній оцінці. Цементний камінь при цьому розглядається як матриця, а заповнювач як включення. Але цементний камінь і заповнювач мають різні фізико-механічні властивості, тому пружно-пластичні характеристики бетону повинні визначатися через реологічні властивості складових, їх кількісне співвідношення та взаємне розташування. Вирішення цього завдання є дуже актуальним.

З цього питання є незначна кількість досліджень. Так, автори [1-2] дають визначення модуля пружності бетону за трьома ідеалізованими структурними схемами.

Деякі інші, при короткочасному центральному стиску, залежності визначення модуля пружності бетону розглянуті в [3-10]. Всі вони стосуються визначення модуля пружності бетону при короткочасному центральному стисканні. Що ж до оцінки його деформативності за ідеалізованими схемами при короткочасному розвантаженні після тривалого стиснення навантаженням різної інтенсивності, визначення його тріщиностійкості $\sigma_{1,н}$ і міцності при подальшому розтягуванні, то жоден із вищевказаних авторів такої не дає.

Метою статті є розробка на основі ідеалізованих структурних схем бетону аналітичних залежностей для визначення його тріщиностійкості та міцності при подальшому розтягуванні після тривалого центрального стиснення навантаженням різної інтенсивності, виходячи з властивостей реологічних складових.

Основна частина

Оцінку напружено-деформованого стану бетонів при короткочасному та тривалому стисканні за їх складом та реологічними властивостями складових, за ідеалізованими структурними схемами [1; 2], (Рис. 1) наведено в [2; 3].

Оцінку напружено-деформованого стану бетонів при короткочасному розвантаженні після тривалого обтиснення навантаженням різної інтенсивності виконуємо за схемою 2 (Рис. 1), що найбільш точно відображає роботу бетону при короткочасному та тривалому завантаженні.

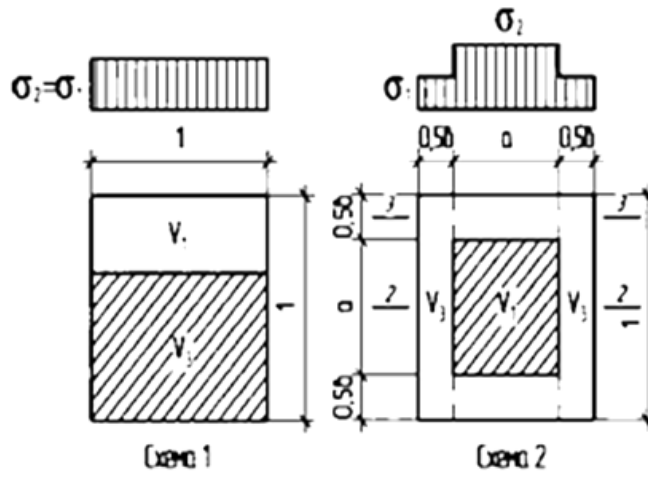


Рисунок 1 – Ідеалізовані структурні схеми бетону

Тріщиностійкість у процесі короткочасного розвантаження чи подальшого розтягування бетонів.

Мікротріщини розриву в бетоні за перерізами 2-2 схеми 2 (Рис. 1) після зняття постійного стискаючого навантаження інтенсивності $\eta_\tau = \sigma_\tau / f_{c,\tau}$, що діяло протягом часу $(t-\tau)$, виникають при досягненні в цементному камені (розчині), в процесі короткочасного розвантаження або розтягнення граничних напружень $f_{1,t,\tau}$, тобто:

$$\sigma_{1,t,\tau} = f_{1,t,\tau} \quad (1)$$

У момент утворення мікротріщин розриву по цементному каменю (розчину) рівняння рівноваги запишеться в такому вигляді:

$$f_{1,t,\tau} A_1 + (\sigma_{3,\eta,t,\tau})_1^{f_{1,t,\tau}} A_3 = (\sigma_{c,\eta,t,\tau})_1^{f_{1,t,\tau}} \quad (2)$$

де $(\sigma_{c,\eta,t,\tau})_1^{f_{1,t,\tau}}$, $(\sigma_{3,\eta,t,\tau})_1^{f_{1,t,\tau}}$ відповідно напруження в бетоні (тріщиностійкість) і заповнювачі після зняття постійного стискаючого навантаження інтенсивності $\eta_\tau = \sigma_\tau / f_{cd,\tau}$ що діє протягом часу $t-\tau$, при досягненні в цементному камені (розчині) в процесі короткочасного розвантаження або досягненні граничних напружень розтягування.

Для моменту тріщиноутворення рівняння спільності деформацій буде виражена через збільшення відносних деформацій, з моменту коли напруга в цементному камені (розчині) в процесі розвантаження або розтягування змінювалися від нуля до граничних напружень $(\sigma_{1,t,\tau} = f_{1,t,\tau})$ і буде записана так:

$$\begin{aligned} (\Delta \varepsilon_{c,\eta,t,\tau})_1^{f_{1,t,\tau}} &= (\Delta \varepsilon_{1,t,\tau})_1^{f_{1,t,\tau}} = (\Delta \varepsilon_{3,\eta,t,\tau})_1^{f_{1,t,\tau}} = \\ &= \frac{(\sigma_{c,\eta,t,\tau})_1^{f_{1,t,\tau}} - (\sigma_{c,\eta,t,\tau})_1^0}{(E_{c,\eta,t,\tau})_1^{f_{c,t,\tau}}} = \frac{f_{1,t,\tau} - (\sigma_{1,\eta,t,\tau})_1^0}{E_{f1,t,\tau}} = \\ &= \frac{(\sigma_{3,\eta,t,\tau})_1^{f_{1,t,\tau}} - (\sigma_{3,\eta,t,\tau})_1^0}{E_3}. \end{aligned} \quad (3)$$

Вирішуючи спільно рівняння (2 і 3) і використавши кореляційну залежність 8 [4], отримуємо значення напруги в бетоні, при яких утворюються мікротріщини розриву по цементному каменю (розчину) в перерізі 2-2 схема 2.

$$(\sigma_{c,\eta,t,\tau})_1^{f_{1,t,\tau}} = f_{1,t,\tau} A_1 + A_3 \left\{ \frac{-f_{1,t,\tau} E_3}{E_{f1,t,\tau} (1 - \lambda_{f1,t,\tau})} + (\sigma_{3,\eta,t,\tau})_1^0 \right\} \quad (4)$$

В рівняннях (3) – (4)

E_3 – модуль пружності заповнювача;

A_1 і A_3 – відповідно відносна площа перерізу цементного каменю та заповнювача.

Значення величин $(\sigma_{c,\eta,t,\tau})_1^0$, $(\sigma_{3,\eta,t,\tau})_1^0$ і $E'_{f_{1,t,\tau}}$ визначаються відповідно по формулам (3-5) і [4].

Теоретичні значення тріщиностійкості бетону в системі "розчин-бетон", отримане за наведеними вище формулами в перерізі 2-2 для ідеалізованої структурної схеми 2 в залежності від інтенсивності тривалого обтиснення наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Тріщиностійкість бетону в системі розчин-бетон

Рівень обтиснення	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$(\sigma_{c,\eta,t,\tau})_1^{f_{1,t,\tau}}$	-3,35	-1,57	-0,97	-0,21	+2,69	+4,47	+5,26	+6,72

Примітка: Знак (мінус) означає напруження розтягу.

Як видно з таблиці 1, з рівня тривалого обтиснення стискаючого навантаження $\eta_t = 0,5$ і більше утворюються поперечні розвантажувальні мікротріщини розриву. До рівня $\eta_t = 0,5$ ці тріщини утворюються при розтягуючих напруженнях (навантаженнях) у бетоні.

Отриманий теоретично початковий рівень тривалого обтиснення $\eta_t = 0,5$, у якому утворюються розвантажувальні мікротріщини, підтверджує викладені раніше пояснення граничної деформативності бетонів при розтягуванні після тривалого обтиснення.

Вище наведені залежності теоретичного визначення внутрішнього напруженого стану в процесі розвантаження після тривалого обтиснення стискаючим навантаженням різної інтенсивності справедливі і при розвантаженні після короткочасного обтиснення різної інтенсивності.

Внутрішньо напружено-деформований стан бетонного елемента по перерізу 3-3 рис. 2 визначається за наведеними формулами [4]. При цьому, у цих формулах необхідно замінити площу перерізу A_1 на $A_1+0,5 A_3$, і переріз A_3 на $0,5 A_3$, що видно з рис. 2. Отримані дані про тріщиностійкість бетону за розчином у перерізі 3-3 (таблиця 2).

Таблиця 2

Тріщиностійкість бетону по перерізу 3-3

Рівень обтиснення	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$(\sigma_{c,\eta,t,\tau})_1^{f_{1,t}}$, МПа	-2,63	-1,58	-1,40	-1,22	-0,97	-0,91	-0,93	-0,77

Як видно з таблиці 2, утворення тріщин по розчину в перерізі 3-3 відбувається при дії тільки розтягуючих напружень в бетоні.

Міцність бетонів на розтяг після тривалого обтиснення різної інтенсивності.

Відповідно до схеми напруженого стану бетону, приведеній на рис. 2, а також його тріщиностійкості по розчинній частині в характерних перерізах 2-2 і 3-3, міцність бетону на розтяг при відсутності обтиснення, визначиться тріщиностійкістю його по перерізу 3-3.

Після обтиснення бетону міцність його на розтягування визначиться опором зрізу f_c по контакту заповнювача та розчинної частини заввишки $h_c=0,5$ (а-в) по периметру $S_c=2a$ рис. 2 тобто:

$$f_{c,t} = f_{\ell,1,t} \cdot h_c \cdot S_\ell \quad (5)$$

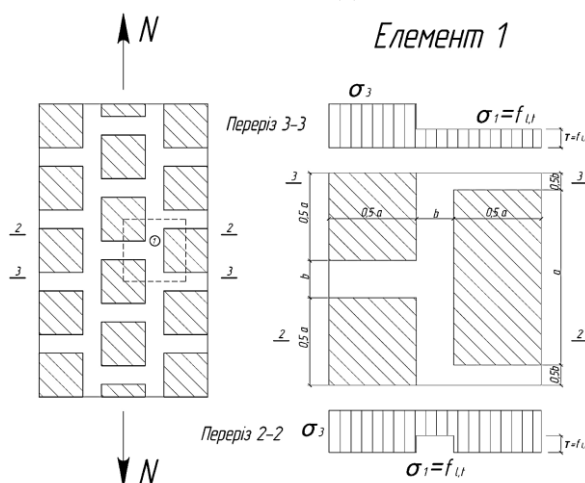


Рисунок 2 – Схема напруженого стану бетону

При $f_{c,t}=2,5 f_{1,t}$, міцність бетону на розтяг дорівнює

$$f_{c,t} = 2,5a(a-b)f_{1,t} \quad (6)$$

Експериментальні значення міцності розчинної частини на розтяг $f_{1,t}$ в залежності від рівня попереднього обтиснення наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Експериментальні значення міцності розчину при розтягуванні залежно від рівня попереднього обтиснення

Рівень тривалого обтиснення	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
f_{ct}	1,92	1,84	1,78	1,68	1,64	1,60	1,49	1,45

Експериментальні та теоретичні значення міцності бетону на розтяг, обчислені по тріщиностійкості (таблиця 2, $\eta_r = 0$) та формула (5), наведені в таблиці 4. Тут же дано відхилення теоретичних значень від експериментальних.

Таблиця 4

Експериментальні та теоретичні значення міцності бетонів при розтягуванні після тривалого обтиснення різної інтенсивності

Рівень обтиснення $\eta_r = \sigma_r / f_{cd}$	0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
f_{ct} теор. МПа	2,63	1,88	1,81	1,71	1,66	1,62	1,51	1,48
f_{ct} ОПЫТН. МПа	2,25	2,08	1,87	1,80	1,64	1,50	1,40	1,27
$\Delta\%$	+16,9	-9,6	-3,2	-5,0	+1,2	+8,0	+7,8	+15,9

Аналіз інших можливих схем руйнування бетону під час розтягування показав, що значення міцності бетону при розтягуванні за цими схемами вище значень її за таблицею 4. Так, після утворення тріщин у бетоні по розчинній частини в перерізах 2-2 і 3-3 міцність бетону визначається міцністю заповнювача. При цьому за перерізом 2-2 вона становитиме

$$f_{t,3} A_3 = 3,8 \text{ МПа, по перерізу 3-3} - 0,5 f_{t,3} A_3 \cdot F_3 = 1,9 \text{ МПа.}$$

Таким чином, проведені теоретичні дослідження з оцінки міцності бетону на розтяг після тривалого обтиснення різної інтенсивності отримали експериментальне підтвердження. Екстремальна розбіжність експериментальних та теоретичних значень міцності не перевищує +16,9%; -9,6%.

Висновки

Структурна теорія опору бетонів силовим впливом виходить з ідеалізації їх структурних схем. Найбільш повно відображає роботу бетону при стисканні та розтягуванні ідеалізована структурна схема у вигляді шахового розташування кубічних зерен заповнювача в розчинній частині бетону.

Прийнята ідеалізована структурна схема бетонів дозволила оцінити за заданим їх складом і реологічними властивостями складових тріщиностійкість і міцність бетонів при подальшому розтягуванні після тривалого центрального стиснення (модуль деформацій і відносні деформації).

Отримані та запропоновані до практичного застосування теоретичні залежності оцінки тріщиностійкості та міцності бетонів на розтягування після тривалого прикладання навантаження дають виходячи з його складу та властивостей складових.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ахвердов М.Н. Механизм усадки и ползучести бетона в свете современных представлений реологии и физики твердого тела. Бетон и железобетон, 1970, №10. С.21-23.
2. Битько Н.М., Кузнецова О.В., Бойко В.В. Напряженно деформированное состояние бетонов при кратковременном центральном сжатии, исходя из его идеализированных структурных схем. Вісник ЧДТУ № 3.2016, Черкаси. С. 84-89.

3. Битько Н.М., Архангельская Н.А., Кузнецова О.В., Бойко В.В. Напряженно деформированное состояние цементного камня при длительном центральном сжатии нагрузкой различной интенсивности. Вісник ЧДТУ № 2.2009, Черкаси. С. 7-13.
4. Битько М.М., Кузнецова О.В., Иванова Л.В. Напружено-деформований стан бетонів при розвантаженні після попереднього обтиснення на основі його структурної теорії сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, Випуск 14, Луцьк 2020. Ст. 36-46.
5. Гансен Т., Ползучесть и релаксация напряжений в бетоне (перевод с английского), М., Госстройиздат, 1963, с.124.
6. Гегасян С.Г. Собственные колебания вязкоупругой модели наследственного старения. Бетон и железобетон, 2001 №5, с.6-8.
7. Горохов Е.В., Югов А.М., Веретенников В.Н. и др. Учет явления систематической неоднородности свойств тяжелого бетона «Безопасность эксплуатации зданий и сооружений. Монография. М.,2011, с.146-167.
8. Дмитриев А.С. Влияние крупного заполнителя на прочность и деформативность высокопрочного бетона, Сб. НИИЖБ "Вопросы общей технологии и ускорение твердение бетона" под редакцией Миронова С.А., М., Стройиздат, 1970, с.58-63.
9. Зайцев Ю.В. Современное состояние механики бетона в России и за рубежом (строительные материалы, оборудования, технологии XXI века №1, 2003, с.18-19.
10. Крылов С.Б., Гончаров Е.Е. Использование реологических моделей при моделировании ползучести бетона. Промышленное и гражданское строительство, 2013, №2, с.32-33.
11. Макаренко Л.П., Битько Н.М. Экспериментально-статистические исследования напряженно-деформированного состояния цементного камня и бетона при двух режимах центрального сжатия с постоянной скоростью роста загрузки и продольных деформаций. Сборник Вопросы надежности железобетонных конструкций под редакцией А.С. Лычева, Куйбышев, 1977, с. 89-92.
12. Макаренко Л.П., Битько Н.М. Экспериментально-статистические исследования зависимости «Напряжение деформаций в цементном камне и бетонах, при длительном центральном сжатии постоянной нагрузкой различной интенсивности сборник «Вопросы надежности железобетонных конструкций» под редакцией А.С. Лычева, Куйбышев, 1976, с.106-109.
13. Макаренко Л.П., Фенко Г.А. Влияние ползучести и усадки при длительном обжатии бетонов на их трещиностойкость и прочность при последующем растяжении. Сборник "Ползучесть и усадка бетона" подготовленный НИИСК Госстрой СССР (Материалы совещания союзной комиссии РИЛЕМ), Киев, Будівельник, 1969.
14. Фенко Г.А. Влияние собственных напряжений на свойства бетона. Кандидатская диссертация. Полтавский ИСИ, Полтава, 1972.
15. Овсянко В.М. Компьютерный анализ электронных моделей, объектов реологии. Изв. вузов. Строительство, 2003, № 4, с. 26-34.

REFERENCES

1. Akhverdov, M. N. (1970) The mechanism of concrete shrinkage and creep in the light of current ideas on rheology and solid-state physics. Beton i zhelezobeton, (10), pp. 21–23 [in Russian].
2. Bitko, N. M., Kuznetsova, O. V., Boyko, V. V. (2016) Stress-strain state of concrete under short-term central compression, based on its idealized structural schemes. Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky, No. 3, pp. 84–89 [in Russian].
3. Bitko, N. M., Arkhangelskaya, N. A., Kuznetsova, O. V., Boyko, V. V. (2009) Stresstrain state of cement stone with long-term central compression load of varying intensity. Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu. Seria: Tehnichni nauky, No. 2, pp. 7–13 [in Russian].
4. Bytko M.M., Kuznetsova O.V., Ivanova L.V. (2020). Stressed
5. -deformed condition of concrete when unloading after preliminary compression based on its structural theory. Modern technologies and calculation methods in construction, Issue 14, Lutsk. p. 36-46.
6. HGansen, T. (1963) Creep and stress relaxation in concrete. Moscow: Gosstroyizdat, p. 124 [in Russian].
7. Gegasyan, S. G. (2001) Characteristic oscillations of viscous-elastic model of hereditary aging. Beton i zhelezobeton, (5), pp. 6–8 [in Russian].
8. Gorokhov, Ye. V., Yugov, A. M., Veretennikov, V. N. et al. (2011) Accounting of the phenomenon of systematic heterogeneity of heavy concrete features. In: Bezopasnost ekspluatatsii zdaniy i sooruzheniy. Moscow, pp. 146–167 [in Russian].
9. Dmitriyev, A. S. (1970) Coarse aggregate impact on the strength and stress-strain behavior of high-precision concrete. Voprosy obshchey tekhnologiyi i uskoreniye tverdeniya betona: coll. NIIZhB, pod red. S. A. Mironova. Moscow: Stroyizdat, pp. 58–63 [in Russian].
10. Zaytsev, Yu. V. (2003) Current state of concrete mechanics in Russia and abroad. Stroyitel'nye materialy, oborudovaniye, tekhnologiyi XXI veka, (1), pp. 18–19 [in Russian].
11. Krylov, S. B., Goncharov, Ye. Ye. (2013) The use of rheological models at concrete creep simulation. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroyitel'stvo, (2), pp. 32–33 [in Russian].
12. Makarenko, L. P., Bitko, N. M. (1977) Experimental and statistic studies of deflected mode of cement stone and concrete at two modes of axial compression with constant speed of loading and longitudinal strain growth. Voprosy nadyezhnosti zhelezobetonnykh konstruksiy, pod. red. A. S. Lycheva. Kuybyshev, pp. 89–92 [in Russian].
13. Makarenko, L. P., Bitko, N. M. (1976) Experimental and statistic studies of the dependence of deformation strain in cement stone and concrete at sustained axial compression by constant loading of various intensity. Voprosy nadyezhnosti zhelezobetonnykh konstruksiy, pod. red. A. S. Lycheva. Kuybyshev, pp. 106–109 [in Russian].
14. Makarenko L.P., Fenko G.A. (1969). The effect of creep and shrinkage during long-term compression of concrete on their crack resistance and strength during subsequent stretching. Collection "Creep and shrinkage of concrete" prepared by NIISK Gosstroy of the USSR (Materials of the meeting of the RILEM Union Commission), Kyiv, Budivelnik.
15. Fenko, G. A. (1972) Effect of intrinsic stresses on concrete properties: PhD thesis. Poltava: Poltava ISI [in Russian].
16. Ovsyanko V.M. (2003). Computer analysis of electronic models, objects of rheology. Famous universities Construction, No. 4, p. 26-34.

Кузнецова Ольга Вадимівна – старший викладач кафедри геодезії, землеустрою, будівельних конструкцій та безпеки життєдіяльності, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, e-mail: Kuznec-68@ukr.net , ORCID 0009-0006-2189-730644;

Іванова Лариса Віталіївна – старший викладач кафедри геодезії, землеустрою, будівельних конструкцій та безпеки життєдіяльності, Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, e-mail: larisa29@i.ua , ORCID 0009-0001-4239-3100.

O. Kuznetsova
L. Ivanova

CRACK RESISTANCE AND STRENGTH OF CONCRETE UNDER TENSION AFTER PRELIMINARY COMPRESSION BASED ON ITS STRUCTURAL THEORY

Cherkasy State Technological University

The results of theoretical researches on the basis of the structural theory of crack resistance and tensile strength of concrete after preliminary long compression of various intensity are stated. For the structural scheme in the form of a checkerboard arrangement of the aggregate in the cement matrix, the stress-strain state of concrete during unloading or subsequent stretching to stresses when the cement stone has exhausted its bearing capacity (cracks are formed) and destruction of concrete as a whole is considered.

Analytical dependences of definition of the specified parameters for various levels of precompression are resulted.

Key words: Concrete, secant module, mortar, cement stone, aggregate, structural diagram of stress, deformation.

Olga Kuznetsova – Senior Lecturer of the Department Geodesy, Land Management, Building Structures And Life Safety, Cherkasy State Technological University, e-mail: Kuznec-68@ukr.net, ORCID 0009-0006-2189-7306;

Larysa Ivanova – Senior Lecturer of the Department Geodesy, Land Management, Building Structures And Life Safety, Cherkasy State Technological University, e-mail: larisa29@i.ua, ORCID 0009-0001-4239-3100.

МЕХАНІКА ҐРУНТІВ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 614.843

DOI 10.31649/2311-1429-2023-1-69-73

Б. Б. Корчевський

А. В. Колесник

ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК АРМОВАНИХ ОСНОВ З
УРАХУВАННЯМ АНІЗОТРОПІЇ ҐРУНТІВ

Вінницький національний технічний університет

Введення в ґрунт горизонтальних арматурних елементів, що мають деформаційні показники в позадвожньому напрямку набагато вищі, перетворює його на анізотропне середовище. Тобто, середовище, в якому характеристики міцності у вертикальному і горизонтальному напрямку суттєво відрізняються.

В даній статті розглянуто випадок коли арматурні елементи вкладаються горизонтально, і їх товщина набагато менша товщини шарів ґрунту, тому нею можна знехтувати і приймати характеристики міцності і деформацій армоґрунту в горизонтальному напрямку як для неармованого. У вертикальному напрямку наявність арматури в масиві ґрунту суттєво змінює його характеристики. Це підтверджено отриманими результатами модельних випробувань.

Розрахунок армованих основ зводиться головним чином до визначення впливу параметрів армування на розподіл напружень і відповідно деформацій в шарах армоґрунту.

Ключові слова: армовані основи, анізотропія ґрунтів, деформації армоґрунту, параметри армування.

Вступ

Рішення базується на основних формулах напруженого стану анізотропної напівплощини, занавантаженої лінійним навантаженням. Основа представлена лінійно-деформівним пористим середовищем, стан якого характеризується модулями деформацій E_x , E_z , коефіцієнтами Пуассона ν_x , ν_z і модулем зсуву G_z . Після розв'язання системи рівнянь рівноваги і рівнянь сумісності авторами роботи [1] отримані формули (1) для визначення складових напружень:

$$\begin{aligned}\sigma_z &= -\frac{2P}{\pi} \frac{Az^3}{(z^4 + a_2 z^2 x^2 + a_3 x^4)}; \\ \sigma_x &= -\frac{2P}{\pi} \frac{Ax^2 z}{(z^4 + a_2 z^2 x^2 + a_3 x^4)}; \\ \tau_{xz} &= -\frac{2P}{\pi} \frac{Ax^2 x}{(z^4 + a_2 z^2 x^2 + a_3 x^4)};\end{aligned}\quad (1)$$

де

$$\begin{aligned}a_2 &= \frac{2(1+\nu_z) - 2(1+\nu_x)\nu_x \delta}{(1-\nu_z^2)\delta}; & a_3 &= \frac{1-\nu_x^2}{(1-\nu_z^2)\delta}; \\ A &= \frac{1}{2} \sqrt{2\sqrt{a_3} + a_2}; & \delta &= \frac{E_x}{E_z}; & \nu_z &= \frac{E_x}{2G_z} - 1\end{aligned}$$

δ – коефіцієнт деформаційної анізотропії;

x , z – координати точки, що розглядається, відповідно горизонтальні і вертикальні.

Максимальне дотичне і головні напруження середовища згідно теорії пружності визначаються виразами:

$$\begin{aligned}\tau_{\max} &= \sqrt{\left(\frac{\sigma_z - \sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2} \\ \sigma_1 &= \frac{\sigma_z + \sigma_x}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_z - \sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2} \\ \sigma_2 &= \frac{\sigma_z + \sigma_x}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_z - \sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2}\end{aligned}\quad (2)$$

В нашому випадку розглядаємо напруження під центром навантаження, тобто при $x=0$. Тоді рівняння (2) приймуть вигляд:

$$\begin{aligned} \tau_{\max} &= \sqrt{\left(\frac{\sigma_z(x=0) - \sigma_x(x=0)}{2}\right)^2 + \tau_{xz(x=0)}^2} \\ \sigma_1 &= \frac{\sigma_z(x=0) + \sigma_x(x=0)}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_z(x=0) - \sigma_x(x=0)}{2}\right)^2 + \tau_{xz(x=0)}^2} \\ \sigma_2 &= \frac{\sigma_z(x=0) + \sigma_x(x=0)}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_z(x=0) - \sigma_x(x=0)}{2}\right)^2 + \tau_{xz(x=0)}^2} \end{aligned} \quad (3)$$

З рівнянь (1) компоненти напруження $\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}$ при $x=0$ виражаються як:

$$\begin{aligned} \sigma_{x(x=0)} &= 0 \\ \sigma_{z(x=0)} &= \frac{2PA}{\pi z}; \\ \tau_{xz(x=0)} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Підставивши (4) в (3) отримуємо:

$$\begin{aligned} \tau_{\max(x=0)} &= P \frac{A}{\pi z}; \\ \sigma_{I(x=0)} &= P \frac{2A}{\pi z}; \end{aligned} \quad (5)$$

Основна частина

Вводимо допущення, що по всій довжині горизонтального арматурного елемента дотичні напруження в ґрунті зберігають свої максимальні значення, тобто τ_{\max} . Такі напруження повинні враховуватись в межах об'єму впливу арматурного елемента [2-3], що йде в запас міцності.

На підставі цих міркувань отримаємо

$$F = 2b_{\text{арм}} \tau_{\max} dx. \quad (6)$$

Інтегруючи вираз (6) і підставляючи значення τ_{\max} з (5), отримаємо

$$F = 2b_{\text{арм}} \int_0^{L_{\text{арм}}/2} \tau_{\max} dx = 2b_{\text{арм}} \frac{L_{\text{арм}}}{2} \tau_{\max} = \varpi_a P \frac{A}{\pi z} \quad (7)$$

де $b_{\text{арм}}$ - ширина арматурних елементів; $L_{\text{арм}}$ - довжина арматурних елементів.

Зусилля T знаходимо аналогічно із врахуванням максимальних вертикальних стискаючих напружень, що діють по контакту з арматурою.

$$T = 2b_{\text{арм}} f \int_0^{L_{\text{арм}}/2} \sigma_1 dx = 2b_{\text{арм}} \frac{L_{\text{арм}}}{2} f P \frac{2A}{\pi z} = \varpi_a f P \frac{2A}{\pi z}, \quad (8)$$

де f – коефіцієнт тертя; $\varpi_{\text{арм}}$ – площа контакту арматури.

Переріз арматурних елементів можна отримати, якщо задати розрахунковий опір матеріалу, що для них застосовується:

$$F_{\text{арм}} = \frac{T}{R_{\text{арм}}} = \frac{\varpi_{\text{арм}} f P \frac{2A}{\pi z}}{R_{\text{арм}}}. \quad (9)$$

Для кожного шару, що розглядається, можна визначити значення зусиль розтягу і сил тертя:

$$F = \sigma'_{арм} P \frac{A}{\pi z}; \quad (10)$$

$$T = \sigma'_{арм} f P \frac{2A}{\pi z}; \quad (11)$$

З виразу (11) граничне і нормальне горизонтальне подовження кінців арматурних елементів визначається співвідношеннями:

$$U_{Гр} = \int_0^{L_{арм}/2} \frac{T dx}{E_z \sigma_{арм}} = \frac{L_{арм} \sigma_{арм} f P \frac{2A}{\pi z}}{2 E_z \sigma_{арм}} = L_{арм} f P \frac{A}{E_z \pi z}; \quad (12)$$

$$U_H = \int_0^{B/2} \frac{T dx}{E_z \sigma_{арм}} = \frac{B \sigma_{арм} f P \frac{2A}{\pi z}}{2 E_z \sigma_{арм}} = B f P \frac{A}{E_z \pi z}; \quad (13)$$

Використовуючи формули (5), (12), можна визначити вертикальну відстань $h_{ар}$ між арматурними шарами. Нехай:

$$\tau_{max} = \frac{G_z U_{Гр}}{h_{арм}}. \quad (14)$$

Тоді

$$h_{арм} = \frac{G_z U_{Гр}}{\tau_{max}}, \quad (15)$$

$$\tau_{max} = P \frac{A}{\pi z}; \quad U_{Гр} = L_{арм} f P \frac{A}{E_z \pi z}$$

G_z – модуль зсуву анізотропних армованих ґрунтів;

Деформації зсуву анізотропних ґрунтів досліджувались рядом авторів [5;6] і були отримані відповідні залежності.

В інженерній практиці часто використовують співвідношення Сен-Венана для визначення модуля зсуву, котре має вигляд:

$$G_z = \frac{E_x E_z}{E_x + E_z (1 + 2\nu_{zx})}, \quad (16)$$

де E_x - модуль деформації неармованих підвалин у горизонтальному напрямку; E_z - модуль деформації армованих підвалин у вертикальному напрямку; ν_{zx} - коефіцієнт Пуассона в площині армування при навантаженні, що діє по нормалі до неї (по осі z).

З врахуванням (16) і значень τ_{max} , $U_{Гр}$ вираз (15) прийме вигляд

$$h_{арм} = \frac{\frac{E_x E_z}{E_x + E_z (1 + 2\nu_{zx})} L_{арм} f P \frac{A}{E_z \pi z}}{P \frac{A}{\pi z}} = L_{арм} f \frac{E_x}{E_x + E_z (1 + 2\nu_{zx})}. \quad (17)$$

Виразимо модуль деформації армованих основ у вертикальному напрямку E_z , через довжину арматури $L_{арм}$ і крок армування $h_{арм}$:

$$E_z = \frac{\left(\frac{E_x L_{арм} f}{h_{арм}} - E_x \right)}{1 + 2\nu_{zx}} \quad (18)$$

Визначимо модуль зсуву G_z анізотропних армованих ґрунтів, врахувавши параметри армування, а також анізотропні властивості ґрунту. Для цього скористаємось залежністю, яка приведена в роботі [7]:

$$G_z = \frac{E_z}{\left(2(1+\nu_x)\nu_z + (1-\nu_z^2\delta) \left(4K^2 - 2 \right) \sqrt{\frac{1-\nu_x^2}{\delta(1-\nu_z^2\delta)}} \right)} \quad (19)$$

$\delta = \frac{E_x}{E_z}$ - коефіцієнт деформаційної анізотропії; K - коефіцієнт, що враховує параметри армування, анізотропні властивості ґрунту і його стан:

$$K = 1 + 3(1-\delta) \left(\frac{4(1+e)}{1 + \left(\frac{z}{2b} \right)^2} \right)^3, \quad (20)$$

де e - коефіцієнт пористості ґрунту; $b = B/2$ - половина ширини фундаменту, м;
 z - відстань від підшови фундаменту по глибині до шару армування, що розглядається, м;
 при одношаровому армуванні $z = h_{зак}$;

при багатошаровому армуванні $z = h_{зак} + h_{арм} \times (n-1)$;

$h_{зак}$ - глибина закладання першого шару; $h_{арм}$ - вертикальна відстань між шарами армування (крок армування); n - кількість шарів армування.

З врахуванням (18) коефіцієнт деформаційної анізотропії прийме вигляд:

$$\delta = \frac{1 + \nu_{zx}}{\left(\frac{L_{арм}^f}{h_{арм}} - 1 \right)} \quad (21)$$

Тоді коефіцієнт K для багатошарового армування з врахуванням (21):

$$K = 1 + 3 \left(1 - \frac{1 + \nu_{zx}}{\left(\frac{L_{арм}^f}{h_{арм}} - 1 \right)} \right) \left(\frac{4(1+e)}{1 + \left(\frac{h_{зак} + h_{арм}n}{B} \right)^2} \right)^3 \quad (22)$$

Підставляючи (18), (21) і (22) в (19), ми можемо визначити модуль зсуву G_z з врахуванням параметрів армування і анізотропних властивостей ґрунту.

Висновки

- Отримані вирази максимальних дотичних і головних напружень армованого ґрунту з врахуванням анізотропного середовища.
- Визначено залежність по підбору перерізу арматурних елементів ґрунтових основ від розрахункового опору матеріалів, що для них застосовуються.
- Отримано розрахункові залежності модуля деформації армованих основ у вертикальному напрямку E_z , через довжину арматури і крок армування.
- Визначено модуль зсуву G_z анізотропних армованих ґрунтів, з врахуванням параметрів армування, а також анізотропних властивостей ґрунту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Цимбал С.І., Куценко Г.В. Врахування анізотропії і неоднорідності основ при визначенні в ньому напружень. *Науково-технічний журнал «Основи та підвалини»* - Київ, 1989. - № 22. - с.97-100.
2. Друкований М.Ф., Корчевський Б.Б., Шокарев В.С. Теоретичні аспекти та проблеми армування підвалин в будівництві. *Науково-технічний журнал «Будівельні конструкції»* №53. Книга 2 - К.: НДІБК - 2000, с.100-107.
3. Друкований М.Ф., Шокарев В.С. Класифікація методів армування ґрунтів. *Науково-технічний журнал «Будівельні конструкції»* №55. - К.: НДІБК - 2001, с.36-37.
4. Друкований М.Ф., Корчевський Б.Б. Зміцнення ґрунтових підвалин армуючими подушками з скловолокнистих сіток. Результати лабораторних випробувань *Науково-технічний журнал «Будівельні конструкції»* №53. Книга 2 - К.: НДІБК -

2000, с.94-99.

5. Черный Г.И., Шокарев В.С., Черный В.Г. Некоторые аспекты теории прочности и несущей способности армированного грунта. *Научно-технический журнал «Будівельні конструкції»* №55. - К.: НДІБК – 2001, с.173-184.
6. Barden L. Stresses and displacements in a cross-anisotropic soil. *Geotechnique*, 1998. – v.XIII. - № 3. - p.198-210.
7. Smith A.K.C., Hroth C.P. The failure of model reinforced earth walls. – TRRL suppl., № 457. p.108-131.

REFERENCES

1. Tsymbal S.I., Kutsenko G.V. Taking into account anisotropy and heterogeneity of foundations when determining stresses in it. *Naukovo-tehnichnyy zhurnal "Fundamentals and Foundations"* - Kyiv, 1989. - No. 22. - pp. 97-100.
2. Drukovany M.F., Korchevskiy B.B., Shokarev V.S. Theoretical aspects and problems of foundation reinforcement in construction. *Naukovo-tehnichnyy zhurnal "Building structures"* No. 53. Book 2 - K.: NDIBK - 2000, p. 100-107.
3. Drukovany M.F., Shokarev V.S. Classification of soil reinforcement methods. *Naukovo-tehnichnyy zhurnal "Building structures"* No. 55. - K.: NDIBK - 2001, p. 36-37.
4. Drukovany M.F., Korchevskiy B.B. Strengthening of soil foundations with reinforcing pillows made of fiberglass mesh. Results of laboratory tests. *Naukovo-tehnichnyy zhurnal "Building structures"* No. 53. Book 2 - K.: NDIBK - 2000, p.94-99.
5. Cherny G.I., Shokarev V.S., Cherny V.G. Some aspects of the theory of strength and bearing capacity of reinforced soil. *Naukovo-tehnichnyy zhurnal "Building structures"* No. 55. - K.: NDIBK - 2001, p. 173-184.
6. Barden L. Stresses and displacements in a cross-anisotropic soil. *Geotechnique*, 1998. – v.XIII. - № 3. - p.198-210.
7. Smith A.K.C., Hroth C.P. The failure of model reinforced earth walls. – TRRL suppl., № 457. p.108-131.

Корчевський Богдан Болеславович - кандидат технічних наук, доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, e-mail: b.b.korchevskiy@gmail.com

Колесник Андрій Вікторович – аспірант Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця.

B. Korchevskiy
A. Kolesnyk

THEORETICAL CALCULATION OF REINFORCED FOUNDATIONS TAKING INTO ACCOUNT ANISOTROPY OF SOILS

Vinnitsia National Technical University

The introduction of horizontal reinforcing elements into the soil, which have much higher deformation rates in the longitudinal direction, turns it into an anisotropic medium. That is, an environment in which the strength characteristics in the vertical and horizontal directions are significantly different.

This article considers the case when the reinforcing elements are laid horizontally, and their thickness is much smaller than the thickness of the soil layers, so it can be neglected and the characteristics of the strength and deformations of the reinforced soil in the horizontal direction can be taken as for unreinforced. In the vertical direction, the presence of reinforcement in the soil mass significantly changes its characteristics. This is confirmed by the obtained results of model tests.

The calculation of reinforced foundations is reduced mainly to the determination of the influence of reinforcement parameters on the distribution of stresses and, accordingly, deformations in the layers of reinforced soil.

The solution is based on the basic formulas of the stress state of an anisotropic half-plane loaded with a linear load. The base is represented by a linearly deformable porous medium, the state of which is characterized by the deformation moduli E_x , E_z , the Poisson coefficients ν_x , ν_z and the shear modulus G_z .

We introduce the assumption that along the entire length of the horizontal reinforcing element, the tangential stresses in the soil retain their maximum values τ_{\max} . Such stresses should be taken into account within the scope of influence of the reinforcing element [2-3], which is included in the margin of strength.

Obtained expressions of the maximum tangential and principal stresses of the reinforced soil, taking into account the anisotropic medium.

The dependence of the selection of the cross-section of reinforcing elements of soil foundations on the calculated resistance of the materials used for them is determined.

Calculated dependences of the modulus of deformation of reinforced bases in the vertical direction E_z , due to the length of the reinforcement and the reinforcement step, were obtained.

The shear modulus G_z of anisotropic reinforced soils is determined, taking into account the parameters of the reinforcement, as well as the anisotropic properties of the soil.

Keywords: reinforced foundations, soil anisotropy, reinforced soil deformations, reinforcement parameters.

Bogdan Korchevskiy – Ph. D., associate professor of the Department of Strength of Materials, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Vinnitsia National Technical University, e-mail: b.b.korchevskiy@gmail.com

Kolesnyk Andriy – Postgraduate of Vinnitsia National Technical University, e-mail: andreyengineer@gmail.com

ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ МОБІЛЬНИХ ФУНДАМЕНТІВ ТА ЛИВАРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

²Вінницький національний технічний університет

Виконано короткий огляд перспективних напрямів розвитку в галузі будівництва металевих, зокрема, мобільних фундаментів. Це сприятиме здешевленню та популяризації таких фундаментів, що можуть стати науково-практичною базою для фундаментобудування, зокрема для модульного будівництва на основі металоконструкцій. На відміну від зварних для болтових конструкцій спрощується монтаж та болтові з'єднання забезпечують можливість демонтажу конструкції з перевезенням на інше місце, що важливо для ангарів, складів, які змінюють локацію. Наведено приклад топологічної оптимізації конструкції мобільного фундаменту та розглянуто конструкцію мобільного фундаменту, що використовує ефект розпору, а також перспективну конструкцію для виготовлення за 3D-технологією. Зазначено про ефективний засіб зниження вартості металоконструкцій – це зменшення витрат металу. Сучасні фундаменти, що представляють єдині масивні конструкції, можуть бути суттєво полегшені завдяки використанню збірних шарнірно-стрижневих систем або суцільних литих металоконструкцій з порожнинами, які істотно не впливають на напружено-деформований стан фундаменту. Застосовані методи дослідження: моделювання, огляд та узагальнення вивчених матеріалів, присвячених проблематиці статті. Значні можливості має застосування литих металоконструкцій, зокрема виготовлених способом лиття за моделями, що газифікуються. Наведено приклади моделювання крупних виливків, та виготовлених моделей з застосування 3D-технологій з досвіду ливарної практики ФТМС НАНУ. Будівництво із застосуванням металоконструкцій має всі передумови стати ефективним рішенням в будівельній галузі, що сприятиме відбудові нашої країни, яка отримує метал із власних руд і здатна перевести його у високотехнологічний наукомісткий товар, зокрема у вигляді легковагих будівельних металоконструкцій.

Ключові слова: 3D-технології; металевий фундамент; модульне будівництво; мобільний фундамент; топологічна оптимізація; будівельні металоконструкції; лиття за моделями, що газифікуються.

Вступ

Будівництво із застосуванням металоконструкцій має всі передумови стати ефективним рішенням в будівельній галузі, що сприятиме відбудові країни. Модульні будівлі – будинки чи споруди з модулів заводського виготовлення, зібрані з одного і більше блоків. Це переважно тимчасові будівлі, які можуть легко демонтуватися і перевозитися на інше місце. На відміну від зварних для болтових конструкцій спрощується монтаж, а також болтові з'єднання забезпечує можливість демонтажу конструкції з перевезенням на інше місце, що, зокрема, важливо для ангарів, складів, які змінюють локацію.

Результати огляду, моделювання та технологічних розробок

Під модульну будівлю вдало підходить мобільний фундамент, який поки що слабо поширений, але має потенціал набору популярності. Головна вимога до мобільного фундаменту – бути легким та міцним. Поєднання легкого матеріалу з оптимальною формою здатне дати найвигідніший фундамент. Приклади литих конструкцій вузлів-конекторів будівельних металоконструкцій розглянуто в роботі [1], а деякі приклади виливків для металевих опорних вузлів фундаменту переважно з болтовим кріпленням наведено на рис. 1, що вибрані з ілюстрацій у відкритих джерелах інтернету.

Проектування оптимальної форми фундаменту нині пов'язане з топологічною оптимізацією попередньо заданої форми. Наприклад, перебираючи в Autodesk Inventor [2] вибрано плоскі опорні конструкції та рівень навантаження на них, що дозволило змоделювати варіант конструкції, представлений на рис. 2, а. Оскільки мобільні будівлі невисокі і фундамент зазвичай зазнає моментних навантажень, однакових з усіх сторін, то вигідніше застосовувати круглий фундамент. Програмою запропоновано [2] чотири зв'язки між двома плоскими платформами (площадками). Аналогічно запропонованій моделі, можна створити таку конструкцію, як на рис. 2, б, в якій момент від будівлі передається через площадку 3 і повзун 5, який є трубою в трубі та не перешкоджає при цьому вертикальним деформаціям платформи 2. Навантаження передається через шарнірно з'єднані між платформами стрижні 1, які через опори 4 передають його на платформу 2, одночасно розтягуючи її, створюють розпір, що перешкоджає зминання платформи 2 під дією опору ґрунту та дозволяє робити її тонше.



Рисунок 1 - Приклади литих металевих опорних деталей фундаменту.

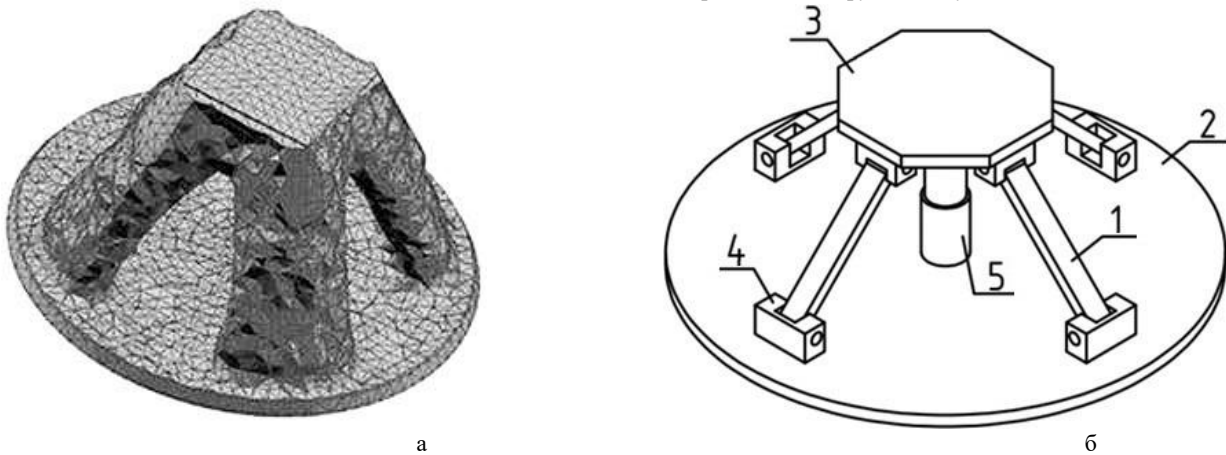


Рисунок 2 – Топологічно оптимізований варіант моделі фундаменту – а та ізометрія запропонованої збірної конструкції - б: 1 - стрижень; 2 - платформа; 3 – площадка; 4 - опора; 5 - повзун.

Головний параметр системи – кут a (рис. 3) між стрижнем 1 і платформою 2, змінюючи який можна знаходити необхідні товщини платформ і переріз стрижнів, тому вирішити дану задачу здатні програми з можливістю параметризації та перебору рішень з певним кроком параметра (кута a), наприклад ANSYS, COMSOL [2].

Діаметр платформ 2 приймається, виходячи з ґрунтових умов. Для прикладу, розрахунок фундаменту проведено, взявши функцію D , см, в залежності від P , де P – навантаження на фундамент, т. Необхідно домогтися виконання вимог щодо міцності та жорсткості при мінімальному об'ємі конструкції. Використовуючи сталь С245, підбрано лінійку оптимальних розмірів фундаменту. Це здійснено з заданим проектантом кроком, при цьому відзначено, що оптимальний кут a змінюється за складною функцією, оскільки чим менше кут, тим сильніше розтягнення платформи 2 і ймовірніше досягнення межі плинності, але чим більше кут, тим товщою треба робити платформу 2 для опору на ґрунт. Взявши $D_b = 20$ см (рис. 3) в роботі [2], запропоновано мінімальні розміри деталей металоконструкції, виходячи з навантаження P , які зведено в табл. 1.

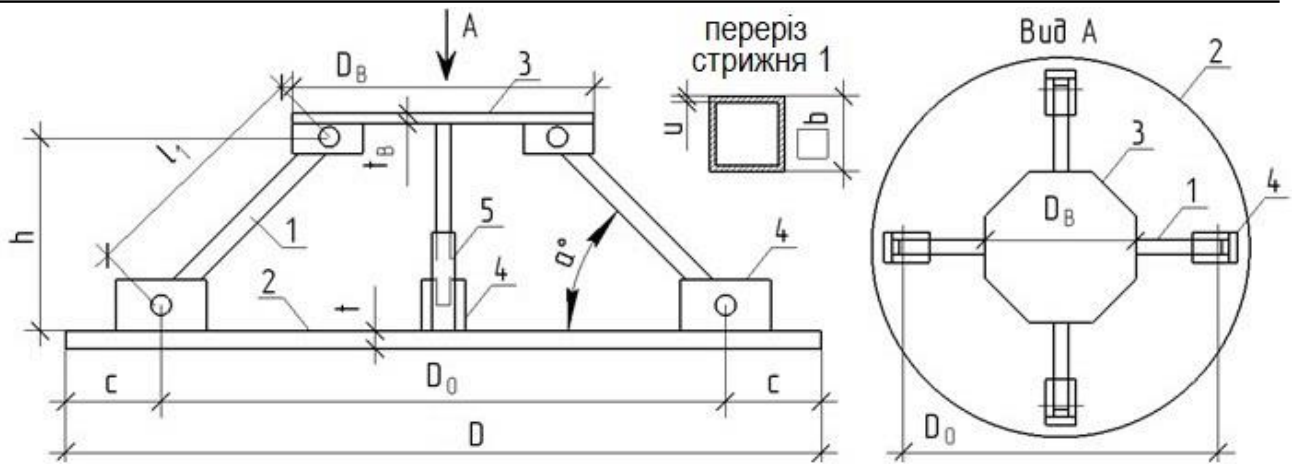


Рисунок 3 – Конструкція збірного мобільного фундаменту (позначення, як на рис. 2).

Таблиця 1.

Мінімальні параметри збірного фундаменту для лінійки навантажень P, т.

P, т	2,5	5	7,5	10	15	20	25	40
D, см	33	47	57	66	80	93	104	131
t _B , мм	9	12	15	17	21	24	27	34
мм	6	9	11	13	17	20	23	29
t, мм	24	30	47	15	22	30	38	26
α°	1	5	14,5	4,8	10	18	29	25
h, см	1,6	9,8	20	18,6	27	36	47	56
l ₁ , см	6,2	15	25,7	39	72	112	159,6	314,2

Таким способом розрахований фундамент легший за аналогічний бетонний приблизно в 4–5 разів [2]. Фундамент під незначні навантаження – до 5 тонн – раціональніше виконувати у вигляді єдиної конструкції. При цьому використовуючи не круглі, а квадратні платформи для спирання на ґрунт, що покращує транспортабельність. Також при виробництві можливе використання композитних матеріалів, якщо це дасть вигравш у собівартості.

За сучасних умов з поширенням 3D-технології виробництва для дрібних серій стає вигідним використання цієї перспективної технології, оскільки вона дозволяє залучити програми топологічної оптимізації конструкцій, за допомогою яких можна нескладно «видалити» той об'єм у конструкції, який не включений у роботу, що сприяє заощадженню матеріалів. Наприклад, на рис. 4 представлено модель оптимізованого фундаменту, ступінь вибірки порожнин у ньому залежить від навантаження [2].

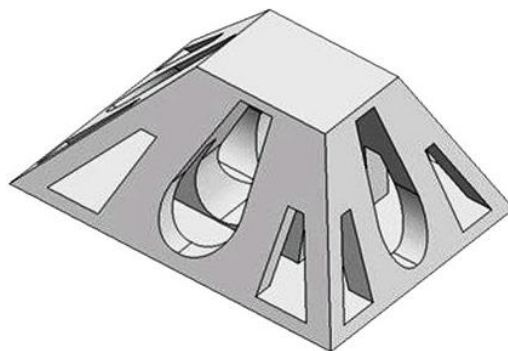


Рисунок 4 – Пропонована модель мобільного фундаменту для виготовлення з застосуванням 3D-технологій.

Значні можливості має застосування литих металевих конструкцій, виготовлених способом лиття за моделями, що газифікуються, (ЛГМ), оскільки цей процес дозволяє недорого за вартістю (особливо

дрібними серіями для будівництва конкретної споруди) виготовляти металеві вироби. Для ЛГМ-процесу під науковим керівництвом проф. О.Й. Шинського уже тривалий час в інституті ФТІМС НАН України застосовуються 3D-технології для виготовлення ливарних моделей [3-5].

Разові моделі з пінополістиролу (ППС) для ЛГМ традиційно виготовляють як у прес-формах, так і вирізанням на нескладному верстаті нагрітим ніхромовим дротом, а також нині все частіше - на 3D-фрезерах. Ряд прикладів моделей із ППС, за якими було виготовлено фасонні литі металоконструкції, подібні за розміром до вищепоказаних деталей фундаменту на рис. 1, наведено на рис. 5. А приклади вирізання крупних моделей на 3D-фрезерах показано на рис. 6, що свідчить про значний досвід в освоєнні у ФТІМС НАНУ лиття за ЛГМ-процесом як масивних та крупногабаритних металоконструкцій, так і володіння 3D-технологіями модельного виробництва.



Рисунок 5 – Крупні моделі з ППС, за якими ливарниками ФТІМС НАНУ було виготовлено металопродукцію.



Рисунок 6 – Ливарні разові моделі з ППС, виготовленні у ФТІМС НАНУ за 3D-технологіями.

Висновки

Таким чином, виконано короткий огляд перспективних напрямів розвитку в галузі будівництва металевих, зокрема, мобільних фундаментів. Це сприятиме здешевленню та популяризації таких фундаментів, що можуть стати науково-практичною базою для фундаментобудування, зокрема для модульного будівництва на основі металоконструкцій. На відміну від зварних для болтових конструкцій спрощується монтаж та болтові з'єднання забезпечують можливість демонтажу конструкції з перевезенням на інше місце, що важливо для ангарів, складів, які змінюють локацію. Наведено приклад топологічної оптимізації конструкції мобільного фундаменту та розглянуто конструкцію мобільного фундаменту, що використовує ефект розпору, а також перспективну конструкцію для виготовлення за 3D-технологією. Зазначено про ефективний засіб зниження вартості металоконструкцій – це зменшення витрат металу. Сучасні фундаменти, що представляють єдині масивні конструкції, можуть бути суттєво полегшені завдяки використанню збірних шарнірно-стрижневих систем або суцільних конструкцій з порожнинами, які істотно не впливають на напружено-деформований стан фундаменту. Дослідження проведено такими методами: моделювання, огляд та узагальнення вивчених матеріалів, присвячених проблематиці статті. Значні можливості має застосування литих металоконструкцій, зокрема виготовлених способом лиття за моделями, що газифікуються. Наведено приклади з досвіду лиття крупних конструкцій. При цьому будівництво із застосуванням металоконструкцій має всі передумови стати ефективним рішенням в будівельній галузі, що сприятиме відбудові нашої країни, яка отримує метал із власних руд і здатна перевести його у високотехнологічний наукомісткий товар, зокрема у вигляді будівельних металевих конструкцій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дорошенко В.С., Янченко О.Б. Передумови виробництва вузлів-конекторів будівельних металоконструкцій ливарним способом за разовими моделями. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2022. Том 32. № 1. С. 14-20.
2. Виноградов Н.А., Преснов О.М., Назаров Р.О., Бадасян В.В. Проектирование мобильного фундамента. *Перспективы науки*. 2022. №1. С. 23-26.
3. Дорошенко В.С., Шинский И.О. 3D-технологии при литье по газифицируемым моделям. *Металл и литье Украины*. 2009. № 4-5. С. 30 – 33.
4. Дорошенко В.С. 3D технологии изготовления отливок как примеры аддитивного производства. *Металл и литье Украины*. 2014. № 12. С. 4– 9.
5. Дорошенко В.С. 3D-технологии для формовки и литья. *Литье и металлургия*. 2015. № 3. С. 30-39.

REFERENCES

1. Doroshenko V.S., Yanchenko O.B. (2022). Prerequisites for the production of connector nodes of construction metal structures by casting method according to one-off models. *Suchasni tehnologiyi, materiali i konstrukciyi v budivnictvi*, Vol. 32, no. 1, pp. 14-20 [in Ukrainian].
2. Vinogradov N.A., Presnov O.M., Nazarov R.O., Badasyan V.V. (2022). Mobile foundation design. *Perspektivy nauki*, no. 1, pp. 23-26 [in Russian].
3. Doroshenko V.S., Shinskij I.O. (2009). 3D technologies in the Lost Foam casting process. *Metall i lite Ukrainy*, no. 4-5, pp. 30 – 33 [in Russian].
4. Doroshenko V.S. (2014). 3D casting technologies as examples of additive manufacturing. *Metall i lite Ukrainy*, no. 12, pp. 4 – 9 [in Russian].
5. Doroshenko V.S. (2015). 3D technologies for molding and casting. *Lite i metallurgiya*, no. 3, pp. 30-39 [in Russian].

Дорошенко Володимир Степанович – д-р техн. наук, провідний науковий співробітник відділу фізико-хімії ливарних процесів, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (м. Київ), e-mail: doro55v@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0070-5663.

Янченко Олександр Борисович – кандидат техн. наук / Ph.D., доцент, кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: 1961yab@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3888-3772.

V. Doroshenko¹
O. Yanchenko²

DESIGN OF METAL STRUCTURES OF MOBILE FOUNDATIONS AND FOUNDRY TECHNOLOGY FOR THEIR PRODUCTION

¹Physical and Technical Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv
²Vinnitsia National Technical University

A short overview of promising directions of development in the field of construction of metal, in particular, mobile foundations, was made. This will contribute to the cheapening and popularization of such foundations, which can become a scientific and practical basis for foundation construction, in particular for modular construction based on metal structures. Unlike welded for bolted structures, installation is simplified and bolted connections provide the possibility of disassembling the structure with transportation to another place, which is important for hangars, warehouses that change location. An example of topological optimization of a mobile foundation design is given, and a mobile foundation design that uses the strut effect is considered, as well as a promising design for manufacturing using 3D technology. It was noted that an effective means of reducing the cost of metal structures is the reduction of metal consumption. Modern foundations, which are single massive structures, can be significantly lightened thanks to the use of prefabricated hinge-rod systems or solid cast metal structures with cavities, which do not significantly affect the stress-strain state of the foundation. Applied research methods: modeling, review and generalization of the studied materials, devoted to the issues of the article. The application of cast metal constructions, in particular those made by Lost Foam casting process, has significant opportunities. Examples of modeling of large castings and manufactured models using 3D technologies from the experience of foundry practice of PTIMA of the National Academy of Sciences are given. Construction using metal structures has all the prerequisites to become an effective solution in the construction industry, which will contribute to the reconstruction of our country, which receives metal from its own ores and is able to convert it into a high-tech, knowledge-intensive product, in particular in the form of lightweight construction metal structures.

Keywords: 3D technologies; metal foundation; modular construction; mobile foundation; topological optimization; construction metal structures; Lost Foam casting.

Doroshenko Volodymyr – Dr. Sci. (Engin.), Leading Researcher, Department of Physical Chemistry of Foundry Processes, Physical and Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv), e-mail: doro55v@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0070-5663.

Yanchenko Olexander – PhD (Engin.), Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Vinnitsia National Technical University, e-mail: 1961yab@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3888-3772.

А. С. Моргун
І. М. Меть
Чен Яньмей
А. В. Колесник

ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСУЧОЇ СПРОМОЖНОСТІ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА ЗА ЧИСЛОВИМ МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Вінницький національний технічний університет

Будівництво – одна із провідних галузей народного господарства в історичному аспекті його розвитку. Першою задачею проектування є визначення міцності будівельних конструкцій. Тому дослідження напружено-деформованого стану та пов'язані з ним розрахунки найбільш відповідальні в будівництві. Вивчення механіки ґрунтів та техніки фундаментобудування має за мету розрахунок та конструювання споруд на ґрунтах чи в ґрунтах. Основною задачею при цьому є будівництво споруд з достатньою ступеню надійності.

Головною проблемою механіки ґрунтів і натепер залишається вибір адекватної теоретичної моделі. Дійсно, деформування дисперсного гранульованого матеріалу ґрунту проходить при взаємному проковзуванні зерен, реологія ґрунту складна, про це свідчить великий експериментальний матеріал. Сьогодні шлях розвитку механіки ґрунтів пов'язаний з дослідженням задач в рамках пружно-пластичної дилатансійної моделі та вдосконалення цієї моделі на основі експериментів.

Математична модель технічного об'єкта на мікрорівні – система диференціальних рівнянь в частинних похідних, точне рішення якої отримати можна лише в небагатьох часткових випадках, тому будується дискретна модель з застосуванням числових методів, які використовують ідею Пуассона, що поведінку складної моделі можна подати поведінкою її окремих складових елементів. Інтенсивний розвиток та широке застосування ЕОМ суттєво наблизило фундаментальні математичні проблеми до прикладних, посилило їх взаємовплив.

Поява нового, потужного та загального методу дослідження – числового експерименту, як ніколи раніше тісно пов'язала фізичний зміст задачі, її математичне формулювання, числові методи розрахунку та сучасні ЕОМ. В роботі використано числовий метод граничних елементів. Перспективним шляхом розвитку основ та фундаментних конструкцій є використання співвідношень теорії пластичної течії, а рівень розвитку механіки ґрунтів суттєво впливає на економічність і надійність прийнятих рішень.

Ключові слова: підсилення фундаментів, напружено-деформований стан, несуча спроможність, числовий метод граничних елементів.

Вступ

Задача проектування основ і фундаментів висотних споруд є однією із самих складних задач у всьому комплексі проектування споруди. В роботі спрогнозовано за числовим методом граничних елементів поведінку під навантаженням матеріалу, що не опирається розтягу (ґрунту), в якому при навантаженні здійснюється перерозподіл напружень з більш навантажених ділянок на менш навантажені, і тому метод розв'язку задач деформативності ґрунту аналогічний методу рішення задач теорії пластичності.

Геотехніка знаходиться на шляху інтенсивного розвитку – широке застосування числових методів, заснованих на пружно-пластичних моделях, удосконалення нелінійних методів розрахунку дозволяє більш достовірно оцінювати несучу здатність ґрунтів та підняти навантаження на основу, тобто проектувати більш економічні фундаменти.

Реальні задачі геомеханіки моделюються диференціальними рівняннями в частинних похідних і зводяться до класу крайових задач, аналітичне рішення яких отримати практично неможливо. Виходом з положення є залучення числових методів та ЕОМ.

Створення нового розрахункового апарату з прогнозу деформацій основ і фундаментів є важливою та актуальною задачею. Проведено числове дослідження та розв'язана прикладна задача по визначенню несучої спроможності плитного фундаменту.

Визначальні співвідношення

Числовий МГЕ потребує використання ЕОМ і, що є загальним для сучасних наближених числових методів, зводить розрахункові рівняння до розв'язків СЛАР високих порядків.

Запис системи 15 диференціальних розрахункових рівнянь в узгодженнях про підсумовування Ейнштейна має наступний вигляд [1, 2]:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ij,j} + b_j &= 0 \\ \varepsilon_{ij} &= \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \\ \sigma_{ij} &= C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \end{aligned} \right\} \Rightarrow C_{ij}(\xi) u_j(\xi) + \int_{\Gamma} p_{ij}^*(\xi, x) u_j(x) d\Gamma(x) = \int_{\Gamma} u_{ij}^*(\xi, x) p_j(x) d\Gamma(x), \quad (1)$$

де $\sigma_{ij,j} + b_j = 0$ – статичні рівняння рівноваги (теорія напружень заснована на вимогах рівноваги);

$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i})$ геометричні рівняння (вивчення деформацій являє собою по суті геометричний напрям аналізу, відомий під назвою теорія деформацій);

$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}$ – фізичні рівняння середовища (фізичні рівняння являють математичну ідеалізацію механізму поведінки матеріалу).

В рівнянні (1):

u – заданий вектор переміщень на контактні границі фундаментної конструкції;

p – шуканий вектор напружень на границі;

u^* , p^* – ядра граничного рівняння [1] чи функції впливу МГЕ, це двоточкові функції, їх компоненти – переміщення та напруження довільної точки поля в напрямку «і» (точка нагляду) від сили $P = 1$, прикладеної в «j» –му напрямку (джерелі) – прийнято рішення Р. Міндліна для переміщень та напружень, що відповідають одиничним взбуджуючим впливам ($P=1$) в півпросторі. Ядра інтегрального рівняння характеризують собою досліджуване середовище. Саме рішення Р. Міндліна тотожно задовольняють граничним умовам на границі (рівність нулю напружень на границі півпростору) і значно понижують об’єм обчислювальних робіт, необхідний для рішення задачі;

C_{ij} – постійна, визначається із умов руху тіла як цілого, з’являється при переводі крайової задачі до інтегрального рівняння (1) для отримання єдиного рішення.; Γ , ξ , x , Ω – відповідно гранична поверхня фундаментної конструкції, точка збурення, точка нагляду та границя трикутних осередків активної зони ґрунту [1, 2].

Незворотнє деформування ґрунту (дилатансія та контрактансія ґрунту) описувалась неасоційованим законом пластичної течії

$$d\varepsilon_{ij}^p = d\lambda \frac{dF}{d\sigma_{ij}}, \quad F \neq f \quad (2)$$

та дилатансійними співвідношеннями Ніколаєвського - І. П. Бойка [3, 5].

$$d\varepsilon_{ij}^e = d\varepsilon_{шарове}^p + d\varepsilon_{девіаторне}^p, \quad d\varepsilon_{шарове}^p = \lambda(x) d\gamma^p, \quad (3)$$

де $d\gamma^p$ – скалярна характеристика формозміни, другий інваріант девіатора деформацій $I_2(D_\varepsilon)$; $\lambda(x)$ – коефіцієнт дилатансії.

$$d\varepsilon_{девіаторне}^p = D_{ij} d\lambda \quad (4)$$

де D_{ij} – девіатор напруг; $d\lambda$ – скалярний коефіцієнт простого навантаження.

В якості критерія переходу роботи ґрунту в пластичний стан (граничний напружений стан) використано умову Мізеса-Шлейхера-Боткіна, яка в просторі головних напружень подається поверхнею із конічної частини та циліндричної частини (циліндр Мізеса) [3]. Для розв’язку розрахункового рівняння (1) в роботі використано метод пружних рішень О. А. Ільюшина [5].

Урахування в моделі пластичної поведінки ґрунту під навантаженням дало можливість встановити характерні закономірності перерозподілу зусиль в процесі взаємодії плитного фундаменту з основами за МГЕ.

Рішення граничних задач подаються, як витікаючі із принципів взаємності (теореми Бетті).

Фундаментальні рішення Р. Міндліна (u^* , p^*) і є тим одиничним універсальним допоміжним станом принципу взаємності Бетті. Кожний інтеграл в рівнянні (1) являє собою роботу узагальненої сили одного стану на відповідних їм переміщеннях другого стану.

Числова реалізація розрахункового інтегрального рівняння МГЕ (1) для розв’язку задачі про несучу

спроможність пальового фундаменту передбачає виконання наступних основних етапів:

а) границя плитного фундаменту (бокова поверхня і низ) розбивались на ряд постійних граничних елементів (ГЕ), на яких задавались переміщення;

б) для кожного граничного елемента визначались коефіцієнти матриці впливу МГЕ з використанням фундаментальних рішень Р. Міндліна для півплощини [1] та формувалась глобальна матриця впливу і вектор-стовбець вільних членів, які приймаються з граничних умов задачі;

в) визначаються невідомі контактні напруження по бокові поверхні та під низом плитного фундаменту шляхом розв'язку скомпонованої системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР);

г) шляхом інтегрування знайдених величин напружень знаходиться несуча спроможність плитного фундаменту при заданому осіданні.

При розв'язанні задачі прийнято наступні вихідні положення:

1 – ґрунт до появи границі текучості рахується лінійно-деформованим тілом;

2 – навантаження передається ґрунту по бокові поверхні і в площині низу плитного фундаменту;

3 – границя активної зони знаходиться на глибині, де напруження від фундаменту не викликають залишкових деформацій ґрунту.

Конструктивне призначення фундаменту складається з того, щоб акумулювати всі навантаження від будівлі і передати їх на ґрунти основи. Звідси витікає, що при визначенні габаритних параметрів фундаменту (глибина закладання, висота, розміри подошви) мають враховуватись фізичні і механічні властивості ґрунтів основи.

В якості фундаментної конструкції, що зв'язує будівельний об'єкт і ґрунтову основу взято горизонтальний несучий елемент – плиту $H=0,7$ м.



Рисунок 1 – Фасад будівельного об'єкту

Оскільки несуча здатність фундаментної конструкції зумовлюється ґрунтовими умовами а не конструктивним рішенням будівлі, розроблена пружно-пластична математична модель враховує 8 фізико-механічних характеристик ґрунтової основи та дозволяє в рамках однієї розрахункової схеми об'єднати розрахунки за двома групами граничних станів – по несучі спроможності та деформаціях.

В якості межі переходу ґрунту до пластичної стадії роботи використано критерій Мізеса-Шлейхера-Боткіна [3], який в просторі головних напружень описується поверхнею, що складається із конічної і циліндричної частин, та неасоційований закон пластичної течії [3, 2].

Для розв'язку поставленої задачі використано покроковий метод пружних рішень Ільющина О. А. [5] – на кожному кроці наближення розв'язується пружна задача. Метод пружних рішень широко використовується для розв'язку різних прикладних задач теорії малих пружно-пластичних деформацій. Зазвичай достатньо декілька наближень щоб отримати достатню для цілей практики точність.

Прикладання числового МГЕ до розв'язків задач геомеханіки проілюстровано даними числового розрахунку.

Рішення будівельних задач пов'язано з необхідністю визначення фізико-механічних характеристик ґрунту. Особливістю цих показників ґрунту є їх прямиий зв'язок з технічними властивостями ґрунту, з його несучою спроможністю, так, як сучасні проекти фундаментів базуються виключно на цьому зв'язку. До вхідних параметрів моделі, які характеризують геологічну ситуацію основи будівельного майданчика та процес деформування ґрунтового середовища в роботі прийнято середньозважені фізико-механічні характеристики різновидів неспрощених суглинків та глин:

$$E=16900 \text{ КПа}, \nu=0.38, c=38.42 \text{ КПа}, \varphi=0.32 \text{ радіан}, \rho=1.894 \text{ т/м}^3,$$

$$\rho_{\min} = 1.818 \text{ т/м}^3, \rho_{\max} = 2.03 \text{ т/м}^3, P_0=1790 \text{ КПа. min}$$

Контактна з ґрунтом границя плитного фундаменту дискретизувалась прямолінійними граничними елементами (ГЕ). Активна зона оточуючої плитний фундамент ґрунтової основи (рис.2) дискретизувалась трикутними осередками.

На рис. 3 наведено отриманий графік навантаження – осідання згідно числових дослідження за МГЕ процесу деформування плитного фундаменту під навантаженням.

З метою відпрацювання параметрів алгоритму та оцінки похибок результати числового дослідження порівняно з експериментом.

Експериментальні дослідження зафіксували величину осідання фундаментної плити $S=5,8$ см при вазі споруди 11000 кН, дані числового моделювання за МГЕ склали $S=5,73$ см.

Результати прогнозування за методом граничних елементів подано на графіках навантаження-осідання плитного фундаменту, рис. 3. Вірність вибору розрахункової дилатансійної моделі підтверджується відповідністю числових досліджень експерименту.

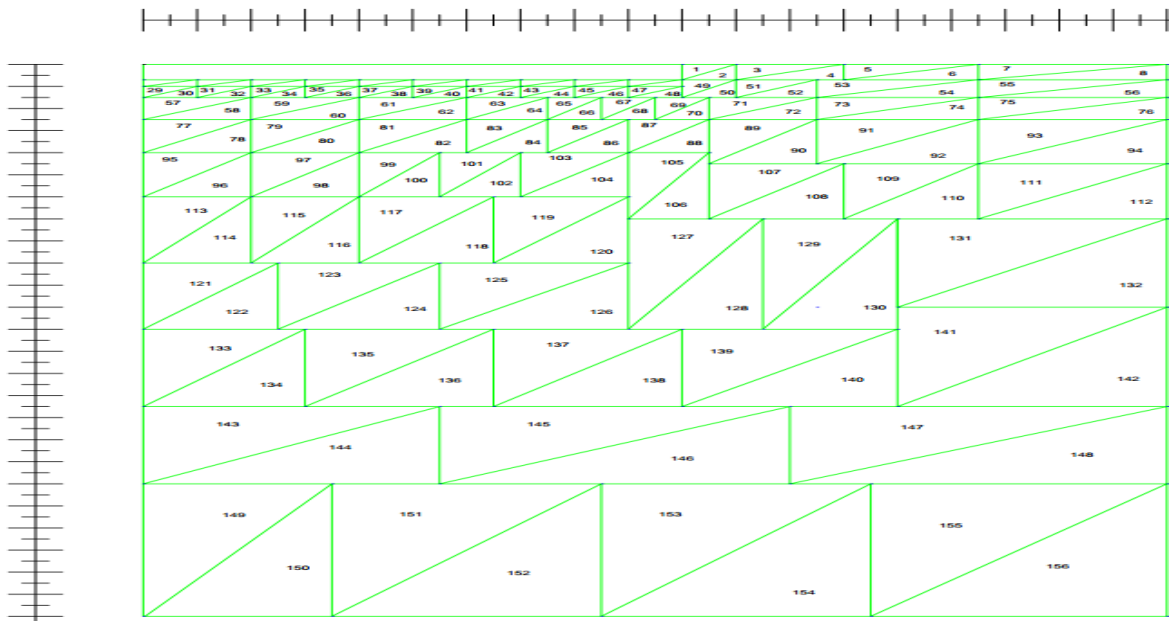


Рисунок 2 – Дискретизація активної зони навколо плитної основи

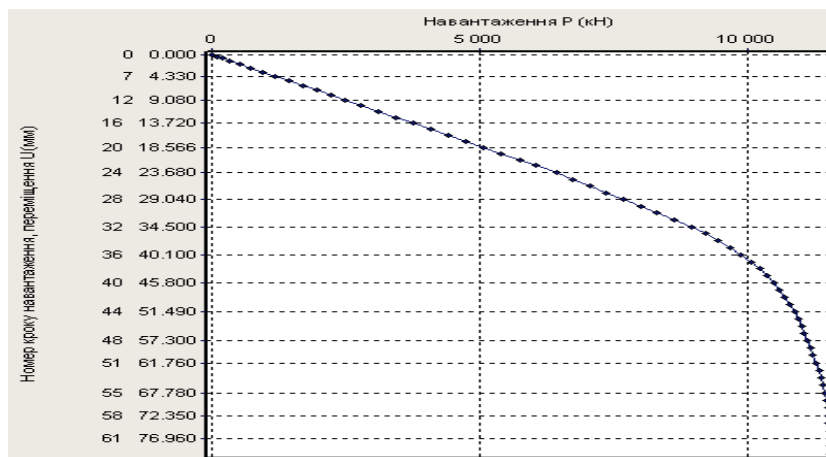


Рисунок 3 – Результати прогнозування за МГЕ поведінки під навантаженням плитного фундаменту споруди $H=0.7$ м.

Висновки

- Плитні фундаменти в умовах передачі на ґрунтову основу великих тисків є одним із найбільш ефективних видів фундаментних конструкцій, які забезпечують рівномірність осідання споруди.
- Програмні комплекси дозволяють отримувати ресурсозберігаючі проектні рішення та достовірність осідання, що підтверджено застосуванням числового методу граничних елементів.
- Приведені числові розв’язки мають як науковий, так і прикладний характер.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бреббиа К., Теллес Ж., Вробел Л. Методы граничных элементов. М.: Мир, 1987.
2. Morgun A.S. Теорія пластичної течії в механіці ґрунтів./А.С. Морґун – Вінниця, ВНТУ. – 2013 – 108 С.
3. Бойко И.П. Теоретические основы проектирования свайных фундаментов на упругопластическом основании / И.П. Бойко, Сб. КИСИ “Основания и фундаменты”. – 1985 – №18, С 11-18.
4. Николаевский В.Н. Современные проблемы механики грунтов // Определяющие механики грунтов // В.Н. Николаевский – М.: Стройиздат. 1975 г. – С. 210-227.
5. Иллюшин А.А.. Пластичность.М.: Гостехиздат. 1947.

REFERENCES

1. Brebbia K., Telles Zh., Vroubel L. Methods of boundary elements. Moscow: Mir, 1987.
2. Morgun A.S. The theory of plastic flow in soil mechanics./A.S. Morgun - Vinnytsia, VNTU. – 2013 – 108 p.
3. Boyko I.P. Theoretical foundations of the design of pile foundations on elastic-plastic foundations / I.P. Boyko, Sat. KISI "Foundations and Foundations". - 1985 - No. 18, P. 11-18.
4. Nikolaevsky V.N. Modern soil mechanics problems // Defining soil mechanics // V.N. Nikolaevskiy - M.: Stroyizdat. 1975 - pp. 210-227.
5. Ilyushin A.A. Plasticity. M.: Gostekhizdat. 1947.

Морґун Алла Серафимівна – професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: morgunallaS@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-4701-339X>

Мет Іван Миколайович – декан ФБЦЕІ; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vanmet@ukr.net

Чен Яньмей – магістр кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: 1058523239@qq.com

Колесник Андрій Вікторович – аспірант Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця.

A. Morgun
I. Met
Cheng Yanmei
A. Kolesnyk

PREDICTION OF THE BEARING CAPACITY OF A SLAB FOUNDATION BY THE NUMERICAL METHOD OF BOUNDARY ELEMENTS

Vinnytsia National Technical University

Construction is one of the leading branches of the national economy in the historical aspect of its development. The first design task is to determine the strength of building structures. Therefore, the study of the stress-strain state and related calculations are the most important in construction. The purpose of studying soil mechanics and foundation construction techniques is the calculation and construction of structures on or in soil. The main task is the construction of structures with a sufficient degree of reliability.

The selection of an adequate theoretical model remains the main problem of soil mechanics. Indeed, the deformation of the dispersed granular material of the soil takes place during the mutual sliding of the grains, the rheology of the soil is complex, as evidenced by a large amount of experimental material. Today, the path of development of soil mechanics is related to the study of problems within the framework of the elastic-plastic dilatation model and the improvement of this model based on experiments. A mathematical model of a technical object at the micro level is a system of differential equations in partial derivatives, the exact solution of which can be obtained only in a few partial cases, therefore a discrete model is built using numerical methods that use the Poisson idea that the behavior of a complex model can be represented by the behavior of its individual component elements. The intensive development and widespread use of computers significantly brought fundamental mathematical problems closer to applied ones, and strengthened their mutual influence.

The emergence of a new, powerful and general method of research - a numerical experiment, more than ever before closely connected the physical content of the problem, its mathematical formulation, numerical methods of calculation and modern computers. The work uses the numerical method of boundary elements. A promising way to develop foundations and foundation structures is to use the ratios of the theory of plastic flow, and the level of development of soil mechanics significantly affects the economy and reliability of the decisions made.

Key words: reinforcement of foundations, stress-strain state, bearing capacity, numerical method of boundary elements.

Morgun Alla – Professor of the Department of Construction, Municipal Economy and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: morgunallaS@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-4701-339X>

Met Ivan – Dean of FBCEI; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vanmet@ukr.net

Cheng Yanmei – Master of the Department of Construction, Urban Management and Architecture; Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: 1058523239@qq.com

Kolesnyk Andryi – Postgraduate of Vinnytsia National Technical University, e-mail: andreyenginer@gmail.com

ТЕХНОЛОГІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 69.022.32

DOI 10.31649/2311-1429-2023-1-84-90

І. М. Бабій¹Л. В. Кучеренко²МОДЕЛЮВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ФАКТОРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ
ПРОЄКТУ УТЕПЛЕННЯ ФАСАДІВ З ОБЛИЦЮВАННЯМ
ШТУКАТУРКАМИ¹Одеська державна академія будівництва і архітектури²Вінницький національний технічний університет

У результаті досліджень встановлено, що в будівельній галузі для утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій найбільшого поширення знайшли системи скріпленої теплоізоляції та навісні вентилязовані фасади. Визначено, що техніко-економічні показники проекту утеплення фасадів будинків можливо контролювати та оптимізувати за допомогою попереднього моделювання організаційно-технологічних рішень. Були визначені значущі організаційно-технологічні чинники, які мають вплив на техніко-економічні показники проекту. Виявлена залежність зміни показників тривалості будівельно-монтажних робіт з утеплення, їх вартості та інтенсивності фінансування при варіюванні значущих чинників. Визначена залежність зміни вартості проекту з утеплення фасадів методом скріпленої теплоізоляції від використання різних засобів підмоцнення. На підставі ЕС-моделювання досліджено залежності зміни вартості проекту при використанні різних технологічних методів і варіантів організаційних рішень з утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель з оздобленням штукатурками.

Ключові слова: термомодернізація, інтенсивність фінансування, моделювання, утеплення фасадів, засоби підмоцнення.

Вступ

Нині енерго- і ресурсозберігаючі технології у будівництві є перспективними напрямками, тому що спостерігається тенденція збільшення цін на невідновлювані енергоресурси [1]. Необхідно відзначити, що у балансі світового споживання енергії до 40 % йде на будівлі та споруди, звідки до 50% енергії витрачається на підтримку кліматичних умов у приміщеннях, придатних для життєдіяльності людини. Як наслідок, завдання ефективного енергоспоживання будівель та споруд протягом багатьох років залишаються ключовими. В умовах зростання цін на енергоносії теплоізоляція фасадів будівель є одним з ефективних рішень зниження тепловтрат.

Актуальність та аналіз останніх досліджень і публікацій

Актуальність обраної теми зумовлена необхідністю виконання значного обсягу теплоізоляції фасадів під час будівництва та термомодернізації будівель [2-6]. Саме при великих обсягах робіт особливо необхідно керувати інтенсивністю фінансування та знижувати вартість виконання робіт з утеплення. Слід зазначити, що у нинішніх умовах процес утеплення та організації термомодернізації має хаотичний характер, що, зрештою, позначається на економічних показниках проекту утеплення [7-9]. В умовах нестабільної економічної ситуації існує гостра необхідність оперативного коригування вартості як самих робіт з утеплення, так і всього проекту в цілому. Останнім часом представляється цікавим та необхідним передпроектне моделювання організаційних та технологічних рішень з метою зменшення вартості виробництва будівельно-монтажних робіт [10].

Організація процесу також залежить від багатьох факторів, і може істотно відрізнятись, залежно від цілей, що переслідуються. Багатоваріантність процесу термомодернізації фасадів будівель породжує необхідність досліджень у цій сфері для виявлення можливих областей оптимізації для скорочення термінів та вартості будівельно-монтажних робіт [11,12]. Одним із варіантів вирішення цього завдання є моделювання процесів проведення утеплення та термомодернізації фасадів будинків для мінімізації вартості проекту та прийняття відповідної інтенсивності фінансування з допомогою експериментально-статистичного моделювання (ЕСМ) [13-15].

Також у нашій країні спостерігається недостатність фінансування проектів із термомодернізації. Для досягнення поставлених цілей, а саме зменшення термінів і вартості та встановлення прийнятної для замовника та підрядника інтенсивності фінансування проекту утеплення необхідні грамотна організація проведення робіт та можливість управління змінами у проекті на будь-якій стадії його

реалізації.

Для будь-якої задачі організації та управління будівельним виробництвом характерна множинність її рішень. Крім того, постійне ускладнення техніки та технології будівельного виробництва та пов'язане з ним ускладнення процесу управління, роблять вибір оптимального, конкурентоспроможного рішення надзвичайно важким.

Вихід із цього положення при вирішенні багатьох проблем організації та управління будівельним виробництвом полягає у застосуванні різних моделей [13] в основних сферах та ланках управління будівництвом, що у свою чергу відображується на економічній складовій проекту.

Постановка задач та формування мети статті.

Робота присвячена визначенню раціональних техніко-економічних показників проекту утеплення фасадів з облицюванням штукатурками за рахунок моделювання організаційно-технологічних факторів.

Задачами дослідження є вибір факторів та рівнів варіювання, дослідження впливу організаційно-технологічних факторів на тривалість, вартість та інтенсивність фінансування проекту утеплення фасадів.

Результати досліджень.

При інтерпретації результатів моделювання виходили з постулатів техніко-економічної ефективності будівельно-монтажних робіт. При цьому вивчався вплив організаційно-технологічних факторів при влаштуванні систем теплоізоляції з оздобленням штукатурками на техніко-економічні показники проекту утеплення фасадів будівель.

Основними з них, які були прийняті в дослідженнях з використанням експериментально-статистичного моделювання (ЕСМ), є загальна вартість і тривалість робіт. При цьому можна виділити із загальної вартості робіт такий показник, як інтенсивність фінансування, який в ринкових умовах, які різко змінюються набуває все більший вплив на процес виконання будівельно-монтажних робіт (БМР). Критеріями, за якими в подальшому будуть запропоновані і інтерпретовані результати є мінімізація витрат і тривалості будівництва, а також оптимальна інтенсивність фінансування в певний період БМР. Планування і реалізація п'ятифакторного експерименту здійснювалася з прив'язкою до об'єкта досліджень, а саме елітного житлового комплексу. Площа утеплення складала 8558 м².

В дослідженнях використовувалися п'ятифакторні діаграми типу «трикутники на квадраті». Для такого типу досліджень прийнята матриця сумішевого плану «трикутники на квадраті» з відгуками, що представлені в табл. 1.

Таблиця 1.

Матриця сумішевого плану «трикутники на квадраті» з відгуками

Номери точок плану	Рівні кодованих змінних					Значення натуральних змінних				
	взаємопов'язаних			технологічних		взаємопов'язаних, відсоток використання			Технологічних, кількість	
	v_1	v_2	v_3	X_4	X_5	Пром. альп, %	Будівельні колиски, %	Інвентарні риштування, %	Бригади, кіл-ть	Кіл-ть роб.дн. в тижд.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	0	0	-	-	100	-	-	1	4
2	0	1	0	-	-	-	100	-	1	4
3	0	0	1	-	-	-	-	100	1	4
4	0,5	0,5	0	-	0	50	50	-	1	5
5	0	1	0	-	+	-	100	-	1	6
6	0,5	0	0,5	-	+	50	-	50	1	6
7	1	0	0	0	+	100	-	-	2	6
8	0	0	1	0	+	-	-	100	2	6
9	0,5	0	0,5	0	0	50	-	50	2	5
10	0,33	0,33	0,33	0	+	33,3	33,3	33,3	2	6

Продовження табл. 1										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
11	0	0	1	+	0	-	-	100	3	5
12	0	1	0	+	-	-	100	-	3	4
13	1	0	0	+	-	100	-	-	3	4
14	0	0,5	0,5	+	0	-	50	50	3	5
15	0,5	0,5	0	+	0	50	50	-	3	5
Перевірочні точки плану										
16	0	1	0	+	+	-	100	-	3	6
17	0,33	0,33	0,333	-	-	33,3	33,3	33,3	1	4

Обробка та аналіз результатів, а також вибір ефективних моделей організаційно-технологічних рішень щодо утеплення фасадів виконувались з використанням методів експериментально-статистичного моделювання (ЕС-моделювання) у програмі COMPEX, теорії математичної статистики, а також якісного, кількісного та порівняльного аналізу [14].

Такі діаграми дозволяють вибрати найбільш ефективне співвідношення використання різних засобів підпошування при виробництві висотних робіт з улаштування систем зовнішньої скріпленої теплоізоляції на фасаді об'єкта, що будується. Для інтерпретації тернарних діаграм слід використовувати легенду, що зображена на рис.1.



Рисунок 1 – Тернарний графік суміщення засобів підмошування у процентному співвідношенні

Розподіл рівня якості в просторі факторів технології та організації може розглядатися як організаційно-технологічне поле властивості в області Ω_x . Область Ω_x є, в нашому випадку, квадрат нормалізованих факторів x_4 ; x_5 ; причому $|x_i| \leq 1$, до яких за стандартними формулами нормуються симплекси взаємопов'язаних змінних v_i .

Розглянемо вплив організаційно-технологічних факторів, таких як ступінь суміщення засобів підмошування: v_1 (використання промислового альпінізму), v_2 (використання будівельних колісок), v_3 (використання риштувань) та кількість робочих днів в тиждень (x_4) і кількість бригад (x_5) на техніко-економічні показники.

Вплив організаційно-технологічних факторів на тривалість утеплення фасадів. В результаті виконання експериментально-статистичного моделювання для п'ятнадцяти різних організаційних схем та двох перевірок схем (табл.1) в області факторного простору Ω_x була отримана модель (1) ($Ts_3 = 2.918$), що описує вплив організаційних чинників на тривалість виконання будівельно-монтажних робіт при утепленні житлового будинку.

$$Y_{TP} = 168,3v_1 \pm 0v_1v_2 - 112,6v_1x_4 - 42,44v_1x_5 + 54,2x_4^2 + 25,3x_4x_5 + 161,5v_2 \pm 0v_1v_3 - 111,01v_2x_4 - 43,613v_2x_5 + 13,08x_5^2 + 175,69v_3 \pm 0v_2v_3 - 114,603v_3x_4 - 46,406v_3x_5 \quad (1)$$

В рамках розрахунку функція досягає екстремумів в наступних точках:

$$Y_{min} = [91 \text{ дн. } (V_1=0; V_2=1; V_3=0; X_4=+1; X_5=+1);$$

$$Y_{max} = [430 \text{ дн. } (V_1=0; V_2=0; V_3=1; X_4=-1; X_5=-1).]$$

З результату розрахунку видно, що відносне відхилення $DELTA$ становить в середньому 0,002, що зумовлює малу помилку експерименту $Ne = 1,7737$. Це, в свою чергу, передбачає виконання досліджень з досить великою точністю вимірювань.

Тривалість утеплення елітного житлового будинку – кількість календарного часу від початку першої роботи до закінчення останньої, з урахуванням прийнятої технологічної та організаційної схем

виконання робіт.

Інтерпретація результатів моделювання (модель 1), показала наступне. Характер впливу технологічних факторів на досліджуваний показник змінюється в залежності від рівня ступеня суміщення робіт (при його зменшенні тривалість утеплення збільшується).

Для досягнення мінімальних значень показника «тривалість робіт» слід використовувати технологічну схему використання будівельних колісок. На відміну від технологічних схем з використанням риштувань і промислового альпінізму, вона має більш високу управлінську гнучкість, тобто можливе використання максимально допустимого поєднання робіт, що не прийнятне при технології з використанням риштувань. При використанні методу промислового альпінізму тривалість виконання робіт з утеплення зростає, що тягне за собою додаткові витрати на БМР. Тому необхідний результат за показником «тривалість» досягається при виконанні робіт з будівельних колісок, тобто 0% суміщення робіт утеплення з різних схем підмоцнування, а саме 100% використання будівельних колісок при організації робіт в 6 робочих днів і кількості бригад 3. Слід врахувати, що, як зазначалося раніше, бригада складається з 25 робочих різних спеціальностей. При цьому ЕС-моделювання показало можливість використання 70 осіб, замість 75. Значення показника «тривалість робіт» при цьому становитиме – 91 день.

Вплив організаційно-технологічних факторів на загальну вартість утеплення фасадів. В результаті виконання експериментально-статистичного моделювання в області факторного простору Ω_x була отримана модель (2) ($T_{s3} = 2.918$), що описує вплив організаційних чинників на вартість виконання будівельно-монтажних робіт при утепленні житлового будинку.

$$Y_{ст} = 1,303v_1 + 0,004v_1v_2 \pm 0v_1x_4 - 0,002v_1x_5 \pm 0x_4^2 \pm 0x_4x_5 + \quad (2)$$

$$+1,302v_2 + 0,006v_1v_3 \pm 0v_2x_4 \pm 0v_2x_5 \pm 0x_5^2 +$$

$$+1,425v_3 \pm 0v_2v_3 \pm 0v_3x_4 + 0,001v_3x_5$$

Графічне відображення моделі (2) показано на рисунку 2.

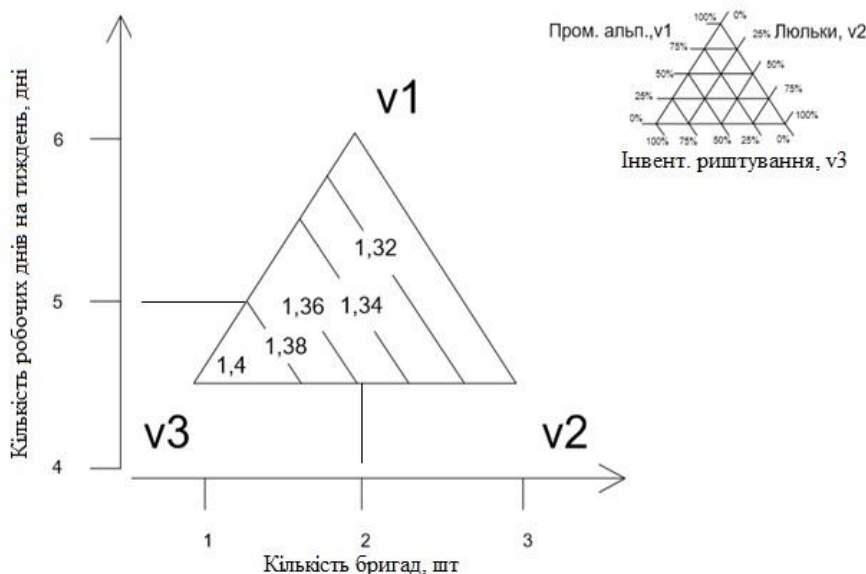


Рисунок 2 – Вплив організаційно-технологічних факторів на вартість проекту утеплення фасадів будівлі «мокрим» способом при кількості бригад 2 шт та кількості робочих днів 5 днів

Як показали результати дослідження, при визначенні впливу досліджуваних факторів на загальну вартість виконання робіт з утеплення було встановлено наступне. Загальна вартість виконання робіт не залежить від кількості бригад і кількості робочих днів в тиждень, в разі якщо визначена загальна кошторисна вартість будівництва і при цьому не передбачено ніякої зміни витрат на подорожчання матеріалів і т.і. при змінній фінансовій ситуації.

У той же час необхідно відзначити, що в даному випадку основний вплив на загальну вартість – вибір засобів підмоцнування, що чітко видно на рис.2. Так мінімальною вартістю виконання робіт будуть характеризуватися технологічні операції по утепленню в разі використання для даного конкретного об'єкта промислового альпінізму та робіт з люльок в співвідношенні $v_1 : v_2 = 50:50$. При цьому вартість робіт складе на заданий обсяг 1,3 млн. грн. У разі заміни використання люльок на інвентарні ліси відбудеться збільшення вартості на 9,8%, що складе 100 тис. грн. Цікаво відзначити,

що при утепленні фасаду будівлі можливо використовувати метод промислового альпінізму замість будівельних колісок, практично, без подорожчання загальної вартості.

Вплив організаційно-технологічних факторів на інтенсивність фінансування. При дослідженні вартості і тривалості робіт з утеплення фасадів будівлі представляло інтерес вивчити вплив досліджуваних факторів на інтенсивність фінансування.

В результаті виконання експериментально-статистичного моделювання в області факторного простору Ω_x була отримана модель (3) ($T_{S_3} = 2.918$), що описує вплив організаційних чинників на інтенсивність фінансування будівельно-монтажних робіт при утепленні житлового будинку.

$$Y_{\text{інт.ф.}} = 238,45v_1 \pm 0v_1v_2 + 141,998v_1x_4 + 60,922v_1x_5 + 23,97x_4^2 + 50,04x_4x_5 \quad (3) \\ + 197,344v_2 \pm 0v_1v_3 + 101,549v_2x_4 + 66,429v_2x_5 - 12,91x_5^2 \\ + 234,835v_3 + 65,801v_2v_3 + 114,589v_3x_4 + 81,845v_3x_5$$

Розглянемо діаграму залежності показника «інтенсивність фінансування» від чинників для п'ятнадцяти різних організаційних схем, рис.3.

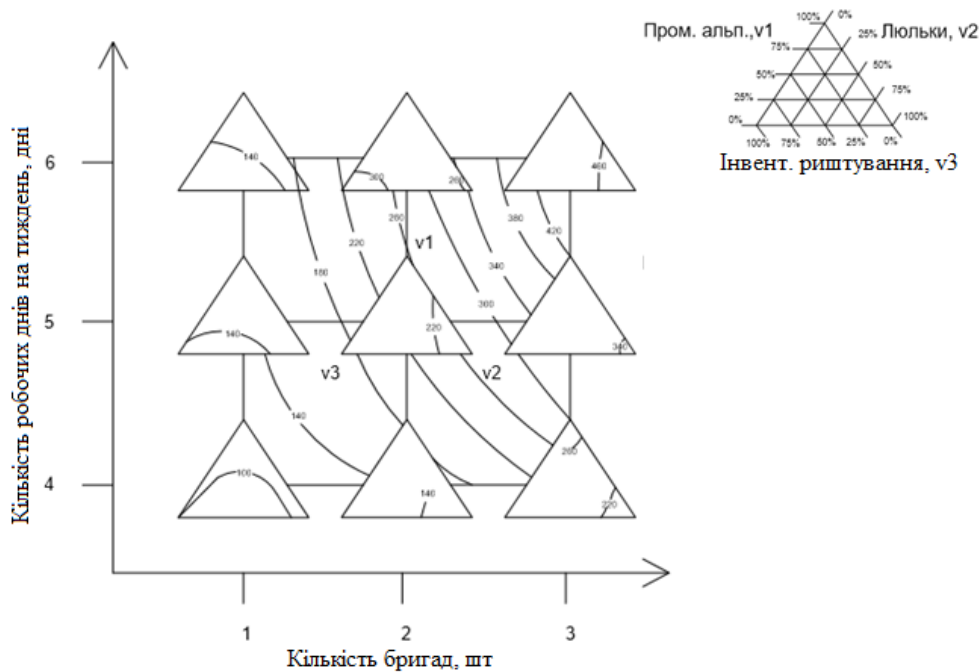


Рисунок 3 – Вплив організаційно-технологічних факторів на інтенсивність фінансування проекту утеплення фасадів будівлі «мокрим» способом

Характер впливу технологічних факторів на показник «інтенсивність фінансування» змінюється в залежності від рівня фактору кількості робочих днів на тиждень. Розглянувши діаграму можна побачити, що найменшу інтенсивність фінансування в 100 тис. грн/місяць має технологія з використанням інвентарних риштувань по відношенню до інших технологічних схем при мінімальній кількості бригад, зайнятих в процесі утеплення. Це пояснюється тим, що при одній бригаді по тривалості виконання робіт подовжуються терміни їх виконання.

Максимальний рівень інтенсивності фінансування проекту з утеплення фасаду досягається при використанні будівельних колісок, максимальним показником кількості бригад і робочих днів на тиждень. Це знайде своє відображення на тривалості робіт.

Цікаво відзначити, що при зменшенні кількості робочих днів в тиждень, інтенсивність фінансування все більше залежить від поєднання використання будівельних колісок і інвентарних риштувань в співвідношенні $v_2 : v_3 = 60:40$. Ця тенденція різко змінюється з ростом кількості бригад.

Висновки

1. Для досягнення мінімальних значень тривалості проекту утеплення слід використовувати технологічну схему виробництва робіт з будівельних колісок, при організації робіт в 6 робочих днів і кількості залучених бригад – 3. ЕС-моделювання показало можливість використання 70 осіб, замість 75. Тривалість робіт при цьому становитиме 91 день.

2. Мінімальна вартість проекту утеплення буде за умови використання для конкретного об'єкта, а

саме елітного житлового комплексу, промислового альпінізму та робіт з будівельних кошиків в співвідношенні $v_1 : v_2 = 50:50$. При цьому вартість робіт складе на заданий об'єм 1,3 млн.грн. У разі заміни використання люльок на інвентарні ліси відбудеться збільшення вартості на 9,8%, що складе 100 тис. грн. Виявлено, що при використанні методу промислового альпінізму замість будівельних кошиків, практично не має збільшення загальної вартості.

3. Максимальний рівень інтенсивності фінансування проекту з утеплення фасаду досягається при використанні будівельних кошиків, максимальним показником кількості бригад і робочих днів на тиждень. Це знайде своє відображення на тривалості робіт. Найменшою інтенсивністю фінансування в 100 тис. грн./ місяць має технологія утеплення з інвентарних риштувань по відношенню до інших технологічних схем, при мінімальній кількості бригад.

4. В результаті проведення ЕСМ для виявлення залежності економічних показників від організаційно-технологічних факторів було встановлено наступне: на вартість проекту утеплення впливають технологічні фактори відсоткового поєднання виконання робіт із різних засобів підмоцуння. У свою чергу, такі організаційні чинники, як тривалість робочого тижня та кількість задіяних бригад на вартість робіт не впливають.

5. Встановлено, що попереднім моделюванням організації технологічних процесів можна керувати інтенсивністю фінансування робіт і навпаки, знаючи необхідну інтенсивність фінансування грамотно підбирати організаційно-технологічні рішення щодо виробництва утеплення фасадів будівель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України "Про енергетичну ефективність будівель" [Електронний ресурс]: за станом на 2 червня 2017 р. / Верховна Рада України.– Офіц. вид.–К.: Відомості Верховної Ради, 2017.–204 с.
2. Ковалко М.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М.П. Ковалко, С.Л. Денисюк // – К.: НАН України, АТ "Енергозбереження", 1998. – 506 с.
3. Чернявський В.В. Теплоізоляційно-опоряджувальні фасадні системи як засіб термомодернізації житлового фонду України / В.В. Чернявський, О.І. Юрін, Г.Г. Фаренюк // Ресурсноекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2008. – Вип. 17.– С. 365 – 372.
4. Нетеса К.М. Вдосконалення та визначення раціональних організаційно-технологічних рішень влаштування фасадних систем багатоповерхових цивільних будівель: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.08 / Дніпро, 2021. –24 с/
5. Ратушняк Г.С. Організаційно-технологічні чинники впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель/ Г. С. Ратушняк Ю. С. Бікс А. О. Лялюк. // Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві". – Вінниця:- ВНТУ. УНІВЕРСУМ , -№2 (33), 2022. – С.203-210.
6. Фаренюк Г. Г., Агеева Г. М. Особенности оценивания энергоэффективности проектов жилых домов // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит . 2010. №5 (75). С.13-17.
7. Менейлюк О.І. Матеріали та технології ізоляційних робіт в будівництві / О.І. Менейлюк, Бабій І.М., Бочорішвілі Г.Д., Бочевар К.І. // Монографія. М 34. Одеса: Видавництво ФОП Бондаренко М.О., 2020. – 492 с.: іл.
8. Дудар І.Н., Кучеренко Л.В., Швець В.В. Енергозбереження в житловому будівництві: навч. посібник. Ч.1. Вінниця: ВНТУ, 2015.- 57с.
9. Бабій І.М. Аналіз факторів, що впливають на терміни утеплення фасадів багатоповерхових будівель/ І.М. Бабій, О.О. Борисов, Л.В. Кучеренко, Н.В. Олійник // Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві". – Вінниця:- ВНТУ. УНІВЕРСУМ , -№2 (31), 2021. – С.32-36.
10. Менейлюк О. І. Вибір ефективних моделей реалізації проектів в умовах мінливої фінансової ситуації / О.І. Менейлюк, І.С. Чернов, Л.В. Лобакова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Харків, 2014 р.– С. 71-75.
11. Бабій І.Н. Влияние различных организационно-технологических схем проекта утепления фасадов на его технико-экономические показатели / И.Н. Бабий, А.И. Каминская-Пинаева // Вісник ОДАБА, Одеса: Атлант, 2016. – Вип. 64. – С. 234-239.
12. Бабій І.М. Оптимізація проекту утеплення будинку системою вентиляований фасад на основі експериментально-статистичного моделювання / І.М. Бабій, А.І. Камінська-Пінаєва // Науково-технічний збірник "Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві", Вінниця, ВНТУ, 2016. – No. 2(21). – С. 25-31.
13. Вовк С.Н. Роль математической теории эксперимента в повышении эффективности инженерных исследований и разработок / С.Н. Вовк, В.А. Вознесенский // Философские проблемы современного естествознания: Респ. междув. науч. сб., К. Изд-во КГУ – 1988. Вып. 66. – С. 120-126.
14. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л.Огарков // К.: Вища школа, 1989. - 328с.
15. Вознесенский В.А. Принятие решений по статистическим моделям / Вознесенский В.А., Ковальчук А.Ф. // М., Статистика, 1978. – 196 с.

REFERENCES

1. Zakon Ukrayiny "Pro enerhetychnu efektyvnist' budivel'" [Elektronnyy resurs]: za stanom na 2 chervnya 2017 r. / Verkhovna Rada Ukrayiny.– Ofits. vyd.–К.: Vidomosti Verkhovnoyi Rady, 2017.–204 s.
2. Kovalko M.P. Enerhozberezhennya – priorytetnyy napryamok derzhavnoyi polityky Ukrayiny / M.P. Kovalko, S.L. Denysyuk // – К.: NAN Ukrayiny, AT "Enerhozberezhennya", 1998. – 506 с.
3. Chernyavs'kyu V.V. Teploizolyatsiyno-oporyadzhual'ni fasadni systemy yak zasib termomodernizatsiyi zhytlovoho fondu

- Ukrayiny / V.V. Chernyavs'kyi, O.I. Yurin, H.H. Farenjuk // Resursnoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. – 2008. – Vyp. 17. – S. 365 – 372.
4. Netesa K.M. Vdoskonalennya ta vyznachennya ratsional'nykh orhanizatsiyno-tekhnologichnykh rishen' vlashtvannya fasadnykh system bahatopoverkhovykh tsyvil'nykh budivel': avtoref. dys... kand. tekhn. nauk: 05.23.08 / Dnipro, 2021. – 24 s / 5. Ratushnyak H.S. Orhanizatsiyno-tekhnologichni chynnyky vplyvu na enerhoefektyvnist' ohorodzhuval'nykh konstruktсий budivel' / H. S. Ratushnyak YU. S. Biks A. O. Lyalyuk. // Mizhnarodnyy naukovy-tekhnichnyy zhurnal "Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi". – Vinnytsya: VNTU. UNIVERSUM, №2 (33), 2022. – S.203-210.
 5. Farenjuk H. H., Aheeva H. M. Osobennosti otsenyvannya enerhoefektyvnosti proektov zhylykh domov // Énerhosberezhenye. Énerhetyka. Énerhoaudyt. 2010. №5 (75). S.13-17.
 6. Menelyuk O.I. Materialy ta tekhnolohiyi izolyatsiynykh robiv v budivnytstvi / O.I. Menelyuk, Babiy I.M., Bochorishvili H.D., Bochevar K.I. // Monohrafiya. M 34. Odesa: Vydavnytstvo FOP Bondarenko M.O., 2020. – 492 s.: il.
 7. Dudar I.N., Kucherenko L.V., Shvets' V.V. Enerhozberezhennya v zhytlovomu budivnytstvi: navch. posibnyk. CH.1. Vinnytsya: VNTU, 2015.- 57s.
 8. Babiy I.M. Analiz faktoriv, shcho vplyvayut' na termyny uteplennya fasadiv bahatopoverkhovykh budivel' / I.M. Babiy, O.O. Borysov, L.V. Kucherenko, N.V. Oliynyk // Mizhnarodnyy naukovy-tekhnichnyy zhurnal "Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi". – Vinnytsya: VNTU. UNIVERSUM, №2 (31), 2021. – S.32-36.
 9. Menelyuk O. I. Vybir efektyvnykh modeley realizatsiyi proektiv v umovakh minlyvoyi finansovoyi situatsiyi / O.I. Menelyuk, I.S. Chernov, L.V. Lobakova // Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPi». Kharkiv, 2014 r.– S. 71-75.
 10. Babiy I.N. Vlyyanye razlychnykh orhanizatsiyno-tekhnologicheskyykh skhem proekta uteplennya fasadov na eho tekhniko-ekonomycheskye pokazately / I.N. Babiy, A.I. Kamynskaya-Pynaeva // Visnyk ODABA, Odesa: Atlant, 2016. – Vyp. 64. – S. 234-239.
 11. Babiy I.M. Optymizatsiya proektu uteplennya budynku systemoyu ventyl'ovanny fasad na osnovi eksperymental'no-statystychnoho modeluвання / I.M. Babiy, A.I. Kamynskaya-Pynaeva // Naukovy-tekhnichnyy zbirnyk "Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi", Vinnytsya, VNTU, 2016. – No. 2(21). – S. 25-31.
 12. Vovk S.N. Rol' matematycheskoy teoryi eksperymenta v povysheniy efektyvnosti ynzhenerykh yssledovanny y razrobotok / S.N. Vovk, V.A. Voznesensky // Fylosofskyye problemy sovremennoho estestvoznannya: Resp. mezhdud. nauch. sb., K. Yzd-vo K-HU – 1988. Vyp. 66. – S. 120-126.
 13. Voznesensky V.A. Chyslennyye metody resheniya stroytel'no-tekhnologicheskyykh zadach na ÉVM / V.A. Voznesensky, T.V. Lyashenko, B.L. Oharkov // K.: Vyshcha shkola, 1989. - 328s.
 14. Voznesensky V.A. Prynatyte resheniy po statystycheskym modelyam / Voznesensky V.A., Koval'chuk A.F. // M., Statystyka, 1978. – 196 s.

Бабій Ігор Миколайович – к.т.н., доцент, доцент кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва і архітектури. E-mail: igor7617@gmail.com. ORCID ID: 0000-0001-8650-1751.

Кучеренко Лілія Василівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету. E-mail: liliya13liliya13@gmail.com. ORCID ID: 0000-0003-0348-3610.

I. Babii¹
L. Kucherenko²

MODELING OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS FOR DETERMINING EFFECTIVE SOLUTIONS FOR THE PROJECT OF INSULATION OF FACADES WITH PLASTER COVERING

¹Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa

²Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

As a result of the research, it was established that in the construction industry, the most widely used systems for insulating external enclosing structures are bonded thermal insulation systems and hinged ventilated facades. It was determined that the technical and economic indicators of the building facade insulation project can be controlled and optimized with the help of preliminary modeling of organizational and technological solutions. Significant organizational and technological factors that have an impact on the technical and economic indicators of the project were determined. The dependence of changes in the indicators of the duration of construction and installation work on insulation, their cost and the intensity of financing when significant factors are varied is revealed. The dependence of the change in the cost of the facade insulation project by the bonded thermal insulation method on the use of various means of underlaying is determined. On the basis of EC-modeling, the dependencies of changes in the cost of the project when using different technological methods and options for organizational solutions for the insulation of external enclosing structures of buildings with plaster decoration were investigated.

Keywords: thermal modernization, funding intensity, modeling, insulation of facades, means of underlaying.

Ihor Babii – PhD, Associate professor of the Department of Technology of Building Production of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. E-mail: igor7617@gmail.com. ORCID ID: 0000-0001-8650-1751.

Lily Kucherenko – PhD, Associate professor of the Department of Building, Urban and Architecture of the Vinnytsia National Technical University. E-mail: liliya13liliya13@gmail.com. ORCID ID: 0000-0003-0348-3610.

РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАВІСНИХ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ФАСАДІВ ПРИ УТЕПЛЕННІ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

В статті показано, що великий відсоток житлового фонду України представлений панельними будинками масових серій забудови 1960–1980-х років, який будувався з заниженими показниками нормативних вимог термічного опору огорожувальних конструкцій, внаслідок тривалого терміну експлуатації будівель зазнав фізичного та морального зношування.

Показано, що занижені показники термічного опору оболонки будинків привели до надмірних витрат енергії на м² застарілого житлового фонду, які перевищують в 2,0-2,5 рази показники країн ЄС. На утримання застарілого житлового на будівельну галузь приходить більше 30-40% від всіх енергоносіїв.

В статті наведено порівняння зростання термічного опору огорожувальних конструкцій європейських країн та України.

Важливе місце в захисті будівель від впливу атмосферних явищ навколишнього середовища, підвищені їх енергоефективності та наданні сучасного вигляду застарілим об'єктам займають навісні вентилявані фасади (НВФ). Показані перспективи розширення функціональних властивостей навісних фасадів, які забезпечують отримання енергії за рахунок їх облицювання сонячними панелями та економії енергії при охолодженні будівлі за рахунок влаштування текстильних вентиляваних фасадів.

Ключові слова: енергоефективність, нормативна база, навісний вентиляваний фасад, поліфункціональні властивості вентиляваних фасадів.

Вступ

У всьому світі будівлі споживають близько 40 % загальної первинної енергії, в ЄС до 36 % від загальної суми викидів CO₂ надходять з будівель. Будівельна галузь зберігає великі резерви енергозбереження та зменшення викидів парникових газів.

Діючі в країнах ЄС будівельні норми встановлюють споживання енергії в будинках на рівні 80–100 кВт • год / (м² • рік). У нового покоління будинків, які проектується і будуються відповідно до нової концепції ЄС, рівень енергоспоживання повинен бути не вище 15 кВт • год / (м² • рік).

Будинки існуючого застарілого житлового фонду України мають рівень споживання 250-400 кВт • год / (м² • рік). Постійне відставання показників нормативних вимог термічного опору огорожувальних конструкцій в десятки років привело до надмірних витрат енергії при утриманні застарілого житлового фонду та до необхідності обов'язкового його утеплення. І це при тому, що країни ЄС масово переходять до масштабного будівництва енергоефективних та «пасивних» будинків з нульовим споживанням енергії.

Термічний опір стінових конструкцій застарілої забудови коливається в межах 0,8–1 м² • К/Вт і такі будівлі відволікають великі обсяги енергії на їх утримання. Країни ЄС переходять до будівництва будинків з витратами від 20 до 40 кВт год/м² та пасивних будинків, які додатково генерують та віддають енергію в мережу.

Для зовнішнього утеплення стін будинку використовуються два основних способи: «мокрый» фасад і «сухий» вентиляваний фасад. Кожне технологічне рішення має свої переваги і недоліки. У професійних будівельників, інвесторів, конструкторів та архітекторів викликають великий інтерес навісні вентилявані фасади (НВФ), які характеризуються широкою палітрою кольорів облицювання фасадів, довговічністю та енергоефективністю.

Мета роботи. Дослідження технології утеплення будівель шляхом використання навісних вентиляваних фасадів та сучасних тенденцій розширення їх функціональних властивостей.

Виклад основного матеріалу дослідження

Динаміка змін та абсолютні значення нормативних показників термічного опору «оболонки» будівель та їх порівняння зі стандартами розвинених країн дають комплексну порівняльну оцінку споживання енергетичних ресурсів в будівельній галузі України.

З 1 вересня 2022 року в Україні введені в дію нові ДБН, які передбачають зростання нормативних вимог термічного опору огорожувальних конструкцій (табл. 1). Ві табл. 2 приведені порівняльні нормативні показники термічного опору введених нових і відмінених ДБН, їх порівняння з аналогічними показниками європейських країн і, що не менш важливо, з термінами їх прийняття.

Таблиця 1

Порівняльні показники мінімально допустимого значення приведенного опору теплопередачі (R) огорожувальних конструкцій житлових та громадських будівель.

Огороджувальні конструкції, термічний опір, R (м ² • К / Вт)	ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель		ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель	
Зовнішні стіни	3,3	2,8	4,0	3,5
Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,75	0,6	0,9	0,7
Суміщені покриття	6,0	5,5	7,0	6,0
Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів), мансард, горищні перекриття неопалюваних горищ	4,95	4,5	6,0	5,5
Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалюваними підвалами	3,75	3,3	5,0	4,0
Зовнішні двері	0,6	0,5	0,7	0,6

Як видно з табл. 2 Україна лише наблизилася показники нормативних вимог термічного опору огорожувальних конструкцій до показників європейських країн, крім того, це було зроблено з запізненням практично в 10–15 років.

Таблиця 2

Порівняльні нормативні показники коефіцієнту термічного опору огорожувальних конструкцій будівель (м² К/Вт) та рік прийняття.

Країна	Німеччина	Данія	Великобританія	Норвегія	Швеція	Україна	Україна
Рік прийняття	2009	2006	2010	2007	2008	2016	2022
Стіни	3,57	5,00	5,55	5,56	5,56	3,3-2,8	4,0-3,5
Покрівля	5,00	5,56	6,67	7,69	7,69	6,0-5,5	6,0-5,5
Вікна	0,77	0,67	0,67	0,83	0,76	0,75-0,6	0,9-0,7
Підлога	2,86	6,67	4,76	6,67	6,67	4,95-4,5	5,0-4,0

Якщо Норвегія, Данія, Швеція, іншу країни підвищили показники термічний опір стін до 5,0-5,55 м² • К / Вт ще в 2006-2008 роках, то Україна підвищила цей показник до 4,0 м² • К / Вт і це було зроблено лише в 2022 році. Вимоги термічного опору для покриттів і перекриттів в 2010 році а європейських країнах зросли до 10 м² • К / Вт проти діючих у 2006 році 6,7 м² • К / Вт, тоді як в Україні лише у 2022 році відповідно до вимог нових ДБН вони були підвищені до 6,0 м² • К / Вт. З 2021 року в сусідній Польщі термічний опір для стін був збільшений до R = 5,00 м² • К / Вт, хоча в Україні, як і в Польщі, кліматичні умови є практично ідентичні, а в якості основного стінового матеріалу використовується переважно газобетон автоклавного тверднення.

Існуючий застарілий житловий фонд потребує енергії на м² житлової площі фактично в 2,0–2,5 рази більше ніж в розвинених європейських країнах. Це відбувається в умовах зростання вартості викопних видів палива та необхідності зменшення викидів парникових газів. В Україні ситуація набагато складніша, ніж в країнах ЄС. Більше 70% громадян живе в будинках, які зводили у 60–80-ті роки ХХ століття, а 19% — взагалі в спорудах 50-х років та старше. Їх будували в епоху символічних цін на енергоносії та кліматичної реальності того часу – відсутність проблем парникових газів.

В Україні приймалися декілька спроб утеплення застарілого житлового фонду, але брак державних коштів не дозволяв цього зробити централізовано. В ЄС задекларовано, що до 2050 року новобудови та старі будинки мають мати рівень споживання енергії наближений до нуля. Україна отримала статус кандидата для вступу до ЄС, адаптує власну нормативну базу до європейських вимог і має їх дотримуватись.

Узагальнені дані Мінрегіону [1] свідчать, що близько 90 % всіх багатопверхівок потребують термомодернізації. Тепломодернізація житлових будинків забезпечить економію енергії на рівні 40-60 % від їх існуючого на сьогодні енергоспоживання. За оцінками експертів сфера житлово-комунального господарства залишається однією з найенергоємніших, а потенціал скорочення

споживання природного газу становить 8–10 млрд м³ [2].

В 2023 році прийнято за основу та включено до порядку денного Верховної Ради Закон України «Про здійснення комплексної реконструкції кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду». В обґрунтуванні прийняття цього Закону зазначено, що на території України налічується 30380 багатоквартирних житлових будинків віднесених до застарілого житлового фонду, а саме: збудованих включно до 1919 року – 7646 (58 визнані аварійними); збудованих у період з 1920-1953 роки – 9693 (45 визнані аварійними); збудовані у період з 1954-1969 роки – 7192 (40 визнані аварійними); збудовані у період з 1970-1989 роки – 5364 (24 визнані аварійними); збудовані у період з 1990-2010 роки – 785. Продовження експлуатації таких будинків несе в собі не тільки некомфортне існування мешканців, а й пряму загрозу для їх життєвого середовища.

Руйнація житлового фонду в результаті війни, розв'язаної росією, ще більше ускладнила проблеми утримання житлового фонду. Загальна вартість відновлення пошкоджених житлових і нежитлових будівель та інфраструктури в Україні станом на 1 листопада 2022 року становила \$105,3 млрд. Сюди входять зруйновані та частково пошкоджені об'єкти [3].

В останні роки в Україні реалізована низка заходів, які сприяють зменшенню витрат енергії в будівельні галузі. До найбільш важливих дійових організаційно-технічних заходів термомодернізації існуючого застарілого житлового фонду, слід віднести:

- прийняття в 2018 році Закону України «Про енергетичну ефективність будівель»;
- створення і початок роботи Фонду енергоефективності, який забезпечує збільшення
- обсягів виконання будівельних робіт з термомодернізації будівель через ОСББ та коштів місцевих бюджетів;
- затвердження Кабінетом в 2018 році оновленого Переліку будівельних робіт, що не
- потребують дозвільних документів на утеплення та не підлягають прийому в експлуатацію і до якого включено індивідуальні житлові будинки, що належать до об'єктів з незначними наслідками відповідальності (СС1) та багатоквартирні житлові будинки висотою до 100 м (об'єкти з середніми наслідками відповідальності (СС2). Ремонтні та теплоізоляційні роботи необхідно погоджувати лише у випадку, якщо будинок має історичну або архітектурну цінність.
- з 2000 по 2022 рік відбулось зростання обсягів власного виробництва енергоефективних
- конструкційно - теплоізоляційних і теплоізоляційних газобетонів автоклавного тверднення більше ніж в 50 раз, вони витісняють з будівельного ринку високоенергоємні на стадії виробництва і не енергонефективні на стадії експлуатації традиційні стінові матеріали - повнотілу глиняну та силікатну цеглу, керамзитобетон;
- в 2019 році Україна збільшила податок на викиди CO₂ в 25 раз, а в 2020 років ще в 3 рази, який з досвіду європейських країн являється найбільш дієвим механізмом зменшення енергоспоживання;
- введення в дію з 1 вересня 2022 року ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та
- енергоефективність будівель» передбачає підвищення вимог термічного опору «оболонки» будівлі в середньому на 20%;
- прийняття 1 грудня 2018 року нових ДБН В.2.6-33:2018 «Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією», що містить вимоги та рекомендації щодо проектування зовнішніх стін будівель з фасадною теплоізоляцією для забезпечення надійного захисту будівель від атмосферних факторів, зменшення тепловтрат та утворення конденсату в стінових конструкціях.

Україна на сьогодні має розвинений сектор виробництва будівельних матеріалів, який включає видобуток будівельної сировини, виробництво основних матеріалів і обладнання. Основна частина виробленого споживається в Україні (95%), а питома вага вітчизняних будматеріалів у загальному їх споживанні в Україні перевищує 90% [4]. В Україні впроваджуються інноваційні будівельні матеріали, технології, утеплення стін відбувається переважно з використанням «мокрих» технологій. Навісний вентиляований фасад (НВФ), як відносно нова система утеплення будинків («сухий фасад»), швидко набирає популярності. При цьому НВФ є одним із найпопулярніших і сучасних трендів у сфері архітектури та будівництва сучасних будівель.

Технологія влаштування НВФ

В Європі ще наприкінці 1970-х років НВФ отримали поширення, в Україні вони стали популярними в 1990-х роках, як швидкий спосіб збільшення опору теплопередачі стінових конструкцій переважно громадських будівель. [5].

Монтаж зовнішнього фасаду здійснюється на спеціальні підсистеми у вигляді каркаса з дерев'яного

бруса або металевого профілю. Вимоги до проектування НВФ передбачають улаштування надійного навісного каркаса, теплоізоляційного шару, опорядження індустріальними елементами, повітряного прошарку фіксованої товщини між шарами теплоізоляції та опоряджувальними елементами з обов'язковим забезпеченням його вентиляції.

На рис 1 приведений фрагмент зовнішнього вигляду конструкторсько-технологічної схеми найбільш поширеної збірної системи НВФ з вентиляваним повітряним прошарком.



Рисунок 1 – Фрагмент стіни з навісним вентиляваним фасадом.

Для кріплення направляючих навісної системи фасаду до стіни використовуються різноманітні елементи кріплення (заклепки; дюбелі; анкерні болти; санчата; столики; тощо).

Одним із бюджетних варіантів влаштування НВФ для малоповерхових індивідуальних будинків є влаштування навісного каркасу з дерева, на який кріпиться вініловий сайдинг.

В якості теплоізоляції в НВФ використовуються негорючі мінераловатні утеплювачі, які кріпляться до стіни будівлі тарілчастими дюбелями. Для утеплення вентиляваного фасаду зі стандартним утеплювачем завтовшки 50 мм, використовуються кронштейни з виносом 80 мм або 120 мм. Мінераловатний утеплювач має щільно примикати до стіни будівлі.

При виконанні монтажних робіт рекомендується використовувати наступні інструменти: ротаційний лазерний нівелір при нанесенні позначок отворів для кронштейнів, перфоратор, болгарку, болтоверт, ножиці, листозгин, заклепувальний інструмент для фіксації профілів до кронштейна та клямерів. Клямер – спеціальна стальна пластина товщиною 1-1,1 мм з кількома фіксаторами, вона буває рядова, стартова, бічна (рис. 4). Клямер жорстко і надійно фіксується спеціальними заклепками до напрямного профілю, частіше до Т-подібного профілю (тавр), рідше – до L-подібного профілю.



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд клямерів.

Завдяки зазору між утеплювачем і фасадом будівлі потоки повітря, що сходять, легко циркулюють за фасадом, підсушуючи при цьому шари утеплювача у разі попадання на них вологи та потенційної вологи, яка може надходити з стіни будинку, наприклад з газобетонної стіни.

Для запобігання видування волокон з утеплювача і його зволоження застосовуються гідро-вітрозахисні мембрани, які забезпечують виток водяних парів з утеплювача і одночасно захищають теплоізоляцію від проникнення вологи з зовні та видування волокон утеплювача.

Питома вага алюмінію $2,7-2,9 \text{ г/см}^3$, що практично в 3 рази менше сталі. Стальні навісні системи потребують антикорозійного захисту або використання спеціальних сталей, їх модуль пружності практично в 3 рази вище ніж сплавів з алюмінію тому для алюмінієвих систем закладають 3-х кратний запас міцності, а для сталевих - 1,5-1,7 рази.

Основним нормативним документом проектування НВФ є ДБН В.2.6-33: 2018 «Конструкції

зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування». Відповідно до п. 5.3.2 та 5.3.3. ДБН В.2.6-33:2018 при застосуванні матеріалів теплової ізоляції та опоряджувального шару групи горючості НГ згідно з ДБН В.1.1-7 конструкції із фасадною теплоізоляцією можуть застосовуватися для будівель та споруд умовною висотою понад 47 м без обмежень. Конструкції із шаром теплової ізоляції групи низької горючості Г1 і групи помірної горючості Г2 та опоряджувальним шаром із матеріалів, які відносяться до групи низької горючості Г1 і групи помірної горючості Г2 згідно з ДБН В.1.1-7, можуть застосовуватися тільки для будівель та споруд з умовною висотою менше ніж 9 м. за винятком будівель та споруд дошкільних закладів освіти, закладів освіти, закладів охорони здоров'я, закладів для літніх людей згідно з ДБН 8.2.243. ДБН 3.2.2-4, ДБН В.2.2-10. ДБН В.2.2-17, ДБН В.2.2-18, ДБН 363 та будівель і споруд ступеня вогнестійкості, а також для будівель і споруд II та III ступенів вогнестійкості, при застосуванні опоряджувального шару з матеріалів, які відносяться до групи помірної горючості Г2.

Технологія влаштування НВФ передбачає наступну послідовність виконання робіт: підготовка поверхні стіни та розмітку для свердління отвору під установку кріпильних виробів; розмітка та монтаж терморозривів та кронштейнів; монтаж утеплювача і гідровітробар'єра; монтаж вертикальних або горизонтальних направляючих профілів; монтаж конструкцій, необхідних для установки: парапетів, віконних укосів і т.д.; монтаж облицювальних елементів (панелей, керамогранітних плит, тощо). В процесі монтажу елементів системи проводиться операційний контроль якості робіт та готуються акти на приховані роботи відповідно до ДБН

А .3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва».

Спосіб термомодернізації будівель системами НВФ на сьогодні набув великого поширення і буде зростати надалі оскільки дозволяє швидко утеплити стіни будинку. Фасади сірих застарілих будівель, з стінами з силікатної або керамічної цегли завдяки використанню НВФ отримують привабливий, красивий вигляд. Стіни існуючих будинків не потребують особливої підготовки, утеплення стін може проводитись навіть в зимній період. Аналіз світового та вітчизняного досвіду термомодернізації будівель з НВФ підтверджує інші переваги (рис. 3).

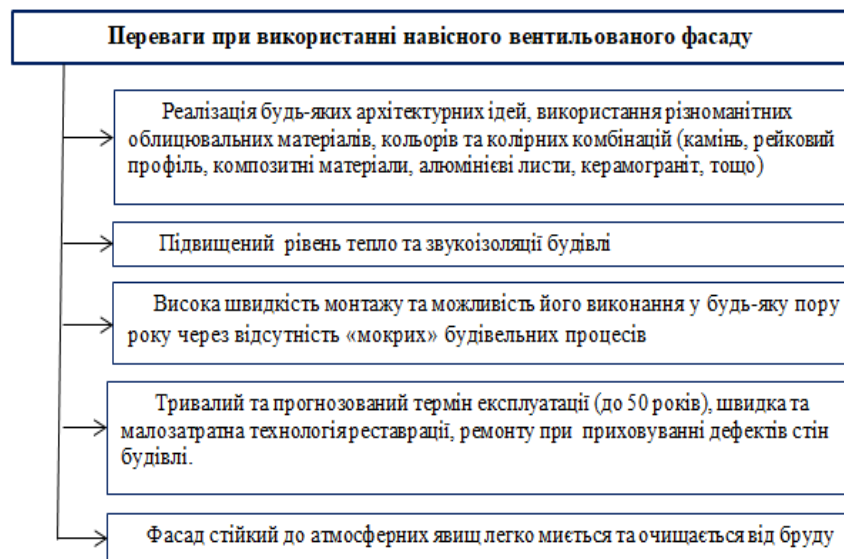


Рисунок 3 – Основні переваги використання НВФ.

Виробники НВФ супроводжують свою продукцію детальними інструкціями, які частково замінюють технологічні карти та карти трудових процесів. НВФ, як будівельна продукція, обов'язково мають бути сертифіковані. Найбільшу поширеність в Україні отримали НВФ з використанням облицювальних панелей з керамограніту.

При цьому величина зазору між утеплювачем та фасадом будівлі за різними джерелами становить від 20 до 50 мм. Це дозволяє висхідним потокам повітря циркулювати між облицювальним матеріалом та утеплювачем, висушуючи шар утеплювача у разі попадання на нього вологи.

До основних недоліків НВФ слід віднести:

- корозія металевих елементів (кронштейнів кріплення та дюбелів), що потребує
- антикорозійного захисту, використання алюмінію, нержавіючої сталі, що збільшує їх вартість;

- має місце негативний вплив металевих кронштейнів кріплення та дюбелів на
- теплозахисні властивості стінової конструкції через їх контакт та проникнення в тіло стіни;
- використання гідро- та вітрозахисних мембран на полімерній основі сприяють
- порушенню пожежної безпеки, а їх відсутність з часом негативно впливає на якість теплоізоляції;
- при перевищенні товщини повітряного зазору зростає можливість виникнення гучного
- звуку, при недостатній - ускладнюється циркуляція повітря і винос вологи з теплоізоляції;
- ускладнюється технологія влаштування округлих форм фасаду та оздоблення віконних
- примикань.

На сьогодні на будівельному ринку присутня велика кількість різноманітних індустріальних облицювальних елементів (табл. 3), які забезпечують високу довговічність фасаду, архітектурну виразність фасаду будівлі, оптимальні витрати матеріальних і трудових ресурсів.

Таблиця 3

Види класифікації та класифікаційні ознаки навісних вентиляційних фасадів.

Вид класифікації	Вид облицювального матеріалу
По виду облицювального матеріалу	- натуральний камінь - керамограніт - агломератна плитка або штучний камінь - фіброцемент - алюмінієві композитні панелі - лінеарні панелі - ламінат високого тиску - скляні панелі - теракотова кераміка - металосайдінг - альтернативні матеріали: клінкерна плитка, HPL панелі, фотоелектричні модулі, медіакасети
По виду матеріалу несучих конструкції	- оцинкована сталь; нержавіюча сталь; алюміній і його сплави; дерево
Наявність теплоізоляційного шару	- с утеплюючим шаром; без утеплюючого шару
По типу фіксації навісної конструкції	- панелі з кріпленням до стіни - панелі з кріпленням до плити перекриття
По довговічності	- до 15 років; до 25 років; до 50 років
По вартості фасаду	- економ, стандартний та преміум варіант

Проблемні питання виробництва НВФ

Проблемним питання НВФ, на які майже не звертається уваги, залишається наявність в огорожувальні стіні будівлі «містка холоду» від металевого анкера, який розміщується в стіні для фіксації кронштейна та самі кронштейни, які контактують зі стіною.

З метою зменшення втрат тепла при монтажі металевого (сталю, алюмінієвого) каркасу НВФ між кронштейном і стіною передбачається наявність паронітових терморозривних прокладок. Пароніт це продукт вулканізації суміші азбестових волокон (60-70 %), розчинника, каучуку (12-15 %), мінеральних наповнювачів (15-18 %) та сірки (1.2-8.0 %), які піддаються вальцюванню під великим тиском. Відповідно до Угоди про асоціацію з ЄС Україна була зобов'язана ввести заборону на використання азбесту на виробництві в рамках адаптації українського законодавства до 31 жовтня 2021 року. Використання всіх типів азбесту заборонені в 55 країнах світу. Відповідно до рекомендацій МОП та ВООЗ Верховна Рада в 2022 році ухвалила загальною законопроект №4142 про громадське здоров'я, який передбачає заборону використання азбесту у будівництві.

Терморозривна прокладка зменшує теплопровідність лише шляхом прямого контакту кронштейна зі стіною і не впливає на анкер, що заглиблений в стіну будівлі. Кронштейни, як і анкери у НВФ збільшують теплопровідність зовнішніх стін. Зниження рівня теплозахисту стін залежить від виду матеріалів, як стіни, анкера так і кронштейнів, їх кількості на 1 м² площі стіни.

Влаштування тонких паронітових прокладок забезпечує приріст рівня теплозахисту фрагментів фасаду не більше як на 5 % [6].

За даними [7] зниження рівня теплозахисту фасадних систем в цілому може досягати до 50% від величини опору теплопередачі, розрахованої без впливу включень. На рис 3 приведена схема розподілу температури стіни.

Як видно з рис. 3 видно, що температура облицювального елемента фасаду і поверхні теплоізоляції однакова тому розрахунок термічного опору стіни з НВФ має проводитись без врахування повітряного прошарку. При цьому за умови відсутності облицювального елемента на фасаді будинку пориви холодного або гарячого повітря будуть охолоджувати або нагрівати стіну.

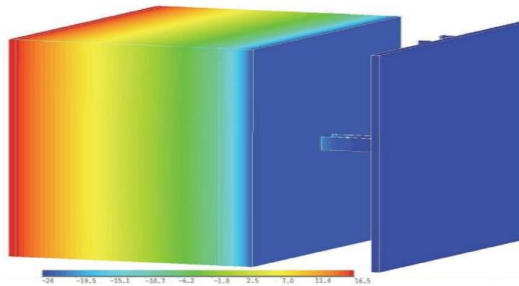


Рисунок 4 – Розподіл температур (°C) поверхнями фрагмента зовнішньої стіни з НВФ, утеплювачем $\delta = 50$ мм та кронштейном.

Як відомо, теплопровідність вуглецевої сталі становить $45 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, а чистого алюмінію – $235 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Нержавіюча сталь має низьку теплопровідність, $15 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, що робить її більш прийнятною для конструкцій у корозійних середовищах або такі «енергозатратні» і теплопровідні матеріали конструкцій на фасаді зовнішніх стін потребують вдосконалення. Для підвищення теплотехнічної однорідності конструкцій НВФ в ряді публікацій передбачається встановлення паронітових прокладок на стіни під кронштейни. Також одним із можливих рішень пропонується заміна оцинкованої сталі кронштейнів на сталь аустенітну нержавіючу (наприклад – на сталь № 1.4301) по [8], коефіцієнт теплопровідності такої сталі дорівнює $\lambda = 15 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

НВФ як джерело генерації електроенергії

Використання фотоелектричних модулів на фасаді будівлі – це інноваційний світовий тренд. Отримання сонячної енергії дозволяє знизити негативний вплив об'єкта на довкілля за рахунок скорочення викидів CO_2 та інших забруднюючих речовин, що супроводжують вироблення електроенергії з традиційного викопного палива.

На сьогодні в Україні існує реальна можливість ціленаправленого використати фасадів будинків для генерації електричної енергії шляхом облицювання фасадів сонячними панелями. Переваги влаштування вентилязованого фасаду з сонячних модулів цілком очевидні – це

співрозмірність цін сонячних панелей з цінами стандартних матеріалів для влаштування НВФ (алюмінієві касети, керамоблоки і т.ін.) технічні характеристики сонячних панелей повністю відповідають вимогам щодо захисту фасаду будівлі з можливістю використання стандартних перевірених каркасних конструкцій.

Канадська компанія Element випустила фотоелектричні панелі на основі телуриду кадмію (CdTe) Solstex, призначені для облицювання фасадів висотних будівель. Товщина фотоелектричних елементів становить 6 мм. Для встановлення таких сонячних батарей використовується запатентована система кріплень Unity. Панелі Solstex важать не більше $17 \text{ кг}/\text{м}^2$. При цьому вони прості в установці та здатні виробляти значно більше енергії, ніж аналоги [9]. Вироблена електроенергія може використовуватися для потреб будівлі або подаватися в загальну енергомережу.

Фасад із сонячними батареями ідеально підходить для облаштування вентилязованих фасадів офісів, готелів, торгових центрів, житлових багатоквартирних будинків, а також інших об'єктів нерухомості з підвищеними вимогами до енергозбереження і архітектурної виразності.

Liberta Solar [10] складається зі скляних елементів з вбудованими сонячними панелями на основі кристалічного кремнію і всіх необхідних допоміжних елементів (перетворювачі, накопичувачі і т.д.). Електрика використовується для потреб будівлі або подається в загальну енергомережу.

Крім генерації електроенергії та функції будівельних конструкцій, інтегровані сонячні панелі здатні виконувати й інші завдання, такі як світлозахисні огороження, підтримка теплопостачання, звукоізоляція тощо. Фахівці змогли розробити матеріал, у якому поєдналися переваги сонячних панелей та естетичні властивості популярних облицювальних систем. Фотоелектричні модулі різних відтінків стали прикрасою будинків.

НВФ для охолодження будівель

Текстильні (або тканинні) вентилявані фасади з'явилися в європейських країнах відносно недавно. Такі фасади використовуються в будівництві при оздобленні фасадів будівель різного призначення: магазинів, складських приміщень, спортивних та адміністративних об'єктів, для облицювання фасадів готелів, промислових об'єктів, торгових центрів. Текстильний фасад це напівпрозорий фасад з поліестеру (рис. 5) або скловолокна він виступає як конструктивний захист від сонця. За допомогою алюмінієвого каркаса проводиться кріплення виробу на фасаді будівлі. Текстильні фасади дозволяють заощадити більше 70 % енергії від витрат на охолодження будівель за допомогою систем кондиціонування.

Завдяки простоті виробництва швидкості виконання БМР, універсальності вони знайшли широке застосування у новому цивільному фасадному будівництві, реконструкції та будівництві навісних фасадів спеціальних об'єктів. Спеціально розроблені мембрани надають фасадному текстилю водовідштовхувальні властивості. Полотна з полівінілхлориду (ПВХ) мають гарантію експлуатації при температурі від -30°C до $+70^{\circ}\text{C}$. Тканина коштує порівняно не дорого і завжди її можна замінити. На рис. 5 приведені фрагменти використання текстильних фасадів на прикладі фасадів різних будівель [11].



Рисунок 5 – Фрагменти зовнішнього вигляду текстильно та вентиляваних фасадів.

Висновки

Україна тривалий час користувалась застарілими низькими нормативними показниками термічного опору огорожувальних конструкцій, які лише в 2022 році були наближені до стандартів ЄС. Застарілий не утеплений житловий фонд на сьогодні залишається високо енергозатратним.

Низька вартість енергоносіїв в недалекому історичному минулому та занижені вимоги нормативів термічного опору оболонки будинків в Україні відіграли негативну роль і виконали функцію «міни уповільненої дії».

Використання НВФ являється на сьогодні полі функціональним технологічним рішенням утеплення будівель. НВФ можуть виконувати додаткову функцію джерела енергії, шляхом облицювання їх сонячними панелями. Вони генерують електроенергію при облицюванні фасаду сонячними панелями, а також охолоджують будівлю при використанні текстильних вентиляваних фасадів. Такі фасади не містять шкідливих речовин схильних до гниття і поширення цвілі.

До не менш важливих переваг вентиляваних фасадів слід віднести можливість застосування та реалізація будь-яких архітектурних ідей. Кольорова палітра та форма фасадного облицювання покращую естетику будівлі, кожен будинок стає індивідуальним у всіх відношеннях. НВФ забезпечує високий рівень зниження шуму (мінімум на 20 дБ), високу швидкість монтажу в будь-яку пору року, економію витрат на кондиціонуванні будівлі, тривалий термін експлуатації, легку процедуру реставрації, ремонту, стійкість до атмосферних явищ.

Термін служби навісного вентиляваного фасаду залежить від конструктивного рішення і може наближатись до терміну служби будівлі, легко піддається локального ремонту. Низка переваг вентиляваних фасадів забезпечує їх зростання використання, як в новому будівництві так і при термомодернізації застарілого житлового фонду.

Через відносно високу металоємність НВФ являються більш вартісними в порівнянні зі збірною системою облицювання стін легкими тонкошаровими і товстошаровими штукатурками (мокрими фасадами).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. У Мінрегіоні визначились, які будинки першими пройдуть термомодернізацію <https://www.slovoidilo.ua/2016/03/14/novyna/ekonomika/u->
2. Урядовий портал: Термомодернізація житлових будівель та бюджетних установ - одне з пріоритетних питань політики України у сфері енергоефективності. www.kmu.gov.ua.
3. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України станом на 1 вересня 2022 року». https://kse.ua/wp-content/uploads/2022/10/Sep22_FINAL_Sep1_Damages-Report.pdf.
4. Локалізація відновлення в Україні. ДП «Укрпромзовнішпекспертиза», ГО «Інститут
5. Міжнародних Економічних Досліджень» https://era-ukraine.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/Ukraine-ERA-Reconstruction-Capacity-Report-BFO_web_ua.pdf
6. Назиров Р. А., Белов Т. В. Влияние сопротивления теплопередачи утеплителя на распределение температурных полей в стеновых ограждениях с навесными вентилируемыми фасадами // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2014. Vol. 7. № 2. P. 207-213.
7. Крутилин А.Б Особенности проектирования вентилируемых фасадных систем теплоизоляции в конструкциях наружных стен из ячеистого бетона. Матер. НПК Минск, 19–20 Мая 2021 года, «Опыт производства и применения ячеистого бетона автотклавного твердения», -С.122-128.
8. Протасевич, А.М. Классификация вентилируемых фасадных систем. Влияние теплопроводных включений на их теплозащитные характеристики / А.М. Протасевич, А.Б. Крутилин // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 8. – С. 57–62.
9. Сталі нержавіючі. Часть 1. Перечень нержавеющей сталей. СТБ EN 10088-1-2009. – Минск: Государственный Стандарт Республики Беларусь, 2009. – 69 с.
10. Вентилируемые фасады из солнечных батарей с КПД 18% уже доступны в Канаде. <https://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/4962-ventiliruemye-fasady-iz-solnechnykh-batarej-s-kpd-18-uzhe-dostupny-v-kanade.html>.
11. Сонячні панелі Liberta Solar. <https://rautagroup.com/uk/product/liberta-solar-uk/>.
12. Архитектура: На что способны текстильные фасады. <https://www.houzz.ru/statyi/arkhitektura-na-chto-sposobny-tekstilnyye-fasady-stsetivw-vs~128640827>

REFERENCES

1. U Minrehioni vyznachylysia, yaki budynky pershymy proyduť termomodernizatsiyu <https://www.slovoidilo.ua/2016/03/14/novyna/ekonomika/u->
2. Uryadovyy portal: Termomodernizatsiya zhytlovykh budivel' ta byudzhetykh ustanov - odne z nayvazhlyvishykh pytan' polityky Ukrayiny u sferi enerhoefektyvnosti. www.kmu.gov.ua.
3. Zvit pro pryami zbytky infrastruktury vid ruynuvan' vnaslidok viys'kovoyi ahresiyi rosiyi proty Ukrayiny stanom na 1 veresnya 2022 roku». https://kse.ua/wp-content/uploads/2022/10/Sep22_FINAL_Sep1_Damages-Report.pdf.
4. Lokalizatsiya vidnovlennya v Ukrayini. DP «Ukrpromzovnishekspertyza», HO «Instytut 5. Mizhnarodnykh ekonomichnykh doslidzhen'» https://era-ukraine.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/Ukraine-ERA-Reconstruction-Capacity-Report-BFO_web_ua.pdf
5. Nazyrov R. A., Belov T. V. Vlyyanye soprotyvleniya teploperedachy uteplyuvacha na rozpodil temperaturnykh poliv v stenovykh ohrazhdenyyakh s navesyemy ventilyruemyy fasadamy // Vestnyk Sybirs'koho federal'noho universytetu. Inzheneriya ta tekhnolohiyi. 2014. Vyp. № 2. S. 207-213. 7. Krutylyn A. B. Osoblyvosti proektuvannya ventyl'ovanykh fasadnykh system teploizolyatsiyi v konstruktsiyakh zovnishnykh sten z yacheystoho betonu. Mater. NPK Mins'k, 19–20 travnya 2021 roku, «Opyt proyzvodstva y pryumenenyya yacheystoho betonu avtoklavnoho tverdinnya», -S.122-128.
7. Protasevych, A.M. Klasyfikatsiya ventyl'ovanykh fasadnykh system. Vlyyanye teploprovodnykh vkluchenny na ykh teplozashchytne kharakterystyky / A.M. Protasevych, A.B. Krutylyn // Ynzhenerno-stroytel'nyy zhurnal. – 2011. – № 8. – S. 57–62.
8. Staly nerzhaveyushchye. Chast' 1. Perechen' nerzhaveyushchykh staley. STB EN 10088-1-2009. – Mynsk: Hosudarstvennyy Standart Respublyky Belarus', 2009. – 69 s.
9. Ventyl'ovani fasady vid sonyachnykh batarey z KPD 18% vzhe dostupni v Kanadi. <https://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/4962-ventiliruemye-fasady-iz-solnechnykh-batarej-s-kpd-18-uzhe-dostupny-v-kanade.html>.
10. Sonyachni paneli Liberta Solar. <https://rautagroup.com/uk/product/liberta-solar-uk/>.
11. Arkhitektura: Na shcho zdatni tekstyl'ni fasady. <https://www.houzz.ru/statyi/arkhitektura-na-chto-sposobny-tekstilnyye-fasady-stsetivw-vs~128640827>

Сердюк Василь Романович – д.т.н., професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: vasromvs@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2927-6291>.

V. Serdyuk

EXPANSION OF THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF HINGES VENTILATED FACADES WHEN INSULATING BUILDINGS

Vinnytsia National Technical University

The article shows that a large percentage of the housing stock of Ukraine is represented by panel houses of the mass series of construction in the 1960s-1980s, which were built with understated indicators of the normative requirements for the thermal resistance of the enclosing structures.

It is shown that the underestimated indicators of the thermal resistance of the building envelope led to excessive energy consumption per m² of the outdated housing stock, which exceeds the indicators of the EU countries by 2.0-2.5 times. The construction industry accounts for more than 30-40% of all energy sources for the maintenance of outdated housing.

The article compares the growth of the thermal resistance of fencing structures in European countries and Ukraine.

An important place in the protection of buildings from the influence of atmospheric phenomena of the environment, their increased energy efficiency and giving a modern appearance to outdated objects is occupied by hinged ventilated facades. Prospects for expanding the functional properties of hinged facades are shown, which provide energy generation due to their cladding with solar panels and energy savings during building cooling due to the installation of textile ventilated facades.

Key words: energy efficiency, regulatory framework, hinged ventilated facade, multifunctional properties of ventilated facades.

Serdyuk Vasyl – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction, Urban Economy and of architecture, Vinnytsia National Technical University, e-mail: vasromvs@gmail.com,

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 681.121

DOI 10.31649/2311-1429-2023-1-101-106

О. Ю. Співак
Н. В. Резидент
Я. М. Кримняк

АНАЛІЗ СКЛАДОВИХ ЕКСЕРГЕТИЧНОГО ККД КАМЕРНОЇ КОНВЕКТИВНОЇ СУШАРКИ

Вінницький національний технічний університет

Запропоновано методику розрахунку окремих складових ексергетичного балансу та ексергетичного коефіцієнта корисної дії для нестационарних тепломасообмінних процесів, зокрема процесів сушіння. Показано, що аналіз процесу сушіння за ексергетичними характеристиками ефективніший, ніж за тепловими, оскільки він дає можливість оцінити як внутрішні та зовнішні втрати, так і можливі потенціали енергетичних потоків. На основі запропонованої методики виконано розрахунки ексергетичного і теплового ККД камерної конвективної сушарки. Встановлено, що в разі зміни температури вхідного теплоносія від 5 до 35 °С, ексергетичний ККД сушильної установки змінюється в межах 4...16 %, тоді як тепловий ККД, визначений з використанням рівнянь теплових балансів, становить близько 50 %. Показано, що зі збільшенням температури навколишнього середовища ексергетичний ККД камерних сушильних установок суттєво зменшується, а тепловий ККД змінюється в межах 5 %, причому зі збільшенням температури теплоносія на вході він зростає, а зі збільшенням температури теплоносія на виході зменшується в таких самих межах. Втрати ексергетії у сушильних установках зумовлено втратами, викликаними потоками речовини, що виносять ексергію з системи, втратами через теплообмін за кінцевої різниці температур або масообмін за кінцевої різниці концентрацій, внаслідок механічного тертя і гідравлічного опору, хімічних реакцій в нерівноважних умовах, зменшення магнітного або електричного поля під дією електричного опору тощо. Для підвищення ексергетичного ККД камерних сушильних установок, які обігриваються паровими калориферами, перспективним є зменшення ексергетичних втрат в таких калориферах, тому не рекомендовано використання парових калориферів для підігрівання теплоносія, варто надавати перевагу електричним ТЕНам або піролізним котлам непрямого нагрівання повітря. Також рекомендовано зменшувати втрати теплоти під час змішування відпрацьованого і свіжого теплоносія, зменшувати температуру вхідного теплоносія.

Ключові слова: сушіння, сушарка, ексергія, коефіцієнт корисної дії, ексергетичний коефіцієнт корисної дії

Вступ

Процес сушіння є нестационарним незворотним процесом, який прямує до рівноваги. Реально сушильний цикл складається з ряду незворотних процесів, в яких ентропія системи зростає ($\Delta S > 0$). Для прикладу, цикл конвективної сушарки складається з таких основних процесів: підготовки теплоносія, що полягає в підвищенні його внутрішньої енергії за рахунок передачі теплоти; власне процесу сушіння – випаровування вологи і поглинання її сушильним агентом; змішування відпрацьованого теплоносія на виході з камери з навколишнім середовищем. У цих процесах змінюється не тільки кількість переданої теплової енергії, а й її якість. Збільшення ентропії системи призводить до знецінення енергії і зниження її роботоздатності. Тому основне завдання термодинамічного або ексергетичного аналізу полягає у визначенні впливу необоротних явищ, що знижують термодинамічну досконалість розглянутих процесів і ефективність роботи установок.

У сучасному трактуванні ексергія термодинамічної системи – це максимальна робота, яку система здійснює в оборотному процесі з вихідного стану в стан повної рівноваги з навколишнім середовищем. Стан повної рівноваги з навколишнім середовищем означає рівність всіх потенціалів і відсутність будь-яких потоків [1].

Мета роботи – запропонувати методику розрахунку окремих складових ексергетичного балансу для нестационарних тепломасообмінних процесів, дослідити вплив температур теплоносія на вході і виході з сушильної установки на її ексергетичний ККД, порівняти характер зміни ексергетичного ККД з тепловим, визначеним традиційним методом.

Результати дослідження

Процес сушіння є необоротним. В необоротних процесах ексергія зменшується, отже, можна записати

$$E_1 > E_2, \quad E_1 = E_2 + E_{вт}, \quad (1)$$

де E_1, E_2 – кількість підведеної до об'єкта (системи) і відведеної від неї ексергії; $E_{вт}$ – втрати ексергії від незворотності процесу.

Втрати ексергії визначаються за формулою Гюї-Стодоли

$$E_{вт} = T_0 \Delta S, \quad (2)$$

де ΔS – зміна ентропії системи, кДж/К; T_0 – температура навколишнього середовища, К.

Відомо [2–6], що ексергія системи залежить від теплофізичних параметрів (як правило, температури) навколишнього середовища. Тому в кожному конкретному розрахунку необхідно вказувати, що взято за навколишнє середовище.

Основні причини ексергетичних втрат і зменшення ексергетичного ККД зумовлені зовнішніми і внутрішніми ексергетичними втратами. Зовнішні ексергетичні втрати викликані потоками речовини, що виносять ексергію з системи. Внутрішні втрати відбуваються як результат теплообміну за кінцевої різниці температур або масообміну за кінцевої різниці концентрацій, внаслідок механічного тертя і гідравлічного опору, хімічних реакцій в нерівноважних умовах, зменшення магнітного або електричного поля під дією електричного опору тощо.

Аналіз ефективності роботи такого обладнання і процесів, що протікають в ньому, необхідно виконувати на основі складання ексергетичного балансу, який полягає в розрахунку ексергії матеріальних потоків і ексергетичних втрат. Під час складання такого балансу дуже важливо ясно уявити межі досліджуваної системи (процесу, установки в цілому або окремої її частини) і визначити місця, де ексергетичний потік перетинає ці межі.

Розглянемо методику розрахунку ексергії матеріальних потоків, які мають місце в процесах, що використовують теплоту, наприклад в камерних конвективних сушильних установках.

Питома ексергія потоку речовини (теплоносія), склад якого не змінюється, матиме вигляд

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0), \quad (3)$$

де h – питома ентальпія потоку речовини, кДж/кг; s – питома ентропія потоку речовини, кДж/(кг·К); h_0 – питома ентальпія потоку речовини в стані рівноваги з навколишнім середовищем, кДж/кг; s_0 – питома ентропія потоку речовини в стані рівноваги з навколишнім середовищем, кДж/(кг·К).

Питому ексергію палива можна визначити за формулами, які запропонував Зоран Рант [7]:

– для рідкого палива з більше як одним атомом вуглецю в молекулі

$$e_0 = 0,975 \cdot Q_B^P; \quad (4)$$

– для твердих палив з обов'язковим врахуванням їх вмісту вологи

$$e_0 = (1 - u) \cdot Q_B^P; \quad (5)$$

– для газоподібного палива з більше як одним атомом вуглецю в молекулі

$$e_0 = 0,95 \cdot Q_B^P; \quad (6)$$

– для коксового і світильного газів та метану

$$e_0 = Q_H^P, \quad (7)$$

де Q_H^P, Q_B^P – нижча і вища теплоти згоряння палива, кДж/кг.

Як теплоносії в конвективних сушарках широко застосовується атмосферне повітря після підігрівання в калорифері. Повітря завжди містить деяку кількість водяної пари, повністю сухим воно не буває. Ексергію вологого повітря можна подати у вигляді суми ексергій водяної пари і сухого повітря [2]

$$e_{в.п} = e_{с.п} + d \cdot e_{п}, \quad (8)$$

де $e_{п}$, $e_{с.п}$ і $e_{в.п}$ – відповідно ексергія водяної пари, сухого і вологого повітря, кДж/кг; d – вологовміст повітря, кг/кг.

Ексергію вологого повітря можна визначити за рівнянням

$$e_{в.п} = C_{p_{с.п}} \cdot (t - t_0) - T_0 \left[C_{p_{с.п}} \cdot \ln \frac{T}{T_0} - R_{с.п} \cdot \ln \frac{p - \varphi \cdot p_{п}(t)}{p_0 - \varphi_0 \cdot p_{п}(t_0)} \right] + d \cdot [h_{п} - h_{п0} - T_0 \cdot (s_{п} - s_{п0})], \quad (9)$$

де $C_{p_{с.п}}$ – ізобарна теплоємність сухого повітря, кДж/(кг·К); p , p_0 – повні тиски повітря в потоці і навколишньому середовищі, Па; $R_{с.п}$ – газова стала сухого повітря, кДж/(кг·К); φ , φ_0 – відносні вологості повітря в потоці і навколишньому середовища; T , T_0 – температури потоку і навколишнього середовища, К; $h_{п}$, $s_{п}$ – ентальпія (кДж/кг) і ентропія, (кДж/(кг·К)) пари за параметрів потоку; $h_{п0}$, $s_{п0}$ – ентальпія і ентропія пари за параметрів навколишнього середовища; $p_{п}(t)$, $p_{п}(t_0)$ – тиски насичення водяної пари за температур потоку і навколишнього середовища, Па.

Якщо розглядати вологе повітря як суміш двох ідеальних газів, то його ексергія

$$e_{в.п} = C_{p_{в.п}} \cdot (t - t_0) - T_0 \left[C_{p_{в.п}} \cdot \ln \frac{T}{T_0} - \frac{R_{с.п}}{1 + \chi} \cdot \ln \frac{p_{с.п}}{p_{с.п0}} - \frac{\chi \cdot R_{п}}{1 + \chi} \cdot \ln \frac{p_{п}}{p_{п0}} \right], \quad (10)$$

де $C_{p_{в.п}}$ – ізобарна теплоємність вологого повітря, кДж/(кг·К); $p_{с.п}$, $p_{п}$ – парціальні тиски сухого повітря і водяної пари, відповідно, Па; $R_{п}$ – газова стала водяної пари, кДж/(кг·К); $p_{с.п0}$, $p_{п0}$ – парціальні тиски сухого повітря і водяної пари в навколишньому середовищі, відповідно, Па.

Ізобарна теплоємність вологого повітря визначається за рівнянням

$$C_{p_{в.п}} = C_{p_{с.п}} + d C_{p_{п}}, \quad (11)$$

де $C_{p_{п}}$ – теплоємність водяної пари в повітрі, кДж/(кг·К).

Вода і водяна пара широко використовуються в теплоенергетичних установках. Їх ексергія

$$e_{п} = C_{p_{п}} \cdot (t - t_0) - T_0 \left[C_{p_{п}} \cdot \ln \frac{T}{T_0} - R_{п} \cdot \ln \frac{1}{\varphi_0} \right], \quad (12)$$

де $C_{p_{п}}$ – теплоємність води, кДж/(кг·К); φ_0 – відносна вологість навколишнього середовища.

Ексергія продуктів згорання

$$e_{п.з} = e_{т} + e_{р} + e_0, \quad (13)$$

$$e_{т} = C_{p_{п.з}} \cdot (t - t_0) - T_0 \cdot C_{p_{п.з}} \cdot \ln \frac{T}{T_0}; \quad e_{р} = T_0 \cdot R_{п.з} \cdot \ln \frac{p}{p_0};$$

де e_0 , $e_{т}$ – хімічна і термічна складові ексергії продуктів згорання, кДж/кг; $e_{р}$ – ексергія, що виникає через різницю тисків продуктів згорання і тиску навколишнього середовища; $C_{p_{п.з}}$ – середня ізобарна теплоємність димових газів (продуктів згорання), кДж/(кг·К); $R_{п.з}$ – газова стала продуктів згорання, кДж/(кг·К).

В разі розрахунку термічної ексергії продуктів згорання використовують середньотемпературні теплоємності компонентів в інтервалі від теоретичної температури горіння до температури навколишнього середовища

$$t_{г}^{теор} = \frac{Q_{н}^p}{\sum_i m_i^0 \cdot C_{p_i}} = \frac{Q_{н}^p}{m_{п.з}^0 \cdot C_{p_{п.з}}}, \quad (14)$$

де m_i^0 – відносна маса і-го компонента продуктів згорання, кг/кг; $m_{п.з}^0$ – відносна маса продуктів згорання, кг/кг; C_{p_i} – середня ізобарна теплоємність і-го компонента продуктів згорання, кДж/(кг·К).

Хімічна ексергія e_0 визначає величину максимальної роботи, яка може бути отримана за оборотного вирівнювання парціальних тисків компонентів продуктів згорання і навколишнього середовища. За температури продуктів згорання 650–700 °С величина хімічної складової ексергії e_0 становить 10...12 % від термічної складової $e_{т}$ [8].

Ексергетичний коефіцієнт корисної дії, який відображає досконалість термодинамічного циклу, визначається як відношення корисно використаної ексергії до витраченої

$$\eta_{\text{екс}} = \frac{E_{\text{отр}}}{E_{\text{затр}}} = 1 - \frac{E_{\text{отр}}}{E_{\text{затр}}} = 1 - \varphi, \quad (15)$$

де $\varphi = E_{\text{отр}}/E_{\text{затр}}$ – коефіцієнт ексергетичних втрат.

За запропонованою методикою виконано розрахунки ексергетичного ККД камерної конвективної сушарки залежно від температури навколишнього середовища і температури відпрацьованого теплоносія (рис. 1, рис. 2).

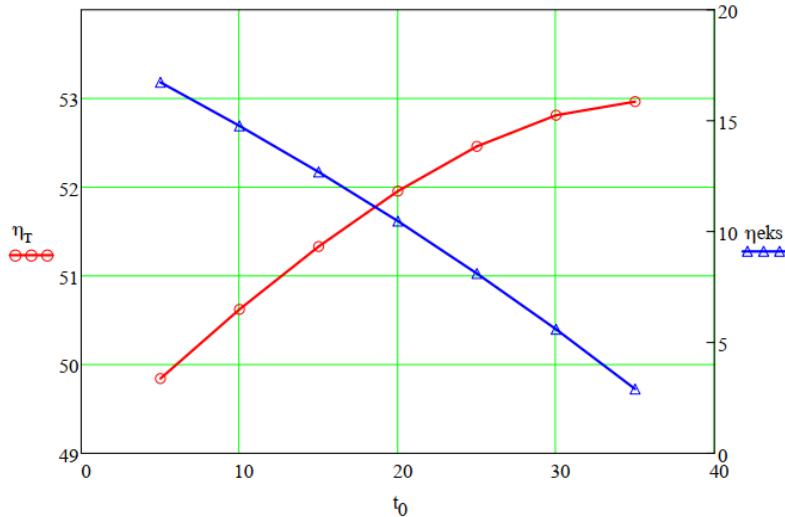


Рисунок 1 – Залежність ККД від температури навколишнього середовища η_T – тепловий ККД, $\eta_{\text{екс}}$ – ексергетичний

Розрахунки показують (рис. 1), що зі збільшенням температури вхідного теплоносія від 5 °С до 35 °С ексергетичний ККД змінюється в межах 4...16%. Ексергетичний коефіцієнт корисної дії обернено пропорційно залежить від температури навколишнього середовища – чим вона вища, тим менший ексергетичний ККД, а теплові втрати тим менші, чим більша температура навколишнього середовища і відповідно збільшується тепловий ККД.

Із рис. 2 видно, що зі збільшенням температури відпрацьованого теплоносія від 50 до 80 °С ексергетичний і тепловий ККД зменшуються, оскільки зростають втрати теплоти з відпрацьованим теплоносієм.

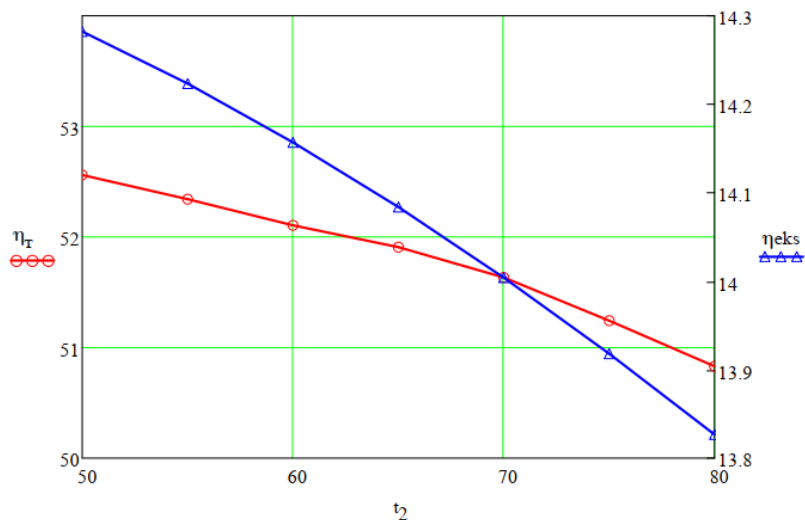


Рисунок 2 – Залежність ККД від температури відпрацьованого теплоносія η_T – тепловий ККД, $\eta_{\text{екс}}$ – ексергетичний

Для підвищення ексергетичного ККД камерних сушильних установок необхідно зменшувати ексергетичні втрати в калориферах, тому не рекомендовано використовувати парові калорифери, варто надавати перевагу електричним ТЕНам або піролізним котлам непрямого нагрівання повітря. Також рекомендується зменшувати втрати теплоти під час змішування відпрацьованого і свіжого теплоносія, зменшувати температуру вхідного теплоносія, що не завжди є можливим.

Висновки

Запропоновано методику розрахунку окремих складових ексергетичного балансу для нестационарних тепломасообмінних процесів, зокрема процесів сушіння. Ексергетичний метод аналізу, який базується на другому законі термодинаміки, дозволяє оцінити рівень використання енергії, її втрати, а також отримати розподіл цих втрат за окремими етапами виробництва, тобто виявити найменш ефективні з них.

Встановлено, що зі збільшенням температури вхідного теплоносія (навколишнього середовища) від 5 до 35 °С ексергетичний ККД змінюється в межах 4...16 % причому зі зростанням температури навколишнього середовища ексергетичний ККД камерних сушильних установок зменшується. На відміну від ексергетичного тепловий ККД сушильної установки змінюється в межах 5 %, причому зі збільшенням температури теплоносія на вході він зростає, а зі збільшенням температури теплоносія на виході зменшується в таких самих межах.

Ексергетичний метод зручний для порівняння однотипних процесів хімічних технологій, оскільки нерівність їх ККД свідчить про можливість вдосконалення одного з них за допомогою зниження незворотності чи ефективнішого використання теплоти. Застосування ексергетичного аналізу ефективне під час дослідження також хіміко-технологічних систем на основі балансів, що мають велику кількість джерел та стоків енергії. За допомогою такого підходу можна вирішити завдання створення енергетично замкнутих виробництв, оскільки є можливість оцінення як внутрішніх і зовнішніх втрат, так і потенціалів енергетичних потоків.

Аналіз процесу сушіння за ексергетичними характеристиками ефективніший, ніж за тепловими, оскільки оптимізація тепловологісних процесів сушіння і самих сушарок має містити як зниження теплових втрат, так і більш результативне використання обладнання. Це справедливо лише для апаратів, у яких відбувається хімічне перетворення матеріалів за їх термічної обробки, а саме такими є конвективні сушарки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Салашенко Т. И. Эксергия и энергия – основа потенциала энергосбережения промышленного предприятия. *Економіка розвитку*. 2009. № 1. С. 95–96. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecro_2009_1_32.
2. Эксергетические расчеты технических систем (справочное пособие под ред. А. А. Долинского и В. М. Бродянского). – Киев : Наукова думка, 1991. 361 с.
3. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й. Основи технічної термодинаміки. – Вінниця : Поділля–2000, 2004. 351 с.
4. Dincer I., Cengel YA. Energy, Entropy and Exergy Concepts and Their Roles in Thermal Engineering. *Entropy* 2001, 3, 116–149. URL: <https://www.mdpi.com/1099-4300/3/3/116>
5. Michel Pons. Exergy Analysis and Process Optimization with Variable Environment Temperature. *Energies*, 2019, 12, pp.4655:1-19. URL: <https://hal.science/hal-02401535/document>
6. Лабай В. Й., Герасим Д. І., Генсецький М. П. Дослідження енергозбереження в системі кондиціонування повітря чистого приміщення за ексергоефективністю. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. № 9. С. 137–141. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/21/2017_9/26.pdf
7. Rant Zoran. *Termodinamika : Knjiga za uk in prakso* – Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2000. 644 s.
8. Шаргут Я., Петела Р. Эксергия / перевод с польского под ред. В. М. Бродянского. Москва : Энергия, 1968. 279 с.

REFERENCES

1. Salashenko T. I. Exergy and energy – the basis of the energy-saving potential of a industrial enterprise. *Development Economics*. 2009. 1. P. 95-96. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecro_2009_1_32. date of application 01.20.2023.
2. Exergetic calculations of technical systems (reference manual under the editorship of A. A. Dolynsky and V. M. Brodyansky). – Kyiv: Naukova dumka, 1991. 361 p.
3. Chepurnyy M.M., Tkachenko S.Y. *Osnovy tekhnichnoyi termodynamiky*. – Vinnytsya: Podillya–2000, 2004. 351 s.
4. Dincer I., Cengel YA. Energy, Entropy and Exergy Concepts and Their Roles in Thermal Engineering. *Entropy* 2001, 3, 116–149. URL: <https://www.mdpi.com/1099-4300/3/3/116>
5. Michel Pons. Exergy Analysis and Process Optimization with Variable Environment Temperature. *Energies*, 2019, 12, pp.4655:1-19. URL: <https://hal.science/hal-02401535/document>
6. Labay V.Y., Herasym D.I., Hensets'kyu M.P. *Doslidzhennya enerhozberezhennya v systemi kondytsiyu-vannya povitrya chystoho prymyshchennya za ekserhoefektyvnistyuu*. *Enerhoefektyvnist' v budivnytstvi ta arkhitekturi*. № 9. S. 137–141. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/21/2017_9/26.pdf
7. Rant Zoran. *Thermodynamics : book for teaching and practice* / Zoran Rant. – Ljubljana: Faculty of Mechanical Engineering, 2000. 644 p.
8. Shargut YA., Petela R. *Eksergiya / perevod s pol'skogo podred. V.M. Brodyanskogo*. Moskva : Ener-giya, 1968. 279 s.

Співак Олександр Юрійович – к-т. техн. наук, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: spivak000@gmail.com.

Резидент Наталія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, e-mail: rezidentnv1@ukr.net ORCID: 0000-0001-5400-3889.

Кримняк Ярослав Миколайович – студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: krimnyak2003@gmail.com.

O. Spivak
N. Rezydent
Y. Krymnyak

ANALYSIS OF COMPONENT EXERGETIC EFFICIENCY CHAMBER CONVECTIVE DRYER

Vinnytsia National Technical University

A methodology for calculating individual components of the exergy balance and the exergy coefficient of useful action for non-stationary heat and mass transfer processes, in particular drying processes, is proposed. It is shown that the analysis of the drying process by exergetic characteristics is more effective than by thermal characteristics, as it makes it possible to estimate both internal and external losses, as well as the potential of energy flows. Calculations of exergetic and thermal efficiency of the chamber convective dryer were performed on the basis of the proposed methodology. It was established that when the temperature of the incoming heat carrier changes from 5 to 35°C, the exergetic efficiency of the drying unit changes within 4...16%, while the thermal efficiency determined using heat balance equations is about 50%. It is shown that with an increase in the temperature of the surrounding environment, the exergetic efficiency of chamber drying units decreases significantly, and the thermal efficiency changes within 5%, while it increases with an increase in the temperature of the heat carrier at the input, and decreases with an increase in the temperature of the heat carrier at the outlet in such the very limits. Exergy losses in drying plants are due to losses caused by flows of substances that carry exergy out of the system, losses as a result of heat exchange at a finite temperature difference, or mass exchange at a finite concentration difference, as a result of mechanical friction and hydraulic resistance, chemical reactions in non-equilibrium conditions, reduction of the magnetic or electric field under the action of electric resistance, etc. To increase the exergy efficiency of chamber drying units, it is necessary to reduce the exergy losses in the heaters, therefore it is preferable not to use steam heaters, it is worth giving preference to electric heaters or pyrolysis boilers of indirect air heating. It is also necessary to reduce heat loss during mixing of spent and fresh heat carrier, to reduce the temperature of the incoming heat carrier.

Key words: drying, dryer, exergy, coefficient of useful action, exergy coefficient of useful action

Oleksandr Spivak – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: spivak000@gmail.com.

Natalia Rezydent – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rezidentnv1@ukr.net.

Yaroslav Krymnyak – student of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: krimnyak2003@gmail.com.

МІСЬКЕ БУДІВНИЦТВО ТА АРХІТЕКТУРА

УДК 711.7: 625.7

DOI 10.31649/2311-1429-2023-1-107-114

О. І. Хороша
А. С. Субін-Кожевнікова
А. Р. Данильчук

УРБАНІЗАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ: ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ
РЕГІОНАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ПРОБЛЕМ

Вінницький національний технічний університет

Збільшення кількості населення, що проживають у містах, призводить до зростання кількості транспорту і появи транспортних проблем, таких як затори, забруднення повітря та відсутність достатньої кількості паркувальних місць. Для ефективного управління урбанізаційними процесами необхідно розвивати сталі та інноваційні підходи до міського планування, будівництва інфраструктури, забезпечення доступу до житла, освіти та охорони здоров'я. Створення ефективної системи громадського транспорту, зелених зон, стимулювання сталого споживання та енергоефективності є важливими кроками у напрямку сталого розвитку міст.

Збільшення потоку транспортних засобів, в процесі урбанізації, призводить до зниження якості життя для мешканців населених пунктів та робить наші міста менш привабливими для туристів. Такі проблеми є особливо загрозливими для міст з обмеженою територією або з історичною забудовою, де вузькі вулички і відсутність достатньої кількості автомобільних парковок ускладнюють ситуацію. Проте, правильне планування та управління можуть допомогти містам стати більш життєздатними та зручними для проживання, забезпечуючи високу якість життя для мешканців.

Отже, для впровадження раціональних методів боротьби з транспортними проблемами сучасності на регіональному рівні, варто звернутись до вдалих прикладів світового суспільства.

Ключові слова: сталий розвиток міст, транспорт, автомобіль, паркінг, проблеми, рішення.

Вступ

Урбанізація є невід'ємною складовою сучасного світу, із мільярдами людей, що мігрують із сільських районів до міст, надаючи стимул для розвитку та процвітання. Однак, разом зі зростанням населення міст, глобальна урбанізація із собою несе й низку проблем, особливо в галузі транспорту. Збільшення кількості жителів міст призводить до заторів, перевантаження громадського транспорту та забруднення повітря, що негативно впливає на якість життя людей та стан довкілля. Затори на дорогах стають щоденною реальністю, спричиняючи втрату часу, енергії та ресурсів. Внаслідок цього, ефективність громадського транспорту знижується, а люди шукають альтернативи, яка часто полягає у придбанні власного автомобіля, що призводить до ще більшого навантаження на дороги та забруднення довкілля [1].

Однак, світові міста розуміють ці виклики та поступово переходять до прийняття заходів для подолання транспортних проблем. Інвестиції у розвиток ефективних систем громадського транспорту, сприяння використанню сталої транспортної інфраструктури та стимулювання альтернативних форм пересування містом, таких як велодоріжки та пішохідні зони, стають основними напрямками протидії [2].

Отже, метою дослідження є огляд світових практик вирішення транспортних проблем та обґрунтування методичних основ протидії транспортним проблемам на регіональному рівні.

Основна частина

Опис проблеми. Із розвитком міст і збільшенням кількості населення з'явилась значна кількість особистого транспорту, що призвело до виникнення ряду проблем. Однією з найбільш помітних є затори [2]. Негативними наслідками такого явища стали:

- різке зниження пропускної здатності доріг;
- порушення роботи екстрених і оперативних служб;
- загальне збільшення часу подорожей (що може завдавати економічної шкоди);
- непередбачуваність часу в дорозі;
- збільшення витрати палива;
- збільшення забруднення;
- збільшення аварійності.

Очевидно, що найбільше від дорожніх корків потерпає столиця України. Станом на 2022 рік, Київ посів 3 місце у світі в рейтингу заторів, за даними нідерландської компанії TomTom. В середньому, поїздки киян тривають на 56 % довше, ніж могли б тривати. У 2021 році цей показник

становив 51 % [3]. За прогнозами транспортних експертів, до 2025 року середньостатистичний киянин витратить на дорогу до місця роботи і назад додому 4 години.

Також це не стало винятком і для інших великих міст України. Станом на 2022 рік, Одеса посіла 6 місце у світовому рейтингу заторів (51 % затримки в середньому), Харків – 12-е місце у світі (46 %), Дніпро – 25-е місце (40 %) (рис. 1).

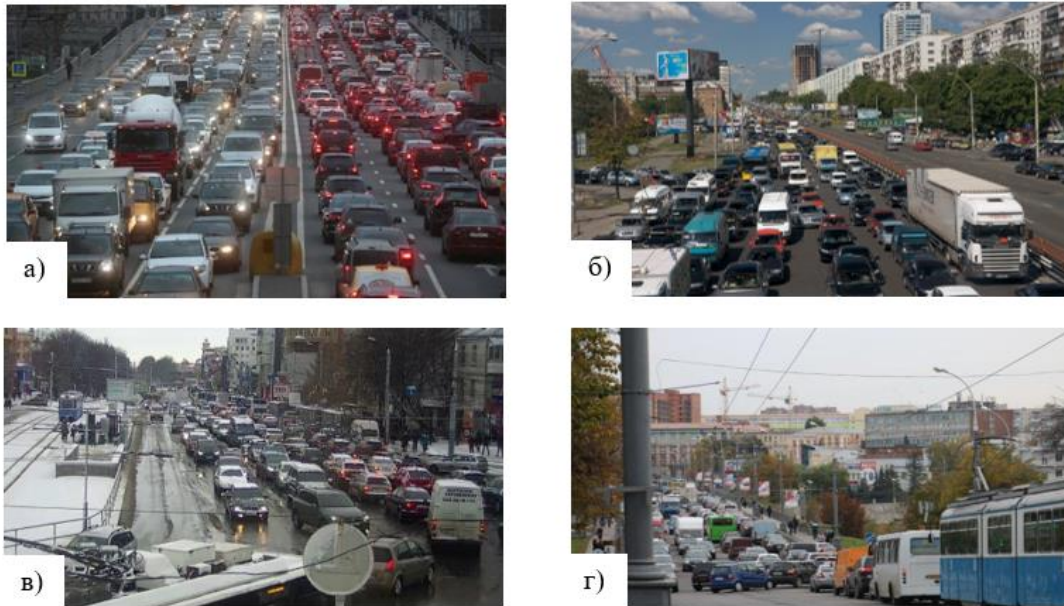


Рисунок 1 – Затори у містах України: а), б) місто Київ; в), г) місто Вінниця

Іншою проблемою такої кількості транспорту стала проблема з паркуванням. Адже для влаштування пакувальних місць потрібна значна територія, яку не завжди виходить надати у зв'язку з обмеженістю існуючої міської забудови. Через це часто власники автомобілів паркують їх обабіч доріг, що може ускладнювати рух інших учасників дорожнього руху, в тому числі і пішоходів. Найчастіше такі явища можна спостерігати на вузьких вулицях, та біля авто- та залізничних вокзалів. А у туристичних містах це може викликати дискомфорт і у гостей міста (рис. 2) [4].



Рисунок 2 – Приклади неправильного паркування через які пішоходи відчують труднощі; а) паркування на тротуарах; б) загороження переходів та проходів машинами.

Також проблемою, що виникає у процесі урбанізації є екологічна криза. Відомо, що автомобілі викидають у повітря значну кількість вуглекислого газу, а також, що саме це стало однією з причин глобального потепління. До середини XXI ст. очікується подвоєння концентрації газу, що мала місце перед початком науково технічної революції. У результаті «тепличного ефекту» до 30-х рр. XXI ст. може статися підвищення середньої температури приземного шару повітря на $3 \pm 1,5^\circ \text{C}$, причому максимальне потепління станеться в приполярних зонах, мінімальне – біля екватора. Очікується збільшення швидкості танення льодовиків і підняття рівня океану з темпом понад 0,5 см/рік [5].

Але забруднення атмосфери призводить не тільки до глобального потепління, а також до кислотних опадів. Вони є частим явищем у країнах Європи, Північної Америки, а також у районах найбільших агломерацій Азії і Латинської Америки. Головна причина кислотних опадів – надходження сполук сірки і азоту в атмосферу при спалюванні викопного палива в двигунах транспорту. Кислотні опади завдають шкоди будівлям, пам'яткам і конструкціям загалом,

викликають загибель лісів, знижують урожай багатьох сільськогосподарських культур, погіршують родючість ґрунтів, і стан водних екосистем.

Вдалі світові приклади вирішення транспортних проблем. Одним з найяскравіших прикладів рішення проблеми з транспортом є місто Барселона. Барселона – місто свободи та комфорту. Цікаво, що сучасна Барселона як світовий центр інновацій ще в середині XIX століття була непристосованою та навіть небезпечною для життя. Суцільні кам'яні стіни, вузькі вулички, потужний розвиток промисловості – як наслідок брак свіжого повітря призводили до епідемій. Місто задихалося. І невідомо, щоби з ним сталося, якби не один іспанський інженер-будівельник, який запропонував розширити Барселону, враховуючи потрібну кількість повітря на окрему людину. Так Барселона стала успішним зразком містобудування, інноваційним містом, де зародився новий напрямок розвитку міста – урбаністика [6].

До метрополії Барселони входять 36 містечок з населенням близько 3,2 млн людей. Метрополія була створена регіональним парламентом. Тому правила, які там діють, є обов'язковими для усіх муніципалітетів, що входять до її складу. До повноважень органу управління метрополією входить не лише мобільність і транспорт, але й міське планування, питання довкілля, управління відходами, економічний розвиток і ще багато повноважень, необхідних для розвитку території.

Якщо говорити про громадський транспорт і мобільність, метрополія відповідає за:

- розвиток мережі наземних транспортних маршрутів: загалом 212 автобусних маршрутів;
- розвиток мережі підземних транспортних маршрутів: 8 гілок метро;
- роботу муніципального таксі: видано 10,5 тисяч ліцензій;
- проектування мережі доріг і транспортного сполучення;
- просування інших видів транспорту тощо.

Цими питаннями займається орган міської ради Барселони, але він надає послуги усім муніципалітетам в рамках метрополії [6].

У Барселоні кардинально змінили схему автобусних маршрутів, щоб вона була зрозумілою містянам, з акцентом на архітектурну спадщину. Зараз людині, щоб дістатися у будь яку локацію міста, треба зробити не більше однієї пересадки.

Ідея була в тому, щоб автобусні маршрути охопили все місто. Зараз 9 міст метрополії з'єднують з Барселоною 11 швидкісних автобусних маршрутів. На цих маршрутах постійно курсують 70 автобусів. Ще 8 муніципалітетів з Барселоною з'єднують 9 високочастотних автобусних маршрутів, де курсують 110 автобусів (рис. 3).

Отже правильне планування та управління інфраструктурою міста спонукають до сталого розвитку. Вдалі європейські практики можливо запровадити і в Україні.

Вирішення проблеми. Планування, забудова та розвиток сучасних українських міст здійснюється відповідно до вимог державних будівельних норм [7].

Просторовий розвиток Вінниці здійснюється відповідно до затвердженої «Комплексної стратегії міського транспорту та просторового розвитку», що закладає основу для генерального плану м. Вінниця. Основне завдання якої – створити просторові умови для покращення якості екології міста, його соціальних зв'язків, економічного зростання – тобто, сталого розвитку [8].

Згідно стратегії «Вінниця 2030», розвиток міста орієнтовано на модель Компактного міста для подальшого розвитку. Такий тип розвитку зумовлює ряд екологічних покращень, таких як зменшення забруднення повітря від транспорту та підвищення енергоефективності [9].

Отже, завдяки правильному плануванню та управлінню урбанізаційними процесами, транспортні проблеми сучасності можна вирішити. Розглянемо основні підходи, що є основою світових практик та можуть бути впроваджені на регіональному рівні, зокрема у Вінниці:

1. Розвиток громадського транспорту: необхідні інвестиції у розвиток ефективних систем громадського транспорту, таких як метро, трамваї, автобуси та електричні транспортні засоби, що сприятиме зменшенню використання приватного автотранспорту та зменшенню заторів.

2. Заохочення використання сталої транспортної інфраструктури, такої як велосипедні доріжки, пішохідні зони та електричні транспортні засоби, що зменшить негативний вплив автомобілів на навколишнє середовище і покращити рух у місті (рис. 4).

3. Інтеграція різних видів транспорту: забезпечення зручного та ефективного переходу між різними видами транспорту (наприклад, між громадським транспортом та велосипедами), що сприятиме зменшенню використання приватного автотранспорту.

4. Формування нових зелених зони та відкритих просторів: створення нових локацій, де мешканці можуть активно використовувати велосипеди або ходити пішки, що також сприятиме зменшенню потреби в автомобілях та поліпшить якість життя мешканців.

5. Впровадження сучасних технологій, зокрема технологій управління транспортним рухом,

таких як інтелектуальні системи керування світлофорами та маршрутизації громадського транспорту, що сприятиме оптимізації транспортного потоку [10].



а)



б)



в)

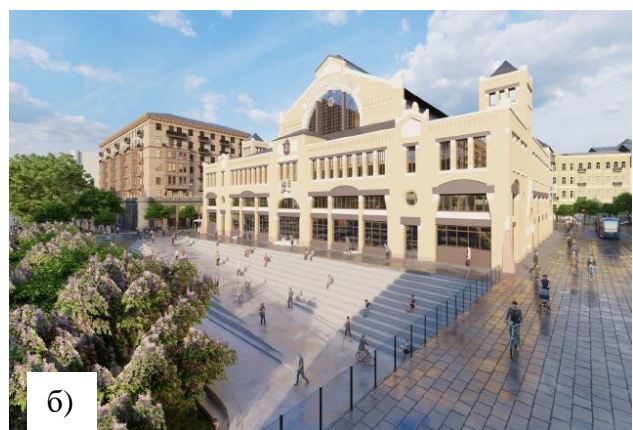


г)

Рисунок 3 – Громадський транспорт Барселони: а) метрополітен; б) трамвай; в) автобусне сполучення; г) велоінфраструктура.



а)



б)

Рисунок 4 – Площа Бессарабська у м. Києві: а) існуючий стан; б) пропозиція пішохідної зони.

Розвиток громадського транспорту має багато позитивних ефектів для міст та їх мешканців. Розглянемо деякі аспекти [1, 2].

- Розвиток метро. Метро є однією з найшвидших та найефективніших форм громадського транспорту, тому інвестиції в будівництво нових ліній та модернізацію існуючих можуть значно покращити доступність та швидкість пересування містян. Це залучить більше людей до використання метро замість приватного автотранспорту.
- Трамваї та електричні автобуси. Впровадження електричних транспортних засобів, таких як трамваї та електричні автобуси, має безліч переваг. Вони екологічно чистіші, мають менший рівень шуму та сприяють зменшенню забруднення повітря.
- Розширення та оптимізація автобусних маршрутів. Інвестиції у розвиток автобусної інфраструктури, зокрема у розширення мережі маршрутів та покращення розкладів, можуть зробити громадський транспорт більш зручним та доступним. Це може переконати більше людей відмовитися від власних автомобілів на користь автобусів.
- Інтеграція транспортних систем. Розвиток системи, що об'єднує різні види громадського

транспорту, таких як інтегровані квитки та зручні пункти пересадок, може сприяти збільшенню ефективності і зручності використання громадського транспорту.

Всі ці заходи спрямовані на поліпшення якості та доступності громадського транспорту, що в свою чергу може сприяти зменшенню використання приватного автотранспорту та зменшенню заторів. Правильно налаштована система громадського транспорту може стимулювати мешканців міста використовувати більш сталі, екологічно чисті та ефективні засоби пересування (рис. 5).



Рисунок 5 – Сучасний громадський транспорт м. Вінниці: а) автобус; б) трамвай; в) тролейбус.

Підтримка сталої транспортної інфраструктури сприяє поліпшенню якості життя мешканців міста на різних рівнях [1, 2]:

- Велосипедні доріжки. Інвестиції у велосипедну інфраструктуру, включаючи будівництво велосипедних доріжок та парковок для велосипедів, можуть стимулювати людей пересісти з автомобілів на велосипеди. Велосипеди є екологічно чистими транспортними засобами і зменшують негативний вплив на атмосферу. Вони також займають менше місця на дорозі, що допомагає зменшити затори і позитивно впливають на життя і здоров'я містян (рис. 6).

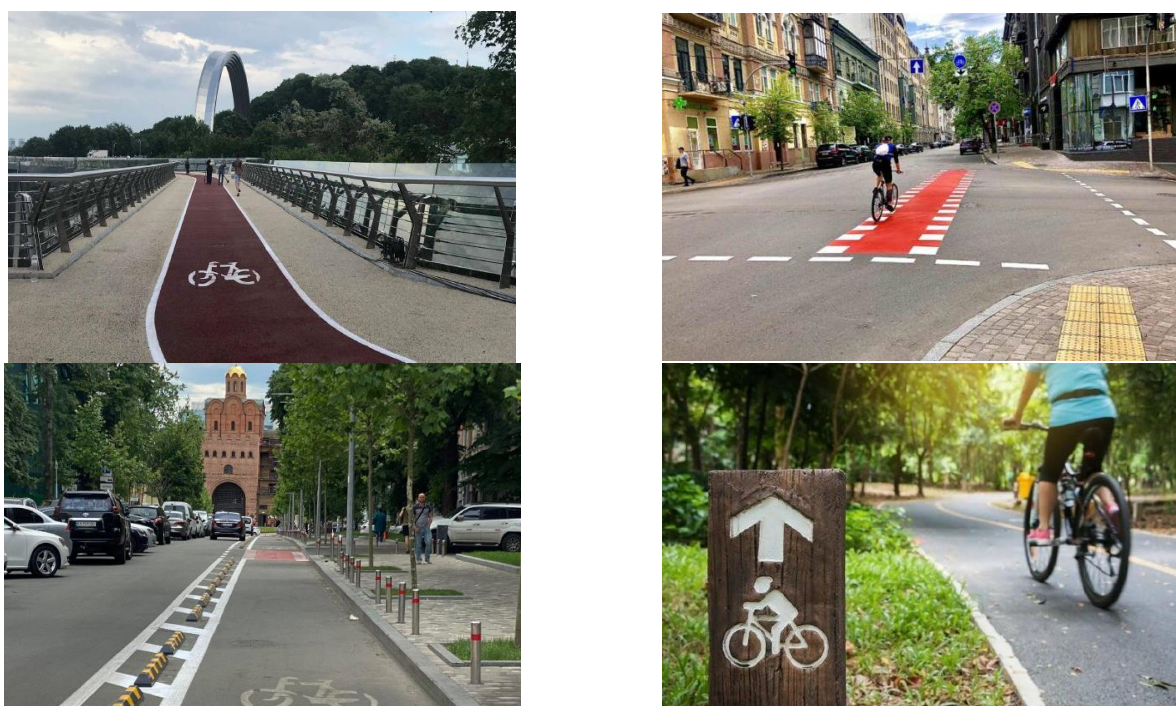


Рисунок 6 – Приклади організації велосипедних доріжок у м. Києві.

- Пішохідні зони. Створення пішохідних зон, де автомобільний рух обмежений або заборонений, створює безпечне та зручне середовище для пішоходів. Інвестиції у розвиток пішохідних зон, включаючи тротуари, зелені зони та зони для відпочинку, можуть підтримати активний спосіб життя та зменшити залежність від автомобілів для коротких поїздок [3].
- Зелені розв'язки. Розвиток зелених розв'язок, таких як парки, сквери та ландшафтні зони, може стимулювати пішоходів і велосипедистів вибирати більш екологічні способи пересування. Вони не тільки поліпшують якість повітря, але й забезпечують приємне середовище для активного життя та відпочинку.

Отже, основою вирішення транспортних проблем Вінниці є громадський транспорт, що забезпечує зручний та доступний спосіб переміщення для широкої аудиторії, включаючи осіб з обмеженими можливостями та низьким рівнем доходів. Він зменшує необхідність володіти

автомобілем та сприяє більш ефективному використанню простору в місті, що призводить також до зменшення заторів і шуму. Це поліпшує якість середовища та забезпечує спокійну та комфортну атмосферу для мешканців міста.

Також громадський транспорт сприяє більш ефективному використанню ресурсів, зокрема енергії. Він може бути екологічно чистішим, особливо якщо використовуються електричні або гібридні транспортні засоби, що сприяє зменшенню викидів шкідливих газів і забруднення довкілля.

Розвиток сталої транспортної інфраструктури Вінниці є також важливим елементом сталого розвитку міста. Він сприяє компактній забудові, відкритості міського простору, зменшенню залежності від автомобілів та забезпечує більш збалансований розвиток міста, що, безумовно, позначається позитивно на здоров'ї містян. Використання громадського транспорту спонукає людей до більш активного способу життя, оскільки вони частіше ходять пішки або велосипедом до зупинок та від них. Це сприяє підвищенню фізичної активності та здоров'я, а також зменшує ризик виникнення хронічних захворювань, пов'язаних з сидячим способом життя.

Усі ці переваги роблять розвиток громадського транспорту необхідним компонентом сталого та життєздатного міського середовища Вінниці.

Висновки

Встановлено, що транспортні проблеми, пов'язані з урбанізацією та розвитком міст, є актуальними та складними викликами, які вимагають негайних заходів та інноваційних рішень. Зростання кількості населення у містах призводить до заторів, перевантаження громадського транспорту та забруднення повітря, що має негативний вплив на якість життя мешканців та стан довкілля.

Проте, з'ясовано, що світові міста поступово реалізують необхідність прийняття заходів для подолання транспортних профблем. Інвестиції у розвиток громадського транспорту, сприяння використанню сталої транспортної інфраструктури та пропаганда альтернативних форм переміщення, таких як велосипеди та пішохідні зони, відіграють ключову роль у досягненні цілей сталого розвитку міст. Тому вирішення транспортних проблем Вінниці варто керуватися вдалими світовими практиками.

Встановлено, що використання технологій для моніторингу та керування транспортними потоками сприяє покращенню ефективності дорожнього руху та забезпечує оптимальне використання існуючої інфраструктури. Високий рівень свідомості та співпраці між місцевими органами влади, громадськістю та бізнес-сектором є важливими факторами у вирішенні транспортних проблем. Необхідно прагнути до сталого розвитку міст, зберігаючи баланс між транспортними потребами, екологічною сталістю та якістю життя мешканців.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Caves, R. W. Encyclopedia of the City. Routledge. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=xrD1iuM_2LgC&oi=fnd&pg=PP2&dq=1.+Caves,+R.+W.+\(2004\).+Encyclopedia+of+the+City.+Routledge&ots=2aFOX_HGll&sig=h-MZMJDr61-pDixTdvZ1MSmFRLA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=xrD1iuM_2LgC&oi=fnd&pg=PP2&dq=1.+Caves,+R.+W.+(2004).+Encyclopedia+of+the+City.+Routledge&ots=2aFOX_HGll&sig=h-MZMJDr61-pDixTdvZ1MSmFRLA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false). Дата звернення: травень, 21, 2023.
2. Here's How Much Traffic Congestion Costs the World's Biggest Cities. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mentalfloss.com/article/530705/heres-how-much-traffic-congestion-costs-worlds-biggest-cities>. Дата звернення: травень, 21, 2023.
3. Транспортна модель агломерації: про європейський досвід для Київщини. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.slg-coe.org.ua/transportation-in-the-kyiv/>. Дата звернення: травень, 21, 2023.
4. Європейський досвід паркування. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2011/01/EPUT-Parking_russ.pdf. Дата звернення: травень, 21, 2023.
5. Bruce E. Logan. Environmental Transport Processes. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=MOkeoYbbUqMC&oi=fnd&pg=PR7&dq=environmental+transport+problems&ots=yV90-IQWb_&sig=q8UNJEYBzjTJw9PCqrOaWUvas28&redir_esc=y#v=onepage&q=environmental%20transport%20problems&f=false. Дата звернення: травень, 21, 2023.
6. «Розумна» Барселона: для сміття – підземка, для повітря – датчики. Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://iprosvita.com/rozumna-barselona-dlia-smittia-pidzemka-dlia-povitria-datchyky/>. Дата звернення: травень, 21, 2023.
7. ДБН Б 2.2-12:2019. Державні будівельні норми. Планування та забудова територій. [Електронний ресурс]. – Київ : Мінрегіон України, 2019. – 185 с. – Режим доступу : <http://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2019/07/DBNB22-12-2019.pdf>. Дата звернення: травень, 21, 2023.

8. Комплексна стратегія міського транспорту і просторового розвитку [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://2021.vmr.gov.ua/ContentLibrary/C%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%8F%20%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D1%83.pdf>. Дата звернення: травень, 21, 2023.
9. Стратегія розвитку Вінницької міської територіальної громади до 2030 року [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.vmr.gov.ua/stratetiia> Дата звернення: травень, 21, 2023.
- 10.8 Helpful Steps for Solving the Problems of Urban Transport [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.geographynotes.com/articles/8-helpful-steps-for-solving-the-problems-of-urban-transport/179>. Дата звернення: Листоп., 11, 2022.

REFERENCES

1. Caves, R. W. Encyclopedia of the City. Routledge. URL : [https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=xrD1iuM_2LgC&oi=fnd&pg=PP2&dq=1.+Caves,+R.+W.+\(2004\).+Encyclopedia+of+the+City.+Routledge&ots=2aFOX_HGII&sig=h-MZMJDr61-pDixTdvZ1MSmFRLA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=xrD1iuM_2LgC&oi=fnd&pg=PP2&dq=1.+Caves,+R.+W.+(2004).+Encyclopedia+of+the+City.+Routledge&ots=2aFOX_HGII&sig=h-MZMJDr61-pDixTdvZ1MSmFRLA&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).
2. Here's How Much Traffic Congestion Costs the World's Biggest Cities. URL : <https://www.mentalfloss.com/article/530705/heres-how-much-traffic-congestion-costs-worlds-biggest-cities>.
3. Transportna model ahlomeratsii: pro yevropeyskiy dosvid dlia Kyivshchyny. URL : <https://www.slg-coe.org.ua/transportation-in-the-kyiv/>
4. Yevropeyskiy dosvid parkuvannia. URL : https://www.itdp.org/wp-content/uploads/2011/01/EPUT-Parking_russ.pdf.
5. Bruce E. Logan. Environmental Transport Processes. URL : https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=MOkeoYbbUqMC&oi=fnd&pg=PR7&dq=environmental+transport+problems&ots=yV90-IQWb_&sig=q8UNJEYBzjTJw9PCqrOaWUvas28&redir_esc=y#v=onepage&q=environmental%20transport%20problems&f=false
6. «Rozumna» Barselona: dlia smittia – pidzemka, dlia povitria – datchyky. URL : <https://iprosvita.com/rozumna-barselona-dlia-smittia-pidzemka-dlia-povitria-datchyky/>
7. DBN В 2.2-12:2019. Derzhavni budivelni normy. Planuvannya ta zabudova terytorij. URL : <http://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2019/07/DBNB22-12-2019.pdf>.
8. Kompleksna stratehiia miskoho transportu i prostorovoho rozvytku. URL : <https://2021.vmr.gov.ua/ContentLibrary/C%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%8F%20%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D1%83.pdf>.
9. Stratehiia rozvytku Vinnytskoi miskoi terytorialnoi hromady do 2030 roku. URL : <https://www.vmr.gov.ua/stratetiia>.
- 10.8 Helpful Steps for Solving the Problems of Urban Transport URL : <https://www.geographynotes.com/articles/8-helpful-steps-for-solving-the-problems-of-urban-transport/179>.

Субін-Козжевникова Альона Сергіївна – кандидат архітектури, старший викладач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: subinkozhevnikova@vntu.edu.ua orcid.org/0000-0001-9560-0364

Хороша Оксана Іванівна – кандидат архітектури, старший викладач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: korosha@vntu.edu.ua orcid.org/0000-0002-7790-4978

Данильчук Аліна Романівна – студентка групи БМ-22мс, Кафедра будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: alina.danylchuk@gmail.com orcid.org/0000-0003-1656-4161

Alona Subin-Kozhevnikova
Oksana Khorosha
Alina Danylchuk

URBANIZATION PROCESSES: WAYS TO SOLVE REGIONAL TRANSPORT PROBLEMS

Vinnitsia National Technical University

The increase in the number of people living in cities leads to an increase in the number of transport and the emergence of transport problems, such as traffic jams, air pollution and the lack of a sufficient number of parking spaces. To effectively manage urbanization processes, sustainable and innovative approaches to urban planning, infrastructure construction, access

to housing, education and health care need to be developed. Creating an efficient system of public transport, green zones, stimulating sustainable consumption and energy efficiency are important steps towards sustainable urban development.

Increasing the flow of vehicles, in the process of urbanization, leads to a decrease in the quality of life for residents of settlements and makes our cities less attractive to tourists. Such problems are especially threatening for cities with limited territory or with historical buildings, where narrow streets and the lack of a sufficient number of car parks complicate the situation. However, proper planning and management can help cities become more viable and comfortable to live in, ensuring a high quality of life for residents.

So, to implement rational methods of dealing with transport problems of our time at the regional level, it is worth turning to successful examples of world society.

Key words: *sustainable development of cities, transport, car, parking, problems, solutions.*

Subin-Kozhevnikova Alona – PhD, Senior Lecturer of Department construction, urban and architectural, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: subinkozhevnikova@vntu.edu.ua orcid.org/0000-0001-9560-0364.

Khorosha Oksana – PhD, Senior lecturer of Department construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: korosha@vntu.edu.ua orcid.org/0000-0002-7790-4978.

Danylchuk Alina – student of Department construction, urban and architectural, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: alina.danylchuk@gmail.com orcid.org/0000-0003-1656-4161

О. І. Хороша
А. С. Субін-Кожевнікова
Є. М. Вікторова
М. М. Кушнір

КОЛОРИСТИКА ФАСАДІВ БУДІВЕЛЬ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ФОРМУВАННЯ СЕРЕДОВИЩА

Вінницький національний технічний університет

Стаття присвячена дослідженню важливості колористики фасадів будівель вищих навчальних закладів та її впливу на формування сприятливого середовища. Вона аналізує роль кольору в архітектурі та психологічні аспекти, пов'язані з використанням різних кольорів на фасадах. Дослідження показує, що правильне використання колористики може створювати сприятливу атмосферу для навчання, сприяти творчому мисленню та покращувати настрій студентів та викладачів. В статті представлені висновки, експериментальні дані та рекомендації щодо використання колористики для створення приємного та стимулюючого середовища в університетських будівлях, головних корпусах навчальних закладів, а також будівлях території кампусів.

Фактично колір у вирішенні фасадного вигляду виступає як фактор покращення або руйнування цілісності та естетики середовища. Правильне використання фактору кольору може призвести до позитивних ефектів – пом'якшення помилок у організації урбаністичного середовища, виділення окремих ансамблів і споруд, покращення психологічного комфорту, навіть зростання загального культурного рівня. Але для цього необхідне проведення досліджень сприйняття кольору у рамках системи чинників комфорту, як з точки зору психології сприйняття, так і архітектурної практики та формування загального середовища.

Ключові слова: фасад, середовище, колористика, архітектура, формування,

Вступ

Фасад будівлі є важливим елементом її архітектури, який має значний вплив на зовнішній вигляд і сприйняття оточуючими. Колористика, як один з ключових аспектів дизайну фасадів, відіграє вирішальну роль у формуванні середовища, особливо в контексті вищих навчальних закладів. Колір має потужний психологічний вплив на емоції, настрій та поведінку людей.

Отже, метою даної статті є визначити вплив колористики фасадів вищих навчальних закладів на навколишнє середовище та дослідити розуміння впливу колористики фасадів на студентів, викладачів та інших користувачів університетських приміщень, адже даний аспект є надзвичайно важливим для створення сприятливого та стимулюючого середовища для навчання та одалських досліджень.

Основна частина

Опис проблеми. Колористика в архітектурі вивчає взаємозв'язок між кольором та архітектурним простором. Вона досліджує, як використання різних кольорів може впливати на сприйняття та емоції людей, що перебувають в цьому просторі. Колір може створювати різні настрої, асоціації та враження. Використання правильної колористики в архітектурі може підсилити або змінити сприйняття простору, зробити його більш відкритим або затишним, акцентувати увагу на певних деталях або створити гармонійну композицію.

Архітектура як об'ємно-просторове мистецтво робить на нас величезний вплив, тому що фактично є не тільки витвором мистецтва, а й місцем існування. Архітектура завжди являла собою приклад поєднання краси та користі, естетичного та утилітарного начал. Архітектурні споруди завжди більші за нас за розміром. Наше сприйняття не обмежується площиною. Архітектуру ми завжди сприймаємо у просторі та часі, і наше враження складається поступово, у міру осягнення споруди. Крім того, архітектурну споруду ми завжди сприймаємо у містобудівному чи природному оточенні. Усе це впливає архітектурну колористику. Архітектура ж сприяє виявленню нарівні з основними додатковими функціями кольору, пов'язаними з архітектурними властивостями, такими як тектоніка, ритм, композиція [1].

Різні кольори мають різний психологічний вплив на людей. Наприклад, блакитний колір сприяє спокою та концентрації, він може бути корисним у навчальних приміщеннях. Зелений колір асоціюється з природою та релаксацією, він може стимулювати творчість та розслаблення. Жовтий колір відомий своєю енергетикою та оптимізмом, він може підвищити настрій та активність.

Кожен колір має свої особливості, і використання їх у колористиці фасадів може впливати на емоційний стан та продуктивність людей. Так, існує прямий зв'язок між природним сприйняттям кольору людиною та кольоровою гамою окремого фасаду будівлі. Сьогодні можна впевнено стверджувати, що колір має безпосередній вплив на психоемоційний стан людини. Свідчить цьому те, що монотонні пласкі поверхні сірого або близьких до нього тонів негативно сприймаються людиною, відповідно, такий фасад буде створювати напругу, психологічний тиск та дискомфорт на користувачів будівлі та навіть звичайних перехожих.

Колір має багато функцій. На початку нашого життя для нас важлива його знаковість, сигнальна функція, потім інформативна функція. Колір викликає певні емоції, пізніше стає символічним. Таким чином, людина відчуває різний вплив кольору. Кількість функцій, що виконуються кольором в архітектурі, також різноманітна.

Колір як один із засобів художньої виразності, насамперед, бере участь у формуванні цілісного художнього образу архітектурного об'єкта. Колір створює наше перше враження від того чи іншого архітектурного об'єкта, оскільки звертається до наших почуттів та емоцій. Композиція кольорових плям, що підтримує ритм і динаміку, створює контрасти або нюанси - це елементи формального аналізу і вони приходять до нас потім. Перш ніж ми усвідомлюємо висоту і ширину будівлі, кількість вікон і форму даху, відбувається перше, несвідоме сприйняття, що створює в нашій свідомості певний образ і налаштовує нас подальше сприйняття об'єкта. І це відбувається завдяки кольору. Колірний тон, насиченість, розташування та поєднання кольорових плям, здатні створити те чи інше враження, розповісти про призначення будівлі, її історію, її характер, відкрити для нас цілий світ емоційно-естетичних переживань [2]. Це особливо важливо, що життя у місті практично позбавляє нас природного середовища. З усіх боків нас оточують будинки та будівлі. Колір допомагає орієнтуватися в цьому архітектурному різноманітті, він має сильний психологічний вплив, змушуючи відчувати широку гаму різних емоцій.

Поява нових будівельних технологій та нових оздоблювальних матеріалів сприяли різноманіттю кольору в архітектурі. На фасадах архітектурних споруд працюють не так оздоблювальні матеріали, як їх фактура. Є. І. Кириченко наголошує на особливому зв'язку кольору в модерні з фактурою і вважає, що вони виступають в єдиному зв'язуванні фактура-колір. Колір та фактура активно впливають на формування архітектурного образу. Ці дві мистецькі категорії модерн осмислює наново [2].

Усі оздоблювальні матеріали поділяються на природні та штучні. Природні оздоблювальні матеріали – камінь, дерево – в модерні найчастіше зберігають природне забарвлення. Штучні оздоблювальні матеріали, як правило, можуть похвалитися багатю палітрою кольорів, яка залежала від бажання художника.

Університетські будівлі мають специфічні потреби в створенні середовища, сприятливого для навчання, досліджень та творчості. Використання правильної колористики на фасадах цих будівель може підкреслити їх значення, сприяти ідентифікації з навчальним закладом та створити гармонійне середовище для всіх його користувачів. Колір може виділяти вхідні групи, створювати привітну атмосферу, покращувати орієнтацію та сприйняття простору.

Важливо розуміти, що вищі навчальні заклади є не просто місцями для здобуття освіти, а й важливими елементами інфраструктури міст. Тому, їх фасади повинні не лише викликати у людей приємні емоції, а й створювати запам'ятовуваний художньо-архітектурний образ, що доповнюватиме міське середовище та робитиме його більш комфортним.

Основними аспектами, які враховуються при виборі колірної схеми для фасаду, є вплив на атмосферу, стиль будівлі та складений з навколишнім середовищем.

Деякі університети і вищі навчальні заклади вибирають традиційні кольори, які символізують їх історію та престиж. Наприклад, університети, які мають довгу традицію, можуть створити класичні кольори, такі як темно-синій, бордовий або темно-зелений.

У той же час деякі сучасні навчальні заклади можуть використовувати яскраві та сучасні кольори, які підкреслюють їх інноваційність та прогресивний характер. Наприклад, це можуть бути яскраві відтінки синього, зеленого, червоного або жовтого кольорів.

Деякі закладки також можуть використовувати кольорові схеми, які відрізняються від їхнього логотипу чи бренду. Це сприяє створенню єдиної стилістики і пізнаваності (рис. 1).

Крім того, враховуються й інші фактори, такі як кліматичні умови та видимий вплив на оточення. Наприклад, у яскравих та сонячних місцевостях можуть використовуватися світлі кольори, які відбивають сонячне світло та допомагають зменшити нагрівання будівель.

У остаточному підсумку колористика фасадів вищих навчальних закладів може бути дуже різноманітною, залежно від багатьох факторів. Вибір кольорової схеми залежить від архітектурного

стилю будівлі, історії та традиційного закладу, відповідно до навколишнього середовища, брендування та впливу на атмосферу.



Рисунок 1 – Визначення фасаду Луцького національного технічного університету. Фото автора



Рисунок 2 – Київський національний університет імені Тараса Шевченка [3].

Колір може бути використаний для підкреслення престижу та традиційності, вираження сучасності та інноваційності, створення єдиної стилістики та пізнаваності. Крім того, враховуються кліматичні умови та видимий вплив на оточення, що може вплинути на вибір світлих або темних кольорів. Колористика фасадів вищих навчальних закладів є елементом створення їх іміджу та атмосфери, а також забезпечує сприйняття студентів, викладачів [3].

Дослідження показують, що колористика фасадів може впливати на настрій, концентрацію, пам'ять та продуктивність студентів та викладачів. Використання спокійних та природних кольорів може створити відчуття гармонії та збереження енергії у приміщеннях для вивчення та наукових досліджень. Використання яскравих та енергійних кольорів може стимулювати творчий потенціал та сприяти активному спілкуванню між студентами та викладачами.

Таблиця 1

Вплив кольору на людину та її психо-емоційний стан

Колір	Вплив на людей	Психо-емоційний стан
Червоний	Збільшую енергію та стимуляцію	Збудження, ентузіазм, активність
Жовтий	Підвищує настрої та оптимізм	Радість, ентузіазм, творчість
Зелений	Сприяє релаксації, заспокоює,	Заспокоєння, зосередженість
Блакитний	Знімає стрес	Спокій, концентрація, медитація
Фіолетовий	Стимулює творчість та інтуїцію	Вдумливість, творчість, розслаблення
Синій	Розслаблює, сповільнює пульс	Спокій, стійкість, довіра
Сірий	Приглушує напруження, створює нейтральне середовище	Об'єктивність, стабільність, розсудливість

Варто зазначити, що вплив кольорів може бути індивідуальним та залежати від контексту використання. Деякі люди можуть реагувати на кольори по-різному, і важливо враховувати особисті вподобання та відчуття кожної людини при створенні середовища, особливо в освітніх установах. Крім того, слід звертати увагу на світлотехнічні умови, оскільки освітлення також має вплив на сприйняття кольору, як запропоновано вирішенням фасаду у Корпусі 2 ВНТУ (рис. 3).

Рекомендації щодо використання колористики: для досягнення оптимального впливу колористики на середовище вищих навчальних закладів, важливо враховувати кілька рекомендацій. По-перше, потрібно зважати на функціональні особливості кожного приміщення та його призначення.

Наприклад, приміщення для відпочинку можуть вимагати більш спокійних та заспокоюючих кольорів, тоді як приміщення для творчості та активного навчання можуть бути більш яскравими та енергійними. По-друге, важливо збалансувати використання кольорів у всій будівлі, щоб створити єдність та гармонію [4].



Рисунок 3 – Варіанти оновлення колористики фасадів ВНТУ, Корпус 2. Розробка автора

Аж ніяк не менше значення мають такі аспекти, як: територіальне розміщення, природньо-кліматичні умови, традиції регіону, колористика сусідніх будівель. Так, в різних регіонах набули широкого використання різні кольорові комбінації. Наприклад, для південних регіонів частіше застосовуються яскраві насичені кольори, а для північних, центральних – сині, блакитні, сірі, відтінки, що притаманні природним особливостям регіонів (рис. 4). Також, якщо будівля розміщена в районі, що має історичне значення, потрібно враховувати колористику існуючої забудови, щоб не порушувати художній образ та історичний стиль [5].

І, звичайно ж, неможливо не згадати про контекст, в якому використовується той чи інший колір. Незважаючи на те, що деякі кольори, як доведено, мають хороший вплив на настрій та самопочуття людей, в різному контексті можуть завдавати і шкоди. Наприклад, яскравий червоний колір на фасадах, який мав би збільшувати енергію та стимулювати студентів, навпаки може викликати дратівливість та підвищити рівень агресивності [6].

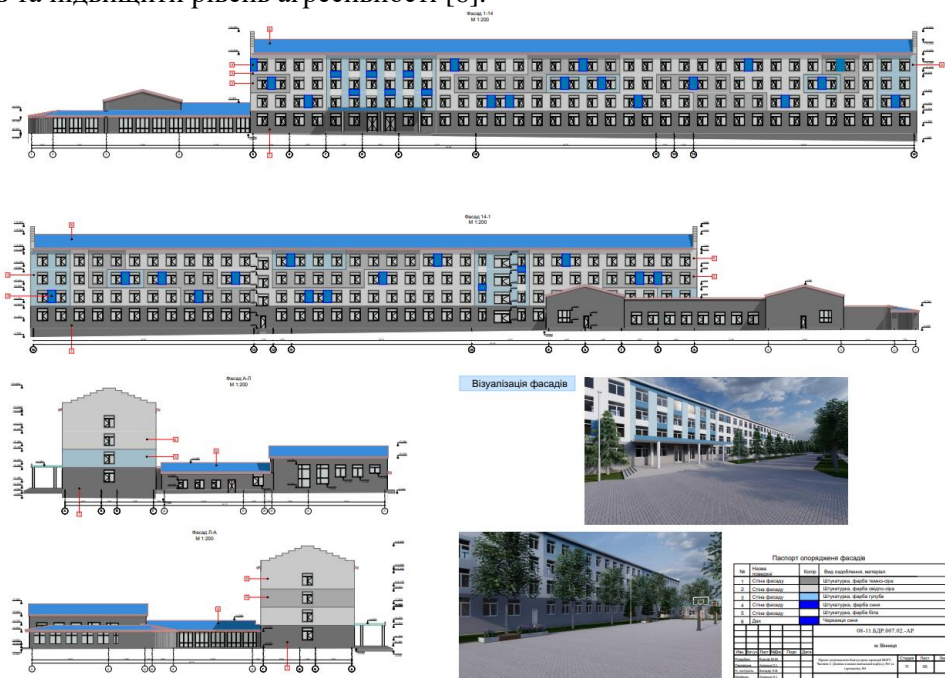


Рисунок 4 – Варіанти оновлення колористики фасадів ВНТУ, Корпус 2. Розробка автора

Або ж візьмемо для прикладу фасади сірого кольору, який, здавалося б, має створювати нейтральне середовище, – у контексті міського середовища сірий колір має пригнічувальний вплив, він може викликати апатію та навіть депресивні стани не лише у студентів, а й у оточення, яке щоденно споглядатиме будівлю.

Висновки

Таким чином, колористика фасадів будівель вищих навчальних закладів має велике значення для формування сприятливого та стимулюючого середовища для навчання, творчості та досліджень. Використання правильної колористики може впливати на настрій, концентрацію та продуктивність студентів та викладачів. Дослідження та експерименти у цій галузі можуть сприяти подальшому розвитку колористики в архітектурі та забезпечити створення сприятливих умов для навчання та творчості. Врахування особливостей функціональності кожного приміщення та збалансоване використання кольорів є ключовими аспектами при проектуванні фасадів університетських будівель.

Отже, розуміння впливу колористики фасадів на формування середовища у вищих навчальних закладах є важливим кроком у покращенні навчального процесу та сприянні успішному розвитку студентів. Враховуючи психологічні аспекти та рекомендації щодо використання колористики, архітектори та дизайнери можуть створити стимулююче та затишне оточення, яке сприятиме творчості, концентрації та успіху. Дослідження та удосконалення в галузі колористики фасадів будівель вищих навчальних закладів продовжуються, і це відкриває безліч можливостей для майбутнього розвитку та вдосконалення навчальних середовищ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Черкесова І.Г. Колорознавство. Колір у декоративно-прикладному мистецтві й дизайні: навчальний посібник / І. Г. Черкесова. - Миколаїв: Вид-во "Іліон", 2008. - 156 с.4.
2. Лисюк І.А., Вплив кольору на сприйняття архітектурного середовища. Київ: Національний авіаційний університет, 2009. – С. 145-151.
3. Червоний корпус університету Шевченка. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ukrreporter.com.ua/suspilstvo/chervonyj-korpus-universytetu-shevchenka-stav-bilym-ale-nenadovgo.html> Дата звернення: травень, 21, 2023.
4. Ковальов Ю.М., Башта Е.Т.,Джурик Е.В., Шевель Л.В. Динамическое жилище – концепция жилища будущего // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Спецвипуск. Доповіді третьої Кримської науково-практ. конф. «Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн», 2006.-№ 4(30).-С.280-284
5. Ковальов Ю.М., Товбич В.В., Панько О.М. Система оцінювання якості житла: приклад практичного застосування //Технічна естетика і дизайн.-Вип.5.-с.116-124
6. Ковальов Ю.М. Хвильова модель С-простору: сучасний стан і перспективи, ст. Геометричне та комп'ютерне моделювання, 2007.-Вип.19.- С.57-83 8.

REFERENCES

1. Cherkesova I.H. Koloroznavstvo. Kolir u dekoratyvno- prykladnomu mystetstvi y dyzaini: navchalnyi posibnyk / I. H. Cherkesova. - Mykolaiv: Vyd-vo "Ilion", 2008. - 156 s.4.
2. Lysiuk I.A., Vplyv koloru na spryiniattia arkhitekturnoho seredovishcha. Kyiv: Natsionalnyi aviatsiinyi universytet, 2009. – S. 145-151.
3. Chervonyi korpus universytetu Shevchenka. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://ukrreporter.com.ua/suspilstvo/chervonyj-korpus-universytetu-shevchenka-stav-bilym-ale-nenadovgo.html> Data zvernennia: traven, 21, 2023.
4. Kovalov Yu.M., Bashta E.T.,Dzhuryk E.V., Shevel L.V. Dynamicheskoe zhylyshche – kontseptsyia zhylyshcha budushcheho // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Spetsvypusk. Dopovidi tretoi Krymskoi naukovo-prakt. konf. «Neometrychne ta kompiuterne modeliuvannia: enerhozberezhennia, ekolohiia, dyzain», 2006.-№ 4(30).-S.280-284
5. Kovalov Yu.M., Tovbych V.V., Panko O.M. Systema otsiniuvannia yakosti zhytla: pryklad praktychnoho zastosuvannia //Tekhnichna estetyka i dyzain.-Vyp.5.-s.116-124
6. Kovalov Yu.M. Khvylova model S-prostoru: suchasnyi stan i perspektyvy, st. Neometrychne ta kompiuterne modeliuvannia, 2007.-Vyp.19.- S.57-83 8.

Субін-Кожевнікова Альона Сергіївна – кандидат архітектури, старший викладач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: subinkozhevnikova@vntu.edu.ua orcid.org/0000-0001-9560-0364

Хороша Оксана Іванівна – кандидат архітектури, старший викладач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: korosha@vntu.edu.ua orcid.org/0000-0002-7790-4978

Вікторова Єлизавета Миколаївна – студентка групи БМ-19б, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: viktorova1164@gmail.com orcid.org/0009-0007-1823-7830

Кушнір Марина Михайлівна – студентка групи БМ-19б, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: marinakushnir627@gmail.com orcid.org/0009-0005-6318-2694

O. Khorosha
A. Subin-Kozhevnikova
E. Viktorova
M. Kushnir

COLORS OF FACADES OF TALL-RIGHT BUILDINGS

EDUCATIONAL INSTITUTIONS AND ITS INFLUENCE

FOR THE FORMATION OF THE ENVIRONMENT

Vinnitsia National Technical University

The article is devoted to the study of the importance of the color scheme of the facades of the buildings of higher educational institutions and its influence on the formation of a favorable environment. She analyzes the role of color in architecture and the psychological aspects associated with the use of different colors on facades. Research shows that the correct use of color can create a conducive atmosphere for learning, promote creative thinking and improve the mood of students and teachers. The article presents conclusions, experimental data and recommendations on the use of coloristics to create a pleasant and stimulating environment in university buildings, main buildings of educational institutions, as well as campus buildings.

In fact, color in the decision of the facade appearance stands out as a factor of improvement or destruction of the integrity and aesthetics of the environment. The correct use of the color factor can lead to positive effects - mitigating errors in the organization of the urban environment, highlighting individual ensembles and buildings, improving psychological comfort, and even increasing the general cultural level. But for this, it is necessary to carry out research on color perception within the framework of the comfort factor system, both from the point of view of the psychology of perception and architectural practice and the formation of the general environment.

Keywords: *facade, environment, colors, architecture, formation*

Khorosha Oksana – Ph.D. (Candidate of Architecture), Senior Lecturer of Department of Construction, Municipal Economy and Architecture, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia e-mail: korosha@vntu.edu.ua orcid.org/0000-0001-9560-0364

Subin-Kozhevnikova Alona – Ph.D. (Candidate of Architecture), Senior Lecturer of Department of Construction, Municipal Economy and Architecture, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: subinkozhevnikova@vntu.edu.ua orcid.org/0000-0002-7790-4978

Viktorova Yelizaveta – Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, email : viktorova1164@gmail.com orcid.org/0009-0007-1823-7830

Kushnir Maryna – Faculty of Civil Engineering, Civil and Environmental Engineering, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, email : marinakushnir627@gmail.com orcid.org/0009-0005-6318-2694

РЕКОНСТРУКЦІЯ ТЕРИТОРІЇ ВИШЕНСЬКОГО ПАРКУ У МІСТІ ВІННИЦЯ

Вінницький національний технічний університет

Стаття присвячена огляду процесу та результатів реконструкції Вишенського парку, одного з найважливіших природних та культурних об'єктів у місті Вінниця. Розглядається важливість та необхідність реконструкції парку з метою збереження природно-ландшафтних, архітектурно-історичних та соціокультурних цінностей. Досліджено сучасний стан навколишнього середовища Вишенського парку та територію Вишенського озера та визначено їх недоліки.

Розглянуто планувальні рішення щодо застосування реконструктивних методів для поліпшення території парку та наведено варіативне рішення реконструкції парку.

Ключові слова: парк, Вишенський парк, територія, реконструкція, екологічність, осучаснення.

Вступ

Парки – це зелені масиви, розташовані в межах міста. Вони створюються в містах з метою кращого використання природного середовища для організації культурного дозвілля населення та проведення різнобічної культурно-освітньої та оздоровчої роботи серед дорослих та дітей. Парки забезпечують людей простір для фізичної активності в т.ч. тому що люди більшою мірою воліють займатися фізкультурою та спортом у більш естетично привабливому середовищі, вони як і громадські простори створюють середовище спілкування з сім'єю та друзями, місце для соціалізації та соціальної інтеракції, простори такого плану створюють умови розслаблення, відновлення розумової активності і зняття стресу, тобто. мають позитивні психологічні наслідки здоров'ю.

У зв'язку з цим насамперед акцент робиться на відпочинок відвідувачів, фізкультурно-масових та культурно-просвітницьких заходах. Також дитячі розваги є пріоритетними щодо основних напрямів функціонування парку. Важливим показником функціонування парку є відвідуваність, зокрема: періоди найбільшого рекреаційного навантаження парку; змінність відвідувань протягом дня; ділянки, що зазнають надлишкового навантаження, та ділянки слабкого відвідування; контингент відвідувачів змінює його протягом дня.

Значення парків постійно зростає в період урбанізації, тому актуальною стає проблема реконструкції парків культури та відпочинку, які є основним місцем відпочинку для мешканців. При реконструкції парку повинні дотримуватися певних вимог: проведено аналіз об'єкта, обрано певний стиль проекту, враховано екологічні та санітарні вимоги, проект повинен відповідати нормативним вимогам ландшафтного дизайну тощо.

Основна частина

Створення нових зелених зон або реконструкція та благоустрій існуючих (парків, скверів, прибережних рекреаційних зон і т. д.) мають першочергове значення для формування позитивного іміджу міської території.

Сьогодні ряд вчених пропонує класифікувати парки на декілька видів: відкриті-партерні варіанти, де переважають клумби, квітники, газони та живі декоративні огорожі; закриті, де переважають дерева і чагарники, забезпечуючи ізоляцію від шуму, вихлопних газів та інших перешкод; парки та сквери з прив'язкою до будівельної споруди або об'єкту, які прикрашають архітектурні пам'ятки та центральні площі міста.

Крім естетичної краси, парки та сквери також надають людям майданчики для відпочинку, мальовничі доріжки, алеї, куточки з лавами, фонтани, струмки та інші куточки. Розмір, конфігурація майданчика та використання цікавих композицій є невід'ємними атрибутами проекту. Питання ландшафтно-архітектурної та основні фактори, що впливають на планування парку, такі як функціональні проблеми благоустрою території, вплив прилеглих об'єктів міської інфраструктури, наявність тротуарів, доріжок та декоративних стежок, правильність геометричного розташування доріжок, освітлення парку ввечері та наявність гідроконструкцій.

Збалансованість об'єктів, що становлять парк, є однією з головних умов його облаштування. У будівництві таких об'єктів дотримуються специфічні нормативи та вимоги в яких рекомендується так і пропорції при зонуванні паркової території: для облагородження транзитних колій та доріжок

газонами, чагарниками чи деревами – 67...71 %; зелені зони між багатоквартирними будинками оснащуються зеленими насадженнями – 84...89 %; наявність доріжок, площ та шляхів для транзитних зон - 23...31 %, а для "зелених зон" біля житлових будинків - 10...15 %; квітники та клумби біля житлового комплексу складають – 1...5 %, а у транзитній зоні – 1...2 %. Нормативи для озеленення території парку з використанням дерев та чагарників становлять: дерева – 100...120 %; чагарники – 1000...1200 % [1].

Сучасні парки, сквери та бульвари повинні бути обладнані пішохідними доріжками, зовнішнім освітленням, системами водопостачання для поливу, лавками для відпочинку, сміттєвими урнами. Зелені насадження вимагають щорічного обслуговування, проведення обрізання дерев і чагарників, що омолоджує, а також видалення сухих дерев. При реконструкції парку необхідно проаналізувати існуючі насадження, їх стан, вік та морфологічні характеристики. Також слід вивчити рекреаційне навантаження на територію, стан доріжок та майданчиків, стан інфраструктури загалом та рівень забруднення.

Парки завжди відігравали важливу роль у великих містах, надаючи мешканцям можливість насолоджуватися природою та відпочивати в затишній атмосфері, подалі від шумного міського життя. Однак з плином часу деякі парки стають застарілими та вимагають реконструкції, щоб відповідати зростаючим потребам та сучасним вимогам міста та його мешканців.

Як об'єкт дослідження, було обрано територію Вишенського парку у місті Вінниця.

Парк «Вишенський» — міський парк у Вінниці, розташований на південній околиці житлового масиву Вишенька, північна частина обмежується вул. Андрія Первозваного та вул. Костянтина Василенка, південна частина парку є трав'яним берегом Вишенського озера створеного на річці Вишня одночасно з парком. Берег є широкою зоною відпочинку мешканців західної частини міста. Парк був закладений у 1972 році, площа становить 45 га. [2]. Він завжди був важливим центром відпочинку та культурного життя для мешканців міста.

Однак, недбале ставлення до парку та природних ресурсів, а також негативні впливи на антропогенних факторів привели до пошкодження та зносу існуючих споруд у парку. Це включає старі будівлі, фонтани, альтани та доріжки, які потребували відновлення та реставрації. Крім того, втрата біорізноманіття та зниження якості інфраструктури парку спричинили потребу у реконструкції з метою збереження природних та культурних цінностей [3].

Враховуючи вищезгадані фактори, реконструкція стала не відкладною місією для забезпечення тривалої експлуатації та збереження парку як природно-культурного скарбу міста Вінниця.

Одним із аспектів реконструкції є аналіз існуючих осучаснених парків, які служать прикладом успішної трансформації. Вони включають новітні архітектурні рішення, інтерактивні елементи, зони відпочинку та розваг, спеціально облаштовані траси для прогулянок та велосипедних прогулянок, а також використання сучасних технологій для забезпечення комфорту та безпеки відвідувачів.

Під час проведення проектного аналізу Вишенського парку у місті Вінниця було виявлено кілька проблем, які потребують реконструкції:

Стан насаджень: Велика частина дерев та кущів у парку значно застаріла, близько 75 % ростучих насаджень необхідно замінити.

Пішохідні зони: Діючі тротуари, алеї та доріжки у парку зруйновані і потребують повного перепланування, з заміною покриття.

Металевий паркан: Частина металевого огорожі парку пошкоджена і не відповідає естетичним нормам. Рекомендується демонтаж і встановлення нової огорожі.

Відсутність системи водовідведення: Парк потребує ливневого стоку для збирання дощової води.

Планування території: Існуюче планування парку не відповідає нормативним вимогам і потребує нового перепланування.

Освітлення: Територія парку має недостатнє штучне освітлення.

На рис. 1 наведено фотофіксацію сучасного стану парку [4].

Територія Вишенського озера, яка знаходиться у Вишенському парку, має свої основні проблеми, які потребують розв'язання зі збереженням природного середовища.

Деякі з цих проблем можуть включати [5, 6]:

1. Забруднення води

Один з основних аспектів реконструкції озера полягає у забезпеченні чистоти води. Можуть бути використані методи фільтрації та очищення води, такі як установка спеціальних фільтрів або використання системи природного очищення через рослини.

2. Ерозія берегів

Ерозія берегів озера може бути проблемою, яка потребує уваги під час реконструкції. Для запобігання ерозії можуть бути використані природні матеріали, такі як габіони або рослинні насадження, які зміцнять береги та запобігатимуть їх пошкодженню.

3. Біорізноманітність



Рисунок 1 – Сучасний вигляд частин території Вишеньського парку

Збереження біорізноманітності є важливою метою при реконструкції озера. Важливо створити екологічні зони та охоронні райони для різноманітних видів рослин та тварин, які зберігаються у території Вишеньського парку.

Під час реконструкції Вишеньського парку розглядаються різні архітектурні рішення, які можуть бути використані з метою створення привабливого та функціонального парку. Зокрема, це оновлення архітектурних споруд, таких як будівлі, павільйони та фонтани, з метою збереження їхнього культурного значення та створення привабливих просторів для відпочинку та зустрічей [3].

Реконструкція також передбачає поліпшення стану озер та водойм у парку. Це включає очищення озер від забруднень та встановлення систем фільтрації та обробки води для збереження її якості. Планується створення нових водних елементів, таких як фонтани та каскади, що додадуть краси та живописності до ландшафту парку.

Окрім того, необхідно створити нові зони відпочинку та розваг для відвідувачів парку. Це може включати облаштування нових алеї для прогулянок, дитячих майданчиків, спортивних майданчиків та арен для проведення культурних заходів. Всі ці елементи сприятимуть створенню комфортних умов для відпочинку та розваг громадян.

Особлива увага буде приділена екологічній реконструкції парку. Планується здійснити заходи для збереження природних екосистем, включаючи відновлення рослинного покриву, збереження біорізноманіття та застосування екологічно чистих матеріалів та технологій.

Завершуючи, реконструкція Вишенського парку у місті Вінниця є важливим кроком у створенні привабливого та сучасного парку для задоволення потреб та очікувань місцевих жителів. Впровадження інноваційних архітектурних рішень, створення нових зон відпочинку та розваг, збереження екосистем та використання екологічно чистих матеріалів сприятимуть створенню приємного та естетичного середовища, яке залучатиме багатьох відвідувачів та зробить парк популярним місцем для проведення вільного часу.

Ось декілька сучасних методів, які можуть бути використані під час реконструкції території Вишенського парку:

1. Ландшафтний дизайн.

2. Ландшафтний дизайн є ключовим елементом реконструкції парку. Це включає в себе створення естетично привабливого середовища з використанням різноманітних рослин, дерев, квітів та газонів. Важливо враховувати відповідність рослинного покриву клімату та екологічним умовам місцевості.

3. Екологічна стійкість.

Під час реконструкції парку слід приділяти увагу екологічній стійкості. Використання сталих матеріалів, енергоефективне освітлення, системи збирання дощової води та врахування екосистемних функцій допоможуть забезпечити сталість та екологічну цінність парку.

4. Використання технологій

Сучасні технології можуть бути використані для створення інтерактивних елементів у парку. Наприклад, це може бути встановлення сенсорних дисплеїв, де відвідувачі можуть отримати інформацію про рослини, тварини та історію парку. Також можна використовувати технології для покращення безпеки та комфорту відвідувачів, наприклад, системи відеоспостереження та датчики освітлення.

Під час реконструкції Вишенського парку можна використовувати різноманітні архітектурні рішення, щоб надати йому унікальний вигляд та функціональність:

1. Арт-інсталяції.

Встановлення арт-інсталяцій може стати привабливим елементом парку. Це можуть бути скульптури, архітектурні композиції або інші мистецькі об'єкти, які додають естетику та характер до простору.

2. Рекреаційні зони.

Створення рекреаційних зон, таких як спортивні майданчики, дитячі майданчики та зони відпочинку, сприятиме активному та здоровому способу життя мешканців міста. Важливо враховувати різні вікові та інтереси групи населення.

3. Елементи води.

Використання водних елементів, таких як фонтани, струмки та ставки, може створювати приємну атмосферу та додаткову освіжаючу функцію у парку. Вони можуть бути органічно вплетеними у ландшафт та створювати чарівні місця для відпочинку.

Необхідними кроками реконструкції передбачається оновлення та реставрація старих будівель та фонтанів, з метою відновлення їхнього первісного вигляду і культурного значення. Також необхідно додати нові архітектурні елементи для створення привабливих просторів для відпочинку, зустрічей та проведення культурних заходів у парку.

Стосовно озер та водойм, передбачається поліпшення їхньої естетики та екологічного стану. Планується провести очищення озер від забруднень та встановити системи фільтрації та обробки води для збереження її якості. Крім того, необхідно створити тинові водні елементи, такі як фонтани та каскади, що додадуть краси та живописності до ландшафту парку.

Створення нових зон відпочинку та розваг також є одним із необхідних кроків у реконструкції. Потрібно облаштувати нові алеї для прогулянок, зони для пікніків, дитячі майданчики, спортивні майданчики та арен для проведення культурних подій. Це сприятиме створенню комфортних умов для відпочинку громадян та розвитку різноманітних форм активного дозвілля.

Особлива увага буде приділена екологічній реконструкції парку. Планується здійснити заходи для збереження природних екосистем, включаючи відновлення рослинного покриву, збереження

біорізноманіття та створення умов для життя різних видів тварин. Крім того, необхідно використовувати екологічно-чисті матеріали та технології, що сприятиме збереженню природних ресурсів та зниженню впливу на довкілля [7].

На рис. 2 зображено варіативне рішення реконструкції парку.



Рисунок 2 – Варіативне рішення реконструкції території Вишеньського парку

Висновки

Парки є невід'ємною частиною організації дозвілля для людей. Вони мають органічний зв'язок зі загальними соціальними та культурними процесами у сучасному суспільстві. Парки виступають як міцний соціальний та економічний фактор в життєдіяльності суспільства, а також як багатогранний культурний індикатор сучасності. Вони поєднують різноманітні інтереси, закономірності та процеси, і стали частиною нашої повсякденної культури.

Тому, реконструкція території Вишеньського парку у місті Вінниця відкриває безліч можливостей для створення сучасного та функціонального простору для відпочинку та розваг. Впровадження сучасних методів реконструкції, використання цікавих архітектурних рішень та інтеграція прикладів успішних осучаснених парків допоможуть створити неперевершений парк, який буде радувати місцевих жителів та відвідувачів. Реконструкція парку - це інвестиція у спільний простір, який надасть затишок, здоров'я та красу частині території міста Вінниця.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Реконструкція та благоустрій зелених зон. URL:
2. https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/749/DOBRE_2021_Handbook_on_green_zones_final_for_web_sm_all.pdf
3. Вишеньський парк. URL:
4. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%BA
5. Вінницька міська рада. (2020). Проект реконструкції території Вишеньського озера. Урядовий портал «Розумне місто». URL: <https://smartcity.vmr.gov.ua/project/vishneve-ozero.html>
6. На Вишеньському озері відкрили сезон пікніків та купання. Фоторепортаж вихідного дня. URL: <https://vinnitsa.info/article/na-vishenskomu-ozeri-vidkryli-sezon-piknikiv-ta-kupannya-fotoreportazh-vihidnogo-dnya>
7. Міжнародна екологічна організація "Жива Земля". (2022). Аналіз стану природних ресурсів Вишеньського озера. Київ: Жива Земля.
8. Літовченко, О.М. (2019). Еколого-економічні проблеми реконструкції водних екосистем у містах. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування, (1), 63-70.
9. Коваленко, Н.О. (2020). Ландшафтно-архітектурні принципи реконструкції водних об'єктів міського середовища. Ландшафтна архітектура, (12), 70-77.

REFERENCES

1. Reconstruction and improvement of green areas. URL: https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/749/DOBRE_2021_Handbook_on_green_zones_final_for_web_sm_all.pdf
2. Vyshensky Park. URL:

3. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%BA
4. Vinnytsia City Council. (2020). The project of reconstruction of the territory of Vyshensky Lake. Government portal "Smart City". URL: <https://smartcity.vmr.gov.ua/project/vishneve-ozero.html>
5. The season of picnics and swimming has opened at Vyshensky Lake. Photo report of the weekend. URL: <https://vinnitsa.info/article/na-vishenskomu-ozeri-vidkrili-sezon-piknikiv-ta-kupannya-fotoreportazh-vihidnogo-dnya>
6. International ecological organization "Living Earth". (2022). Analysis of the state of natural resources of Vyshensky Lake. Kyiv: Living Earth.
7. Litovchenko, O.M. (2019). Ecological and economic problems of reconstruction of water ecosystems in cities. Bulletin of the National University of Water Management and Nature Management, (1), 63-70.
8. Kovalenko, N.O. (2020). Landscape and architectural principles of reconstruction of water objects in the urban environment. Landscape architecture, (12), 70-77.

Риндюк Світлана Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, містобудування та архітектури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: rundyksv@gmail.com. ORCID: 0000-0001-5779-5949.

Пташка Олена Максимівна – студентка групи БМ-20б, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ptashka.olena@gmail.com

S. Ryndiuk
O. Ptashka

RECONSTRUCTION OF THE TERRITORY OF VYSHENSKY PARK IN THE CITY OF VINNYTSIA

Vinnytsia National Technical University

The article is devoted to the review of the process and results of the reconstruction of the Vyshensky Park, one of the most important natural and cultural objects in the city of Vinnytsia. The importance and necessity of the reconstruction of the park in order to preserve the natural-landscape, architectural-historical and socio-cultural values is considered. The current state of the environment of Vyshensky Park and the territory of Vyshensky Lake was studied and their shortcomings were identified.

Planning decisions regarding the use of reconstructive methods to improve the park area are considered, and a variant solution for the reconstruction of the park is given.

Keywords: park, Vyshensky Park, territory, reconstruction, environmental friendliness, modernization.

Svitlana Ryndiuk - PhD, senior lecturer of department construction, urban and architectural Vinnytsia National Technical University, e-mail: rundyksv@gmail.com. ORCID: 0000-0001-5779-5949.

Ptashka Olena- student of group BM-20b, Faculty of Construction, Civil and Environmental Safety, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, , e-mail: ptashka.olena@gmail.com

І. М. Бабій¹
С. В. Риндюк²
О. Л. Жадан²

РЕАБІЛІТАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ ТЕРИТОРІЙ ЯК ЧАСТИНА МІСЬКОГО ПРОСТОРУ

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури

²Вінницький національний технічний університет

Стаття присвячена проблемі реабілітації промислових територій, яка особливо актуальна в сучасних містах. У статті проводиться розмежування всіх термінів і обґрунтовується доцільність використання поняття "реабілітація". Особлива увага приділяється дослідженню понять, що пояснюють процес відновлення міських територій, таких як реабілітація, реконструкція, реставрація, ревіталізація та інші.

Виявлено, що для розвитку промислових зон та їх інтеграції у загальну міську інфраструктуру необхідний комплексний підхід, що враховує соціальні, екологічні та економічні аспекти. Це сприятиме сталому та збалансованому розвитку міста, запобігаючи деградації промислових зон, та створенню комфортних умов для мешканців.

Ключові слова: місто, міський простір, відновлення, реабілітація, промислові території.

Вступ

В сучасних містах по всьому світу спостерігається нерівномірність просторового-економічного розвитку. Це проблема, яка потребує уваги та комплексного підходу до вирішення. Однією з головних причин цієї нерівномірності є неправильна система розселення, в якій відсутня достатня кількість середніх міст, а мегаполіси домінують і стягують капітал, інвестиції та трудові ресурси.

Нерівномірний розвиток також відображається в малопродуктивній взаємодії між регіонами та обмеженій мобільності населення. Бракує високоєфективних територіальних промислових кластерів, а існуюча інфраструктура застаріла і потребує оновлення.

Розв'язання цих проблем пов'язано з розробкою та реалізацією комплексних стратегій, спрямованих на гармонійний розвиток територіальних комплексів. Одним з найбільш актуальних напрямків розвитку міських територій є реконструкція міст, упорядкування розвитку міських агломерацій та комплексне перетворення середовища життєдіяльності людини [1].

У цьому контексті політика реабілітації міського простору відіграє важливу роль. Шляхом проведення реабілітаційних заходів міські структури можуть ідентифікувати слабкі місця та проблемні ділянки, враховуючи інфраструктурні передумови та приймаючи правильні управлінські рішення. Така політика передбачає взаємодію всіх учасників процесу створення середовища проживання з урахуванням місцевих містобудівних факторів.

Реабілітація міського простору може бути розглянута як процес відновлення. Однак у науковій літературі ще не сформувалася загальноприйнята універсальна науково-технічна термінологія для цієї сфери діяльності. В різних джерелах поняття "відновлення простору" може мати різні значення, такі як "перебудова", "оновлення", "реконструкція", "модернізація", "реставрація", "реструктуризація", "реновація", "ревіталізація" та інші.

Основна частина

Перетворення міського простору справді означає фундаментальне зрушення в суспільному розвитку. Сучасний світ, заснований на швидкому розвитку технологій і глибокій взаємодії між людьми, ставить нові виклики перед міськими поселеннями. Зростаюча системність і зв'язність стають ключовими характеристиками сучасного суспільства, а це призводить до збільшення соціальної складності міст.

Дуже цікаво розглядати місто як соціальний організм і досліджувати його анатомію, фізіологію і психологію. Такий підхід дозволяє зрозуміти внутрішню структуру та функціонування міста як системи.

Органічна теорія міста, запропонована науковцем Диканським М.Г., дозволяє розглядати різні компоненти міста як органи та системи організму. Наприклад, вулиці, площі і ринки можна розглядати як кровоносні судини та органи кровообігу, що забезпечують рух і обмін ресурсами. Способи повідомлення, такі як телефонні лінії, можна порівняти з нервовою системою, яка передає інформацію та контролює рухи і дії містян. Адміністративний центр можна вважати розумом міста, де знаходяться органи управління та приймаються рішення. А душа міста, згідно з

Диканським М. Г., проявляється у прагненнях і почуттях громадян, в їхніх цінностях, традиціях та спільноті.

Ці підходи допомагають усвідомити внутрішню структуру та взаємозв'язки, що існують у міському просторі. Вони можуть сприяти розвитку стратегій адаптації міст до змін суспільних потреб і викликів, що виникають у сучасному світі комунікацій і постіндустріального розвитку.

Вивчення міста як соціального організму також може допомогти у плануванні та розвитку міських поселень. Розуміння системності та зв'язності може вплинути на процеси прийняття рішень щодо розміщення інфраструктури, забезпечення доступу до послуг, планування просторового розташування та розвитку міських районів.

Загалом, погляд на місто як на соціальний організм дозволяє розглядати його як складну систему, вивчати його функціонування та шукати способи покращення якості життя мешканців [2].

Термін "реабілітація" має широке застосування і використовується в різних галузях науки, що може включати в своє значення виправлення, відновлення та адаптацію, що є загальними принципами у різних контекстах, незалежно від сфери його застосування.

Введення поняття реабілітації в термінологічний апарат містобудівної діяльності може мати суттєвий вплив на розвиток міст і їх економічні відносини. Реабілітація в даному контексті означає не лише відтворення або відновлення експлуатації існуючих об'єктів, але й активну стратегію передбачення та запобігання негативним наслідкам, що можуть виникнути у результаті конкурентної або внутрішньої загрози розвитку міста.

Реабілітаційний підхід передбачає виявлення проблемних аспектів розвитку міста та прийняття відповідних заходів, спрямованих на їх вирішення. Замість рефлексивних покрокових реакцій, реабілітація передбачає стратегічне формування умов для стійкої еволюції міста як цілісного організму.

Це означає, що містобудівна діяльність має враховувати не лише окремі будівлі або просторові елементи міста, але й їх взаємодію та вплив на різні аспекти життєдіяльності містян, включаючи економічні аспекти. Реабілітаційний підхід спрямовується на створення стійких умов для еволюції міста, забезпечуючи попереджувальні стратегії та антиципацію можливих загроз.

Цей підхід може допомогти уникнути надмірної реактивності на проблеми, які виникають у розвитку міста, і сприяти більш ефективному використанню ресурсів для забезпечення стійкого розвитку. Введення поняття реабілітації в термінологічний апарат містобудівної діяльності може стати кроком до розуміння міста як складного системного організму, що вимагає постійного удосконалення та попередження можливих проблем.

Так, термін "реабілітація" стосовно міських територій дійсно використовується в контексті реконструкції і відновлення цілих кварталів та міського простору. Цей підхід поширений у багатьох європейських містах після Другої світової війни, коли було необхідно відновити зруйновані райони. У Сполучених Штатах Америки також термін "реабілітація" виник у зв'язку з процесами джентрифікації, що відбуваються у великих містах.

Україна також стикається з потребою в оновленні міського простору, але з іншими вимірами. Українські міста пережили зміни в урбанізації, переходячи від соціалістичної моделі, де держава була відповідальна за розвиток міст, до моделі, де приватні суб'єкти економіки мають важливу роль у визначенні розвитку міст. Державні інвестиції змінилися на приватні, які підпорядковані ринковим законам та орієнтовані на комерційний успіх [3].

Незважаючи на це, в українській літературі та дискусіях термін "реабілітація" в контексті міськорегулювання використовується досить рідко. Проте в іноземній практиці реабілітація міських територій означає відновлення міського середовища, включаючи знесення застарілих будівель, облаштування вільних територій та будівництво нових проектів з використанням сучасних дизайнерських та конструкторських технологій.

Отже, реабілітація міських територій може бути організованим процесом перетворення структури міського простору, який включає технічне оновлення, соціальне оживлення (ревіталізацію), економічну модернізацію і екологічне відновлення.

В сучасній практиці використовують різні поняття при створенні стратегічних планів для розвитку та відновлення міських просторів [4].

Першим етапом відновлення міського простору є технічне переоснащення, зокрема реконструкція. Реконструкція – це радикальна перебудова або зміна об'єкта відповідно до нових принципів; відновлення чого-небудь на основі залишків або описів. У промисловості реконструкція передбачає модифікацію та оновлення існуючих основних активів з метою їх технічного вдосконалення.

"Реконструкція об'єкта" – це проведення будівельних робіт з метою зміни техніко-економічних

характеристик об'єкта та підвищення ефективності його використання, включаючи реорганізацію об'єкта, зміну розмірів і технічних показників, капітальне будівництво, прибудови, надбудови, розбирання і посилення несучих конструкцій, переобладнання горищних приміщень у мансарди, будівництво та реконструкцію інженерних систем і комунікацій. Під час реконструкції будівель передбачається повне або часткове звільнення приміщень, відселення мешканців та організацій тощо.

В іншому тлумаченні "реконструкція об'єктів будівництва" – це приведення будівель та споруд різного призначення у відповідність до сучасних вимог за допомогою будівельних заходів. Головною метою реконструкції є усунення морального і фізичного зносу будівельних об'єктів. При реконструкції об'єктів будівництва необхідно враховувати містобудівну ситуацію та навколишнє середовище, оскільки це визначає параметри реконструйованих будівель. Зазвичай реконструкція об'єктів будівництва пов'язана з частковим або повним переплануванням для відповідності зміненим соціальним і технічним вимогам. Важливою умовою реконструкції є забезпечення сучасного рівня комфорту та благоустрою.

У контексті містобудування реконструкція міста – це оновлення та глибоке перетворення історично сформованого міського середовища (його планування, забудови та благоустрою) з урахуванням сучасних соціально-економічних, санітарно-гігієнічних та архітектурно-художніх вимог і використання досягнень науки і техніки.

Процес реконструкції міського середовища та його складових можна класифікувати залежно від ступеня і спрямованості змін в об'єктах. Такі види реконструкції включають реставрацію, регенерацію, реабілітацію, ревалоризацію, модернізацію благоустрою та навіть нове будівництво. Незважаючи на різні підходи до збереження середовища, всі ці заходи можна віднести до процесів реконструкції.

Реставрація, що походить від латинського слова "Restavratio", означає збереження або відновлення окремої будівлі, її частини, групи будівель або цілого району міста у їхньому первісному вигляді. Ці об'єкти мають значну архітектурну та культурну цінність. Реставрація зазвичай передбачає комплекс заходів, спрямованих на збереження пам'яток історії, архітектури та культури різного значення.

Регенерація, що походить від латинського слова "Regeneratio", означає оживлення будівель у новій функції, коли використання початкового призначення будівлі або ділянки ускладнюється.

Ревалоризація, що походить від французького слова "Revalorisation" та англійського слова "Value", - це програма реставраційної перебудови цілого району історичного центру або іншої частини міста, наприклад, мікрорайону або житлового кварталу. Це сприяє оживленню архітектурних, композиційних та експлуатаційних цінностей цього району.

Реновація, що походить від латинського слова "Renovatio", - це процес поліпшення структури. Часто він передбачає розвиток промислових зон шляхом введення нових будівель. Принцип розмаїття полягає у включенні нових архітектурних об'єктів до структури історичного комплексу, де естетичні якості нових будівель виражаються в явному протиставленні їхньому розміру та формі старих будівель.

Ревіталізація, що походить від латинського слова "Re" (відновлювана дія) та "Vita" (життя, як "повернення до життя"), означає переосмислення будівель, публічних просторів, які втратили свою первісну функцію та цінність у місті та суспільстві. Основний принцип ревіталізації полягає у відкритті нових можливостей старих форм з урахуванням їхніх сучасних функцій.

Модернізація, що походить від грецького слова "Moderne" (новітній), означає поліпшення, удосконалення та оновлення об'єкта, забезпечення його відповідності новим вимогам, нормам, технічним умовам та якості. Цей процес включає адаптацію об'єкта до сучасних поглядів та потреб, а також надання йому сучасного вигляду.

Модернізація виконується шляхом комплексу заходів, спрямованих на зниження фізичного та морального зносу, за винятком змін у загальній площі, обсязі та призначенні будівлі. Проте цей термін не є відповідним для опису міського середовища, оскільки не враховує комплексного характеру змін у складних системах.

Наступним кроком у процесі реабілітації є робота з "організмом" міста, а саме - реструктуризація. Реструктуризація (від латинських слів "Re" - знову, знову, тому + "Structura" - будова, структура) означає зміну структури чого-небудь, у нашому випадку - системи управління міським простором. Це важливий елемент реабілітаційного процесу, спрямований на оптимізацію структури міського господарства та механізмів його управління, що забезпечує конкурентоспроможність. Реструктуризація є частиною перетворення, де спостерігається найшвидша зміна, але при цьому виникають значні труднощі. Багато міст залишаються на цьому етапі, не використовуючи інші

напрямки, що не сприяє новому поштовху розвитку.

Компонентами реабілітації виступають не тільки поліпшення технічних характеристик, заснованих на сучасних будівельних технологіях і планувально-композиційних рішеннях, але й інституційне (суспільне) і екологічне перетворення. Це складний процес якісного відтворення міського простору, що володіє синергетичним ефектом.

Реабілітація міських територій включає не лише поліпшення технічних характеристик на основі сучасних будівельних технологій та планувально-композиційних рішень, але й інституційні (суспільні) та екологічні трансформації. Це складний процес якісного відновлення міського простору, який має синергетичний ефект.

Реабілітація міського простору включає не тільки технічні та організаційні аспекти, але й економічні, юридичні, управлінські та інші аспекти. Це процес біолого-соціально-економічного перетворення, який відображає нові ринкові відносини між учасниками міського середовища.

Політика та вибір методів реабілітації міських територій залежать від політичних, економічних, соціальних, кон'юнктурних та навіть природно-кліматичних факторів. Політичні фактори включають розробку містобудівної концепції та позицію місцевого самоврядування. Економічні фактори охоплюють фінансові можливості всіх рівнів управління, потенційних інвесторів, включаючи населення. Соціальні фактори відображають задоволеність населення якістю міського простору та покращення якості життя. Кон'юнктурні фактори включають стан попиту та пропозиції, рівень цін на нерухомість.

Аналізуючи зарубіжний досвід відновлення міських просторів, можна виділити такі типові передумови реабілітації міських ділянок [5]:

- Низька якість функціонування міських будівель і споруд, спричинена неблагоприятними погодними умовами та тривалим періодом експлуатації.

- Нераціональне зонування територій, яке не забезпечує екологічну, санітарну та транспортну безпеку населення.

- Потреба відновлення історичної цінності пам'яток архітектури та старих міських кварталів.

- Перехід до муніципальної політики, спрямованої на соціальну інтеграцію та стимулювання інвестиційного процесу як засобів управління економічним зростанням.

- Добровільне бажання місцевих мешканців та інвесторів сприяти прогресу міського розвитку.

- Зміна соціального образу міста, зміна місцевого чи регіонального іміджу.

Метою територіальної реабілітації є покращення якості міського простору та, підвищення рівня життя мешканців міста. Основна мета полягає у максимально ефективному використанні можливостей територій, забезпеченні їх сталого розвитку та підвищенні конкурентоспроможності економічного потенціалу розвитку.

Одним з головних факторів, що впливає на актуальність реабілітації міських територій в Україні, є структура міст "радянського" типу. Ця структура частково не відповідає ринковим умовам, оскільки характеризується низькою якістю житла і рекреаційних зон, великою кількістю промислово-складських територій у центрі міста та проблемною транспортною ситуацією [6].

У зв'язку зі змінами у міських економічних функціях, розвитком нових технологій, зростанням доходів населення та зміною їх потреб, pojawiaються нові вимоги до якості міського середовища.

Також спостерігається зміна характеру урбанізації в країні. Державні капіталовкладення в розвиток міст і територій уступають місце приватним інвестиціям, які підпорядковані ринковим законам і спрямовані на отримання швидкого комерційного ефекту.

Промислові підприємства та транспортна мережа на їх території традиційно є стійкими структурами в міському плануванні. Однак зараз їм доводиться ставати більш динамічними та впроваджуватися в загальну міську інфраструктуру, щоб уникнути поступового погіршення та занепаду.

Великі заводи та їх промислові території з усіма прилеглими адміністративними будівлями, виробничими приміщеннями, складами та налагодженою транспортною інфраструктурою займають значну площу в структурі міста. Всі ці факти роблять їх надзвичайно привабливими для розвитку.

Раніше промислові підприємства будувалися переважно на околицях міста, поступово "заростаючи" житловою зоною. Сьогодні вони опинилися оточеними житловою забудовою, яка має свою власну структуру, предметно-просторове середовище, не пов'язане з промисловими зонами за архітектурним виглядом і рівнем благоустрою. В результаті такі зони існують самі по собі.

Раніше у більшості міст приділялася увага оновленню морально та фізично застарілих будинків і кварталів, реконструкції промислових об'єктів. Однак ці аспекти мали переважно технічний характер, що не відповідає реаліям сьогодення, коли потрібно відновлювати (трансформувати) цілі

зони, з урахуванням соціальних, екологічних та економічних наслідків таких змін. Наукові організації займалися схемами організації промислової забудови, а основні варіанти оновлення міського середовища полягали у вирішенні транспортних проблем і планувальних завдань шляхом розчленування великих промислових комплексів на менші одиниці, що створювало більш відкриту структуру міста. Однак такі пропозиції рідко реалізовувалися на практиці через відсутність у місцевої влади механізму управління процесами територіальної трансформації.

І тому проблема реабілітації промислових територій стає все більш актуальною в сучасних містах, де промисловий розвиток в минулому залишив значний слід. Ці території зазвичай мають великий потенціал для перетворення на функціональні та привабливі простори для мешканців.

Сучасні умови вимагають нового підходу до розвитку територій промислових підприємств і інтеграції їх у загальну міську інфраструктуру. Оновлення таких промислових зон потребує комплексного підходу, який враховує соціальні, екологічні та економічні наслідки.

Одним з ключових аспектів є трансформація фізичного середовища промислової зони. Це може включати реконструкцію старих будівель і інфраструктури, демонтаж застарілої і нефункціональної інфраструктури, а також створення нових приміщень і споруд з урахуванням сучасних стандартів сталого розвитку.

Важливо також забезпечити інтеграцію промислових підприємств у міську інфраструктуру. Це може означати розвиток зручних транспортних зв'язків, які забезпечать ефективний потік людей і товарів до і від промислової зони. Крім того, важливо розглядати питання розвитку житлової та комунальної інфраструктури в цих районах, щоб забезпечити комфортні умови для мешканців.

Окрему увагу слід приділити розвитку соціальної і культурної інфраструктури в промислових зонах. Це можуть бути парки, спортивні майданчики, культурні центри, ресторани та інші заклади, які створюють привабливе середовище для життя та розваг для мешканців промислової зони.

Управління процесом територіальної трансформації вимагає ефективної координації між міськими владами, промисловими підприємствами, розробниками і громадськістю. Створення механізмів співробітництва та взаємодії допоможе забезпечити успішну трансформацію промислових зон і забезпечити стале і збалансоване розвиток міста.

Важливо також враховувати індивідуальні особливості кожної промислової зони і залучати фахівців з різних галузей, таких як містобудування, архітектура, екологія та інші, для розробки оптимальних стратегій розвитку.

Розвиток промислових зон і їх інтеграція у загальну міську інфраструктуру вимагають комплексного підходу, який враховує соціальні, екологічні та економічні аспекти. Це допоможе забезпечити стале та збалансоване розвиток міста, уникнути деградації промислових зон і сприятиме створенню комфортних умов для мешканців [7].

Протягом останнього десятиліття в Україні почали з'являтися перші результати реабілітації "промислових зон". Конверсія колишніх промислових територій стала дуже цікавим містобудівним проектом для багатьох індустріальних міст. Під час деіндустріалізації звільняються площі в центральних районах міст, які можуть бути використані для розвитку міської інфраструктури, будівництва житла та поліпшення транспортної системи.

В деяких містах України можна спостерігати проекти щодо реабілітацію промислових територій та об'єктів.

У стратегічних планах міст України встановлено винести всі промислові підприємства за межі міста. Один з позитивних ефектів таких проектів полягає у їх поліфункціональності. Це означає відмову від великих моноструктур у забудові, таких як великі торгові комплекси, однофункціональні громадські центри або великі освітні центри без інтегрованої в них інфраструктури [8].

Один з найбільш затребуваних напрямків реабілітації промислових зон - це проекти перетворення старих непрацюючих заводів і фабрик на значимі об'єкти для міста, такі як музеї, картинні галереї, кінотеатри тощо. Дисфункціональні міські простори, які раніше використовувалися для промислових цілей, можуть бути перетворені та використані для нових цілей. В [9] слушно пояснюємо, чому чинні промислові території варто виносити за межі міста, а старі промислові об'єкти – ревіталізувати.

Україна намагається активно запозичувати закордонний досвід у галузі не лише архітектури, а й соціальних відносин для створення більш якісного середовища навколо. Проте, не всі об'єкти реалізуються за єдиним сценарієм, про це свідчать приклади чотирьох різних ініціатив: «Промприлад.Реновація» у Івано-Франківську, «ReZavod» у Львові, «Fabrika.space» у Харкові та «Арт Платформа 11» у Полтаві. У Львові було розроблено та реалізовано «Фор-ескізний проект реновації комплексу будівель ТзОВ «КристалІнвест Україна» [10].

Ще одним варіантом реконструкції промислових споруд без їх повного зносу є їх переорієнтація на житлові приміщення, такі як лофти. Лофт – це житловий простір, створений на базі старих індустріальних будівель, таких як заводи або складські приміщення, з високими стелями та збереженням основних конструкцій. Він надає нову форму організації житлового простору, де внутрішній простір є єдиним обсягом, за винятком окремих підсобних приміщень та санвузлів.

Все це свідчить про те, що реабілітація промислових зон та перетворення їх на нові функціональні об'єкти мають великий потенціал для розвитку міст. Це сприяє створенню нових робочих місць, розвитку туризму, покращенню якості життя міського населення та створенню привабливих інвестиційних можливостей.

Висновки

Загалом, можна зробити висновок, що реабілітація – це комплексний процес оновлення та оживлення міського середовища, який включає в себе перепланування та реорганізацію як цілого міста, так і окремих його елементів.

В цілому, реабілітація промислових територій є важливим завданням для сучасних міст, вона допомагає зберегти природні ресурси, стимулювати економічний розвиток та створити привабливе та стає міське середовище. Крім того, зміна функціонального призначення промислових зон на житлові або суспільно-ділові простори може покращити якість життя мешканців міста. Це може включати створення нових житлових районів з доступом до інфраструктури, зелених зон і рекреаційних майданчиків, а також розвиток культурних і освітніх установ, що збагачує соціальний та культурний простір міста.

Новий зміст старих просторів, їх нове життя і нова історія успіху забезпечать містам нові економічні можливості та якість життєвого простору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чемакіна О.В., Бондар Ю.О. Шляхи підвищення ефективності використання міських територій *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2006. Вип. 16. С. 230–237.
2. Ієн Гел Міста для людей: посіб. Київ: Основи, 2018. 304 с.
3. Ревіталізація промислових територій та об'єктів у великих містах України. URL: <http://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/7066/1/%D0%94%D0%BC%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%90.%20%D0%AE.%2C%20%D0%9A%D1%83%D0%B7%D1%8C%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%A2.%20%D0%AE..pdf>
4. Ревіталізація, реновація та реконструкція — аналізуємо архітектурні терміни та їхні відмінності. URL: <https://nachasi.com/city/2022/01/25/revitalization-renovation-reconstruction/>
5. Особливості реабілітації промислових територій в транскордонних регіонах. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/29896/1/10.pdf>
6. Соснова Н. С. Теоретико-методологічні основи формування громадських просторів міст України : автореф. дис. ... доктора архітектури : 18.00.01. Львів, 2021. 43 с.
7. Kobylarczyk J., Kuśnierz-Krupa D., Paprzyca. K. Art-klaster jako wynik działań rewitalizacyjnych w przestrzeni miejskiej. *Містобудування та територіальне планування*. 2018. № 68. С. 236–246.
8. Бірюк С.П. Вплив розвитку промислово-виробничого комплексу на територіально-планувальну організацію міста (на прикладі м. Києва). *Містобудування та територіальне планування*. 2013. Вип. 48. С. 52–56.
9. Ревіталізація промзон: шанс для Києва стати містом для людей. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2018/02/28/revitalizatsiya-promzon-shans-dlya-kiyeva-stati-mistom-dlya-lyudey/>
10. Реабілітації промислово-виробничих підприємств в структурі м. Львова (на прикладі колишнього Львівського м'ясокомбінату). URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/85eb68b4-6a79-4c17-855f-9567457a8f0e/content>

REFERENCES

1. Chemakina O., Bondar Yu. Ways to improve the efficiency of the use of urban territories. Modern problems of architecture and urban planning. 2006. Issue 16. P. 230–237.
2. Ian Gel Cities for people: a guide. Kyiv: Osnovy, 2018. 304 p.
3. Revitalization of industrial areas and facilities in large cities of Ukraine. URL: <http://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/7066/1/%D0%94%D0%BC%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%90.%20%D0%AE.%2C%20%D0%9A%D1%83%D0%B7%D1%8C%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%A2.%20%D0%AE..pdf>
4. Revitalization, renovation and reconstruction - we analyze the architectural terms and their differences. URL: <https://nachasi.com/city/2022/01/25/revitalization-renovation-reconstruction/>
5. Features of the rehabilitation of industrial areas in cross-border regions. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/29896/1/10.pdf>
6. Sosnova N. Theoretical and methodological foundations of the formation of public spaces in cities of Ukraine: author's review. thesis ... Doctor of Architecture: 18.00.01. Lviv, 2021. 43 p.
7. Kobylarczyk J., Kuśnierz-Krupa D., Paprzyca. K. Art-klaster jako wynik kijnejne rewitalizacyjnych w prześci miejskiej. Urban planning and territorial planning. 2018. No. 68. P. 236–246.

8. Biryuk S. The influence of the development of the industrial and production complex on the territorial and planning organization of the city (on the example of the city of Kyiv). Urban planning and territorial planning. 2013. Issue 48. P. 52–56.
9. Revitalization of industrial zones: a chance for Kyiv to become a city for people. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2018/02/28/revitalizatsiya-promzon-shans-dlya-kiyeva-stati-mistom-dlya-lyudey/>
10. Rehabilitation of industrial and production enterprises in the structure of the city of Lviv (on the example of the former Lviv Meat Processing Plant). URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/85eb68b4-6a79-4c17-855f-9567457a8f0e/content>

Риндюк Світлана Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, містобудування та архітектури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: rundyuksv@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5779-5949.

Бабій Ігор Миколайович – к.т.н, доцент, доцент кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва і архітектури. e-mail: igor7617@gmail.com ORCID : 0000-0001-8650-1751

Жадан Олександр Леонідович – студент групи БМ-20б, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: alekszadan@gmail.com

I. Babij¹
S. Ryndiuk²
A. Zhadan²

REHABILITATION OF INDUSTRIAL AREAS AS PART OF THE URBAN SPACE

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture,¹
Vinnitsia National Technical University²

The article is devoted to the problem of rehabilitation of industrial areas, which is especially relevant in modern cities. The article distinguishes between all terms and justifies the feasibility of using the term "rehabilitation". Special attention is paid to the study of concepts that explain the process of restoration of urban areas, such as rehabilitation, reconstruction, restoration, revitalization and others.

It was found that the development of industrial zones and their integration into the general urban infrastructure requires a comprehensive approach that takes into account social, ecological and economic aspects. This will contribute to the sustainable and balanced development of the city, preventing the degradation of industrial zones, and creating comfortable conditions for residents.

Keywords: city, urban space, restoration, rehabilitation, industrial areas.

Svitlana Ryndiuk - PhD, senior lecturer of department construction, urban and architectural Vinnitsia National Technical University, e-mail: rundyuksv@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5779-5949.

Igor Babij – PhD, Associate professor of the Department of Technology of Building Production of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. e-mail: igor7617@gmail.com ORCID ID: 0000-0001-8650-1751

Alexander Zhadan—student of BM-20b group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Safety, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail:alekszadan@gmail.com

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В БУДІВНИЦТВІ

УДК 620.9

DOI 10.31649/2311-1429-2023-1-134-139

Д. В. Степанов
Н. Д. Степанова
С. М. Оникієнко
В. В. Мартиненко

ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГРОМАДСЬКОЇ БУДІВЛІ

Вінницький національний технічний університет

Наведено актуальність приділення уваги енергоефективності будівель, що дозволить зменшити споживання викопних палив та електроенергії та скоротити шкідливі викиди в навколишнє середовище. Проаналізовано показники енергоефективності громадської будівлі, а саме термічні опори огорожувальних конструкцій, питому енергопотребу на опалення, охолодження та гаряче водопостачання, питоме енергоспоживання будівлі на опалення та охолодження, питомі витрати первинної енергії та питомі викиди парникових газів.

Оцінено вплив посилення нормативного термічного опору зовнішньої стіни будівлі на необхідну товщину утеплювача. Вказано, що за умов великого коефіцієнту скління фасаду і дотримання нормативних термічних опорів огорожень будівля не відповідає вимогам щодо питомої енергопотреби на опалення, охолодження та гаряче водопостачання.

Досліджено вплив джерела теплоти для опалення будівлі на її питоме енергоспоживання, клас енергоефективності, питомі витрати первинної енергії та питомі викиди парникових газів. Розглянуті варіанти використання газового котла, конденсаційного газового котла, електронагрівників, котла на гранулах з біомаси та підключення до централізованої системи теплопостачання. Обґрунтовано ефективність впровадження реверсивного теплонасосного обладнання для теплохолодопостачання будівель.

Ключові слова: енергоефективність, енергоспоживання, енергопотреба, термічний опір, витрати первинної енергії, викиди парникових газів

Вступ. Постановка задачі

У житлово-комунальному комплексі залишається низькою ефективність використання енергії на потреби опалення та охолодження будівель. Близько 40 % загального споживання енергоресурсів в Україні відбувається в будівлях. Це обумовлено тим, що значна частина існуючих в Україні будівель характеризується високими втратами теплоти через огороження, неефективними системами розподілу теплоти в будівлі, наявністю зношених теплових та електричних мереж, втрати енергії в яких сягають 45-50 %.

Важливим завданням є оцінка енергетичних характеристик будівель, формування системи порівняння будівель за рівнями ефективного використання енергії, підвищення вимог до характеристик огорожувальних конструкцій та інженерних систем в будівлях, розробка засобів стимулювання та заохочення власників будівель до підвищення рівня енергоефективності [1, 2]. Трактуючи норми Закону «Про енергоефективність будівель», розуміємо, що енергоаудит проводиться з метою систематизованої оцінки ефективності споживання енергетичних ресурсів і розроблення економічно обґрунтованих рекомендацій щодо підвищення рівня енергоефективності будівель різного призначення [3, 4].

Особливим видом енергоаудиту є енергетична сертифікація будівель, яка крім визначення енергетичної ефективності будівлі включає оцінювання відповідності показників енергоефективності встановленим мінімальним вимогам. Кожна проектувана або термомодернізована будівля повинна відповідати одночасну ряду критеріїв, а саме: за термічним опором огорожувальних конструкцій та за енергопотребою – вимогам ДБН [5, 6]; за питомим енергоспоживанням будівлі – «Мінімальним вимогам до енергетичної ефективності будівель» [7].

Для проведення енергетичної сертифікації будівель використовують «Методику визначення енергоефективності будівель» [8], основні технічні моменти якої уточнені в ДСТУ 9190:2022 [9]. Клас енергоефективності будівлі визначається за величиною питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні будівлі згідно [8].

Споживання електричної енергії, викопного палива або теплоти з централізованої системи теплопостачання пов'язане із вичерпанням природних ресурсів, значним навантаженням на навколишнє середовище при спалюванні палива, суттєвими фінансовими витратами. Тому одним з перспективних напрямків підвищення енергоефективності будівель є впровадження високоєфективного теплогенерувального та холодильного обладнання.

Мета роботи – оцінка впливу джерела теплоти та холоду на показники енергоефективності громадської будівлі.

Результати досліджень

Оцінювання показників енергетичної ефективності виконано для двоповерхової громадської цегляної будівлі з суміщеним покриттям з залізобетонних плит, яка розташована у м. Вінниця і має загальну площу 181,8 м², при цьому загальна площа стін 198 м², а площа світлопрозорих огорожень 75,1 м². Таким чином, коефіцієнт скління фасадів 0,272.

Одним з нормативно регульованих показників енергоефективності будівлі є приведений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій, який для термічно неоднорідної непрозорої конструкції визначається за [10]

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{A_{\Sigma}}{\sum_i (A_i / R_{\Sigma i}) + \sum_m (\ell_m \cdot \psi_m) + \sum_j (N_j \cdot \chi_j)}, \quad (1)$$

де A – площа огорожувальної конструкції, м²;

R – опір теплопередачі частини огорожувальної конструкції, м²·К/Вт;

ℓ , ψ – лінійний розмір та лінійний коефіцієнт теплопередачі лінійного теплопровідного включення, м та Вт/(м·К);

N , χ – кількість та точковий коефіцієнт теплопередачі точкового теплопровідного включення, шт. та Вт/К.

Виконано розрахунок товщини мінераловатної теплоізоляції стіни за [8] згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2016 [5] та ДБН В.2.6-31:2021 [6]. Різниця між розрахунковими значеннями такої товщини теплоізоляції склала 60 мм.

Ще одним показником енергоефективності будівлі, який нормується, є питома енергопотреба будівлі для опалення, охолодження та гарячого водопостачання E_P . Цей показник суттєво залежить від термічних опорів огорожувальних конструкцій, коефіцієнта скління фасадів, рівня споживання гарячої води і визначається [6]

$$E_P = \frac{Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd}}{V}, \quad (2)$$

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}, \quad (3)$$

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht}, \quad (4)$$

$$Q_{DHW,nd} = q_{DHW} \cdot A_f, \quad (5)$$

де $Q_{H,nd}$, $Q_{C,nd}$, $Q_{DHW,nd}$ – енергопотреба для опалення, охолодження та гарячого водопостачання, Вт·год;

$Q_{H,ht}$, $Q_{C,ht}$ – сумарна теплопередача в режимі опалення та охолодження, Вт·год;

$Q_{H,gn}$, $Q_{C,gn}$ – сумарні теплонадходження в режимі опалення та охолодження, Вт·год;

$\eta_{H,gn}$, $\eta_{C,ls}$ – безрозмірні коефіцієнти використання надходжень та втрат;

q_{DHW} – питома річна енергопотреба для гарячого водопостачання будівлі, кВт·год/м²;

A_f – кондиціонована площа будівлі, м².

Якщо опори теплопередачі огорожень відповідають [5], то розрахункова питома енергопотреба будівлі на опалення, охолодження та гаряче водопостачання складає 42,8 кВт·год/м³, що на 5,7 % перевищує нормативне значення. Але, якщо термічні опори огорожень відповідають вимогам [6], то питома енергопотреба будівлі менше нормативного значення, наведеного в [5] (див. рис. 1).

Питома енергоспоживання на опалення та охолодження визначається за [9]

$$Q_{H,use} = Q_{H,nd} + \sum Q_{H,ls} + \sum k \cdot W_{H,aux}, \quad (6)$$

$$Q_{C,use} = Q_{C,nd} + \Sigma Q_{C,ls} + \Sigma k \cdot W_{C,aux}, \quad (7)$$

де $\Sigma Q_{H,ls}$, $\Sigma Q_{C,ls}$ – регулярні неутилізовані втрати теплоти в підсистемах тепловиділення, розподілу та генерації енергії, Вт·год;

k – коефіцієнт для розрахунку утилізації додаткової енергії;

$W_{H,aux}$, $W_{C,aux}$ – додаткова енергія, що витрачається в процесі функціонування підсистем тепловиділення, розподілу та генерації теплоти, Вт·год.

Енергоспоживання будівлі на опалення та охолодження визначено згідно Методики [8] для двох варіантів термічних опорів огорожувальних конструкцій. За основу взято варіант теплохолодопостачання від реверсивних теплонасосних установок «повітря - повітря».

Як видно з рис. 1 використання теплонасосних технологій для забезпечення теплотою будівлі призводить до суттєвого зменшення енергоспоживання будівлі в порівнянні із нормативним значенням наведеним в [7].

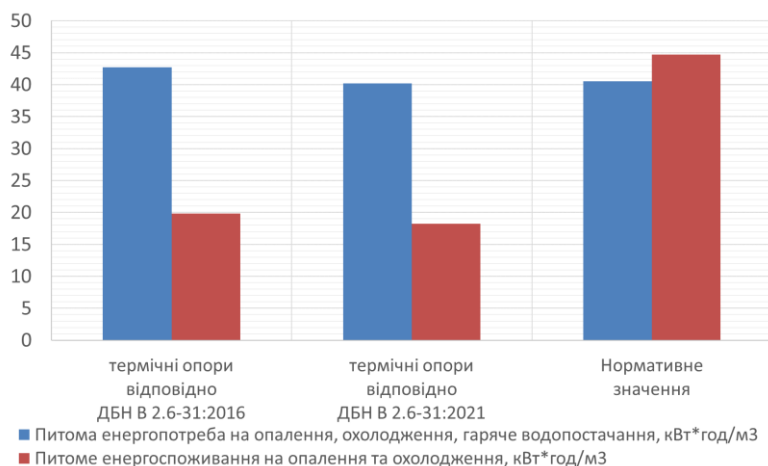


Рисунок 1 – Співставлення показників енергоефективності будівлі, розрахованих для умов забезпечення вимог ДБН до опору огорожувальних конструкцій

Вибір джерела теплоти для забезпечення будівлі суттєво впливає на її показники енергоефективності. Нами проведено порівняння питомого енергоспоживання, питомої витрати первинної енергії та питомих викидів парникових газів для даної будівлі за умов використання таких джерел теплоти (рис. 2):

- тепловий насос «повітря-повітря» з сезонним коефіцієнтом ефективності генерування теплоти 3,0;
- газовий котел з коефіцієнтом ефективності 0,78;
- конденсаційний газовий котел з коефіцієнтом ефективності 0,95;
- електронагрівники з коефіцієнтом ефективності 0,99;
- котел на гранулах з біомаси з коефіцієнтом ефективності 0,72;
- система централізованого тепlopостачання з центральним якісним погодозалежним регулюванням та обмеженням витрати при цьому коефіцієнт ефективності 0,93.

Як видно з рис. 2, всі варіанти джерел теплоти забезпечують клас енергоефективності будівлі не нижче «С», але електронагрівники мають найвищі значення питомого споживання первинної енергії та викидів парникових газів. А котел на біомасі – найменші питомі викиди парникових газів (10,9 кг/м³).

Варіанти використання природного газу відрізняються незначно, але встановлення конденсаційного газового котла дозволяє досягти рівня «В» енергоефективності будівлі.

На наш погляд, використання конденсаційного котла для покриття потреб опалення цілком перспективний варіант, особливо під час осіннього та весняного періодів. Сезонний показник ефективності такого котельного обладнання має бути значно вище, ніж для низькотемпературного газового котла, особливо за можливості суттєвого зниження температурного графіка системи опалення.

Підключена до системи централізованого опалення будівля характеризується середніми показниками енергоспоживання, витрати первинної енергії та викидів парникових газів.

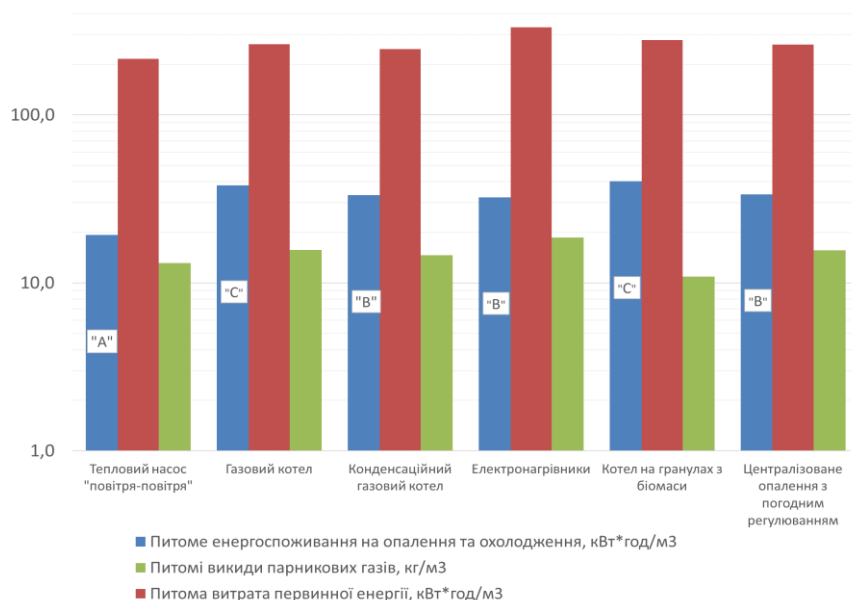


Рисунок 2 – Показники енергетичної та екологічної ефективності різних джерел теплоти для опалення будівлі

Застосування теплонасосних технологій для тепло- і холодопостачання дозволяє отримати найменші значення питомого енергоспоживання будівлі ($19,3 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$), завдяки чому досягається клас «А» енергоефективності, та найменші витрати первинної енергії ($215,9 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$).

Крім того, перевагами теплонасосного обладнання «повітря - повітря» є: можливість його використання в теплий період року для охолодження приміщень, що дозволяє значно зменшити інвестиції в теплохолодопостачання будівлі; відсутність шкідливих викидів в місці встановлення; використання відновлюваної енергії атмосферного повітря.

Висновки

Енергоспоживання будівель займають одне з основних місць у загальній структурі енергоспоживання країни. Підвищення енергоефективності будівель може дозволити значно скоротити використання викопних палив та електроенергії, а також техногенне навантаження на навколишнє середовище від теплоенергетичних систем.

Для громадської будівлі виконано оцінку показників енергоефективності, а саме: проаналізовано вплив посилення вимог до термічного опору огорожувальних конструкцій на енергопотребу та енергоспоживання будівлі; досліджено вплив вибору джерела теплової енергії на питомі енергоспоживання, витрати первинної енергії та викиди парникових газів.

Виявлено, що для громадської будівлі з коефіцієнтом скління фасадів 0,272, забезпечення вимог до опору огорожувальних конструкцій будівлі [6] не дозволяє забезпечити мінімальні вимоги щодо питомої енергопотреби на опалення, охолодження та гаряче водопостачання.

Досліджено вплив різних джерел теплоти для системи опалення на основні показники енергоефективності будівлі. До розгляду прийнято 6 варіантів джерел теплоти, а саме: газовий котел, конденсаційний газовий котел, тепловий насос «повітря-повітря», електронагрівники, котел на гранулах з біомаси та централізоване опалення.

Електронагрівники мають найгірші показники по питомій витраті первинної енергії та по питомих викидах парникових газів, а котел на гранулах з біомаси – найкращий показник з викидів парникових газів.

Застосування теплонасосного обладнання «повітря - повітря» для опалення будівлі забезпечує найнижче питоме енергоспоживання, що відповідає класу енергоефективності «А», та найнижчі питомі витрати первинної енергії. Крім того, цей варіант має ряд переваг: можливість його використання в теплий період року для охолодження приміщень, що дозволяє значно зменшити інвестиції в теплохолодопостачання будівлі; відсутність шкідливих викидів в місці встановлення; використання відновлюваної енергії атмосферного повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Підвищення конкурентоспроможності в Україні шляхом створення сталого законодавчого підґрунтя для роботи енергосервісних компаній. URL: <https://www.oecd.org/eurasia/countries/Enhancing-Competitiveness-in-Ukraine-through-Sustainable-Framework-for-Energy-Service-Companies-2019-UKR.pdf> (дата звернення 25.05.2023).
2. Біла книга щодо трансформації централізованого теплопостачання в Україні: оцінка та рекомендації URL: https://energysecurityua.org/wp-content/uploads/2021/04/050G-DH_White-Paper_for_DEC-2021-02-02-UKR.pdf (дата звернення 25.05.2023).
3. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель». Відомості Верховної Ради. – Офіц. вид. Київ : Парлам. вид-во, 2017. 359 с.
4. ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель. Київ. Мінрегіон України, 2016. 47 с.
5. ДБН В.2.6-31:2016 - Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ. Міністерство розвитку громад та територій України, 2017. 31 с.
6. ДБН В.2.6-31:2021 - Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ. Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 23 с.
7. Наказ Мінрегіону України № 260 від 27.10.2010 Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20#Text> (дата звернення 25.05.2023)
8. Наказ Мінрегіону України №169 від 11.07.2018 Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#Text> (дата звернення 25.05.2023)
9. ДСТУ 9190 : 2022 – Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. ДП «УкрНДНЦ», 2022. 152 с.
10. ДСТУ 9191 : 2022 – Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. ДП «УкрНДНЦ», 2023. 60 с.

REFERENCES

1. Pidvyshchennya konkurentospromozhnosti v Ukrayini shlyakhom stvorenniya staloho zakonodavchoho pidgruntya dlya roboty enerhoservisnykh kompaniy. URL: <https://www.oecd.org/eurasia/countries/Enhancing-Competitiveness-in-Ukraine-through-Sustainable-Framework-for-Energy-Service-Companies-2019-UKR.pdf> (data zvernennya 25.05.2023).
2. Bila knyha shchodo transformatsiyi tsentralizovanoho teplopstachannya v Ukrayini: otsinka ta rekomendatsiyi URL: https://energysecurityua.org/wp-content/uploads/2021/04/050G-DH_White-Paper_for_DEC-2021-02-02-UKR.pdf (data zvernennya 25.05.2023).
3. Zakon Ukrayiny «Pro enerhetychnu efektyvnist' budivnytstva». Vidomosti Verkhovnoyi Rady. – Ofits. vyd. Kyiv : Parlam. vyd-vo, 2017. 359 s.
4. DSTU B V.2.2-39:2016 Metody ta etapy provedennya enerhetychnoho audytu budivel'. Kyiv. Minrehion Ukrayiny, 2016. 47 s.
5. DBN V.2.6-31:2016 - Teplova izolyatsiya ta enerhoefektyvnist' budivel'. Kyiv. Ministerstvo rozvytku hromad ta terytoriy Ukrayiny, 2017. 31 s.
6. DBN V.2.6-31:2021 - Teplova izolyatsiya ta enerhoefektyvnist' budivel'. Kyiv. Ministerstvo rozvytku hromad ta terytoriy Ukrayiny, 2022. 23 s.
7. Nakaz Minrehionu Ukrayiny № 260 vid 27.10.2010 Pro zatverdzhennya Minimal'nykh vymoh do enerhetychnoyi efektyvnosti budivel'. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20#Text> (data zvernennya 25.05.2023)
8. Nakaz Minrehionu Ukrayiny №169 vid 11.07.2018 Pro zatverdzhennya Metodyky vyznachennya enerhetychnoyi efektyvnosti bud. Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#Text> (data zvernennya 25.05.2023)
9. DSTU 9190 : 2022 – Enerhetychna efektyvnist' budivel'. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannya pid chas opalennya, okholodzhennya, ventylyatsiyi, osviltennya ta haryachoho vodopostachannya. DP «UkrNDNTS», 2022. 152 s.
10. DSTU 9191 : 2022 – Teploizolyatsiya budivel'. Metod vyboru teploizolyatsiynoho materialu dlya uteplennya budivel'. DP «UkrNDNTS», 2023. 60 s.

Степанов Дмитро Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Stepanovdv@ukr.net

Степанова Наталія Дмитрівна — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, : Stepanovand@ukr.net

Онкісіко Сергій Миколайович - студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет
Мартиненко Віталій Вікторович – студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет

D. Stepanov
N. Stepanova
S. Onykiienko
V. Martynenko

INDICATORS OF ENERGY EFFICIENCY OF PUBLIC BUILDING

Vinnitsia National Technical University

The relevance of paying attention to the energy efficiency of buildings, which will reduce the consumption of fossil fuels and electricity and reduce harmful emissions into the environment, is shown. The energy efficiency indicators of the public building were analyzed, namely the thermal resistance of the enclosing structures, the specific energy demand for heating, cooling and hot water supply, the specific energy consumption of the building for heating and cooling, the specific consumption of primary energy and the specific emissions of greenhouse gases.

The effect of increasing the normative thermal resistance of the outer wall of the building on the required thickness of the insulation was evaluated. It is indicated that under the conditions of a large facade glazing ratio and compliance with the regulatory thermal resistance of the fences, the building does not meet the requirements for specific energy consumption for heating, cooling and hot water supply.

The influence of the heat source for heating the building on its specific energy consumption, energy efficiency class, specific consumption of primary energy and specific emissions of greenhouse gases was studied. Considered options for using a gas boiler, a condensing gas boiler, electric heaters, a biomass pellet boiler and connection to a centralized heat supply system. The effectiveness of the implementation of reversible heat pump equipment for heating and cooling of buildings is substantiated

Keywords: energy efficiency, energy consumption, energy demand, thermal resistance, primary energy consumption, greenhouse gas emissions

Stepanov Dmitry, candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of power engineering, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: Stepanovdv@ukr.net

Stepanova Natalia – candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of power engineering, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: Stepanovand@ukr.net

Martynenko Vitaly, student of Department of heat power engineering, Vinnitsia national technical University

Onykiienko Sergii, student of Department of heat power engineering, Vinnitsia national technical University

Г. С. Ратушняк
Ю. С. Бікс
А. О. Лялюк

МОНІТОРИНГ ТА ЕКСПЕРТНО-АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Проаналізовано сучасний стан досліджень з моніторингу та експертно-аналітичної оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівель. Встановлено, що надійність теплоізоляційної оболонки визначається організаційно-технологічними чинниками, які впливають на ймовірність теплової відмови огорожувальних конструкцій. Запропоновано структурну схему концепції проведення моніторингу з метою розроблення механізмів забезпечення надійності теплоізоляційної оболонки будівель. Структурна схема концепції здійснення моніторингу надійності теплоізоляційної оболонки будівель передбачає, що складовими цільової програми моніторингу є технічне діагностування за результатами експериментального тепловізного обстеження, аналіз ризиків теплової відмови огорожувальних конструкцій та розроблення експертно-аналітичної оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівель.

Ключові слова: моніторинг, надійність, огорожувальні конструкції, теплоізоляційна оболонка.

Вступ

Підвищення енергетичної ефективності будівель потребує впровадження енергозберігаючих заходів, які проектуються та реалізуються відповідно до чинного законодавства за результатами моніторингу надійності теплоізоляційної оболонки [1, 2, 3, 4]. Внаслідок теплової відмови огорожувальних конструкцій збільшуються витрати енергоносіїв на забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату приміщень будівель та погіршуються санітарно-гігієнічні параметри приміщень (змочування, цвіль та грибок стін) [5, 6]. Вирішенню проблеми з оцінювання надійності теплоізоляційної оболонки будівель присвячено ряд досліджень [7, 8, 9, 10, 11]. Розроблення концепції реалізації інвестиційної фази проекту з підвищення енергетичної ефективності будівель потребує подальшого вдосконалення інструментарію з моніторингу та експертно-аналітичної оцінки надійності теплоізоляційної оболонки для прийняття управлінських організаційно-технологічних рішень щодо зменшення впливу відповідних параметрів на теплову відмову огорожувальних конструкцій.

Актуальність та аналіз результатів досліджень і публікацій

Концепції Енергетичної стратегії України регулюється нормативною базою відповідно чинного законодавства, яке визначає правові та організаційні засади діяльності в будівельній галузі та житлово-комунальному господарстві. Реалізація концепції сприяє зменшенню споживання енергії та збитків навколишньому середовищу, а також використання відновлювальних джерел енергії.

Закон «Про енергетичну ефективність будівель» [1] визначає правові та організаційні засади стосовно зменшення споживання енергетичних ресурсів у будівлях. Основні заходи із підвищення рівня енергетичної ефективності будівель повинні забезпечувати зменшення енергоспоживання будівель. Такі заходи розробляються за результатами здійснення комплексного обстеження та запровадження автоматизованих систем моніторингу і управління.

Екологічне законодавство [2] – система нормативно-правових актів, що містять еколого-правові норми. Вони дозволяють регулювати екологічні правові відносини при використанні природних ресурсів, охорони навколишнього природного середовища і забезпечення екологічної безпеки (видобуток природної будівельної сировини, виробництво будівельних матеріалів, технології влаштування будівель та рециклінгу будівельних матеріалів).

Закон про альтернативні відновлювальні джерела енергії [3], до яких належать енергія сонця, вітрова, геотермальна, гідротермальна, аеротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, біогазів, та вторинних енергетичних ресурсів та перетворення складного енергопотенціалу технологічних процесів визначає правові, економічні, екологічні та організаційні засади їх використання у паливно-енергетичному комплексі.

Вирішенню теоретичних та практичних задач визначення ймовірності теплової відмови та експертно-аналітичній оцінці надійності теплоізоляційної оболонки будівель присвячені дослідження зарубіжних та вітчизняних вчених.

За результатами дослідження надійності та довговічності теплоізоляції будинків запропоновано класифікацію теплових відмов теплоізоляційної оболонки [7]. Як вихідні дані для статистичного аналізу причини теплових відмов використано базу знань про проектні, технологічні, експлуатаційні та концептуальні ризики, що впливають на надійність теплоізоляційної оболонки. Розподіл виникнення ймовірності теплових відмов у будинках різних років забудови 10-40 %.

В роботі [8] запропонована методика визначення теплової відмови огорожувальних конструкцій від випадкових факторів, а саме зовнішньої температури, ширини теплопровідного включення та значення лінійного коефіцієнту теплопередачі. Чисельно ймовірність теплової відмови огорожувальної конструкції із лінійними теплопровідними включеннями за критерієм недостатнього значення приведенного опору теплопередачі обчислюється за запропонованими формулами. Методика дозволяє при визначенні теплової відмови теплоізоляційної оболонки будівель враховувати проектно-конструктивні рішення та технологію влаштування огорожувальних конструкцій.

Дисертаційна робота [9] присвячена вирішенню проблеми впливу динамічних теплових характеристик та конструктивних рішень огорожувальних конструкцій на тепловий режим приміщень. Підкреслено, що існуючі методики нормування теплостійкості, тобто оцінки теплового стану огорожувальних конструкцій за змінних кліматичних умов, не дозволяють оцінити проектні пропорції будівель за енергоефективними показниками їх конструктивних рішень. Запропоновано методику оцінювання теплостійкості приміщення в зимовий та літній періоди з врахуванням всіх теплових впливів на будівлю.

В монографії [11] розглянуто сучасні методи і засоби моніторингу теплоенергетичного обладнання на етапах генерування, транспортування та споживання теплової енергії. Охарактеризовано системи теплопостачання та експлуатаційна надійність їх складових. Досліджено методи і засоби моніторингу огорожувальних конструкцій будівель. Підкреслено, що при проектуванні та розробленні системи моніторингу, ядром якої є інформаційно-вимірювальні системи, однією із провідних задач є обґрунтування множини діагностичних ознак, які супроводжують об'єкт дослідження.

В роботі [12] запропоновано інструментарій для оптимізації конструктивно-технологічних рішень з термодернізації огорожувальних конструкцій будівель. Підкреслено необхідність розроблення універсальної критеріальної оцінки конструкції, яка б забезпечувала зважену оцінку за такими напрямками як надійність, екологічність, технологічність, економічність тощо. Акцентовано увагу на подальше вдосконалення методик з оптимізації теплової оболонки будівель.

В роботі [13] розглянуто методи і засоби створення комп'ютеризованих систем автоматичного моніторингу та контролю параметрів теплового комфорту в будівлях за умов неповної інформації про об'єкти керування з метою вдосконалення прийняття рішень щодо суттєвого зменшення енергоємності житлово-комунального сектору міст. Обґрунтовано інноваційний підхід стосовно формування структури та критеріїв ефективного функціонування комп'ютеризованих систем автоматичного контролю теплового комфорту в приміщеннях. Наведено результати чисельного моделювання з використанням сучасних методів багатокритеріального аналізу при обґрунтуванні типу і матеріалів огорожувальних конструкцій.

В монографії [14] запропоновано математичну модель оцінки надійності забезпечення ефективності теплоізоляційних будівельних матеріалів, які використовуються при влаштуванні огорожувальних конструкцій з використанням біосферосумісних матеріалів.

Дослідженнями зарубіжних авторів [15, 16, 17, 18] встановлено, що визначальним чинником впливу на ймовірність теплової відмови огорожувальних конструкцій будівель є різноманітність теплотехнічних характеристик будівельних матеріалів та виробів, що мають кількісні та якісні показники. Також вони підкреслюють необхідність врахування різноманітних технологічних факторів влаштування теплоізоляційної оболонки будівель.

Формування мети та постановка задачі статті

Проведений аналіз відомих досліджень з розвитку науково-методичних засад моніторингу з оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівель з метою розроблення та впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності огорожувальних конструкцій дозволив сформулювати мету та задачі досліджень. Метою роботи є дослідження за результатами аналізу літературних джерел науково-методологічного інструментарію з вирішення проблеми з оцінювання надійності теплоізоляційної оболонки будівель та розроблення концептуальної схеми проведення моніторингу та експертно-аналітичної оцінки ризиків теплової відмови огорожувальних конструкцій. Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз існуючих досліджень з розвитку науково-методологічних основ вдосконалення методів моніторингу з визначення ризиків теплової відмови огорожувальних конструкцій, що призводить до погіршення їхніх теплозахисних параметрів;
- розробити структурну схему концепції проведення моніторингу та експертно-аналітичної оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівель.

Результати досліджень

Аналіз нормативних та літературних джерел свідчить про відсутність єдиного науково-методологічного інструментарію з оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівель. З метою вирішення цієї проблеми, особливо при відсутності достовірної та необхідної кількості бази даних про теплову відмову, доцільним є розроблення структурної схеми концепції моніторингу та експертно-аналітичної оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівлі.

Визначальними чинниками надійності теплоізоляційної оболонки будівель є особливості параметрів огорожувальних конструкцій, дотримання технології її влаштування та експлуатації, комплексні параметри будівельних виробів та матеріалів. Надійність теплоізоляційних будівельних виробів визначається ймовірністю безвідмовного стану їхніх параметрів із забезпечення нормованих показників мікроклімату в приміщеннях при заданих умовах їх експлуатації [6, 7, 8]

$$R(t) = 1 - F(t) = P(t \leq T), \quad (1)$$

де $R(t)$ – імовірність безвідмовного стану комплексних параметрів теплоізоляційних будівельних виробів;

t – час імовірності втрати нормативних параметрів будівельних виробів;

$F(t)$ – імовірність втрати нормативних параметрів будівельних виробів;

F – імовірність відмови нормативного стану комплексних параметрів теплоізоляційних будівельних виробів;

T – значення критерію, що характеризує безвідмовний стан.

Широкий спектр існуючих теплоізоляційних будівельних матеріалів та виробів із них через відсутність достатньої бази даних про значний термін їхньої експлуатації та значень параметрів про теплову відмову не завжди дозволяє за формулою (1) оцінити імовірність безвідмовного стану комплексних параметрів.

Складовими механізми реалізації концепції проведення моніторингу надійності теплоізоляційної оболонки (рис. 1) є правове регулювання, адміністративне управління, адміністративні та екологічні інструменти та управління інформацією.

Правове регулювання передбачає ратифікацію та врахування в національних законодавчих актах міжнародних угод з енергозбереження та охорони довкілля. Адміністративне управління включає проведення державної експертизи з енергозбереження на засадах державної енергозберігаючої політики, з врахуванням екологічного фактора.

Структурна схема концепції проведення моніторингу надійності теплоізоляційної оболонки (рис. 1) передбачає такі складові цільової програми енергоаудиту як технічна діагностика тепловтрат через зовнішні огорожувальні конструкції за результатами експериментальних тепловізійних обстежень, експертно-аналітичної оцінки з використанням математичного моделювання з врахуванням кількісних та якісних чинників, а також аналіз ризиків теплової відмови огорожувальних конструкцій. Отримана інформація є підґрунтям для оптимізації процесу прийняття управлінських рішень та технологічних заходів щодо підвищення надійності теплоізоляційної оболонки будівель.



Рисунок 1 – Структурна схема концепції проведення моніторингу та експертно-аналітичної оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівель

Висновки

При реалізації методології та механізмів моніторингу з оцінки надійності теплоізоляційної оболонки будівель з метою прийняття організаційно-технологічних рішень стосовно підвищення енергоефективності будівель в цілому доцільно дотримання таких чинників:

- урахування міжнародних енергетичних стандартів і показників при експертно-аналітичній оцінці надійності теплоізоляційної оболонки будівель;
- гармонізація регіональних можливостей та особливостей стосовно використання сучасних енергоефективних технологій влаштування теплоізоляційної оболонки;
- впровадження інноваційних енергозберігаючих заходів та технологій, що зменшують імовірність теплової відмови огорожувальних конструкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2118-19> (Дата звернення: 23.02.2019).
2. Про охорону навколишнього середовища. Закон України від 25.06.91 р. №1264-XII. URL <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення 12.01.2023).
3. Про альтернативні джерела енергії. Закон України від 25.09.2008 р. №601-VI. URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555> (дата звернення 12.01.2023).
4. Про енергозбереження: Закон України від 01.07.94 р. № 74/94-ВР. Дата оновлення: 23.07.2017. URL: <https://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр> (Дата звернення: 23.02.2019).
5. ДБН В.6 – 31:2016. Теплова ізоляція будівель.[Чинний від 2017-05-01]. Вид. Офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. 33 с. (Державні будівельні норми).
6. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. ДБН В.1.2-14:2018.

7. Фаренюк Г. П. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій: монографія. Київ: Гамма-Принт, 2009. 137 с.
8. Семко В.О. Методика визначення ймовірності теплової відмови огорожувальних конструкцій із сталевих холодноформованих елементів за теплотехнічними показниками. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. Вип. 91. 2016. с. 140-146.
9. Філоненко О.І. Динамічні теплові характеристики огорожувальних конструкцій будівель: автореф. дис. докт. техн. наук. Полтава, 2021.
10. Недбайло О.М. Теплофізичні аспекти підвищення ефективності будівлі при використанні низькотемпературних систем її теплозабезпечення та термомодернізації огорожувальних конструкцій: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.06 / Київ, 2018. 28 с.
11. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: монографія / В.П. Бабак, В.С. Берещук та ін. / К.: Ін-т технічної теплофізики НАН України, 2016. 298 с.
12. Максимов А.О. Організаційні підходи до термомодернізації будівель на підставі оптимізації вибору конструктивно-технологічних рішень: автореф. дис. канд. техн. наук, Одеса, 2021.
13. Перехрест А.Л. Методи та засоби створення високоефективних комп'ютеризованих систем автоматичного контролю параметрів теплового комфорту в будівлях: автореф. дис. д-ра техн. наук. Покровск, 2020.
14. Потенціал енергетичної ефективності огорожувальних конструкцій із біосферосумісних матеріалів: монографія / Ю.С. Бікс, Г.С. Ратушняк, О.Г. Лялюк, О.Г. Ратушняк / Вінниця: ВНТУ, 2022. 132 с.
15. F. Pacheco-Torgal, S. Jalali, "Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction", *Construction and Building Materials*, vol. 29, p. 512-519, 2012.
16. Rajesh Kumar Jain, "A study on ecofriendly cost effective earth bag house construction", *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 200-211, 2013.
17. Carabaño R. *Life Cycle Assessment (LCA) of building materials for the evaluation of building sustainability: the case of thermal insulation materials*. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/316645292_Life_Cycle_Assessment_LCA_of_building_materials_for_the_evaluation_of_building_sustainability_the_case_of_thermal_insulation_materials. Last accessed 03.11.2019.
18. L. Brojan, A. Petric and Peggi L. Clouston, "A comparative study of brick and straw bale wall systems from environmental, economic and energy perspectives", *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 8, no.11, pp. 920-926, 2013.

REFERENCES

1. Pro enerhetychnu efektyvnist budivel: Zakon Ukrainy vid 22.06.2017 № 2118-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2118-19> (Data zvernennia: 23.02.2019).
2. Pro okhoronu navkolyshnoho seredovyscha. Zakon Ukrainy vid 25.06.91 r. №1264-KhII. URL <https://zakon.rada.gov.ua> (data zvernennia 12.01.2023).
3. Pro alternatyvni dzhherela enerhii. Zakon Ukrainy vid 25.09.2008 r. №601-VI. URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555> (data zvernennia 12.01.2023).
4. Pro enerhozberezhennia: Zakon Ukrainy vid 01.07.94 r. № 74/94-VR. Data onovlennia: 23.07.2017. URL: <https://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/74/94-vr> (Data zvernennia: 23.02.2019).
5. DBN V.6 – 31:2016. Teplova izoliatsiia budivel.[Chynnyi vid 2017-05-01]. Vyd. Ofits. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2017. 33 s. (Derzhavni budivelni normy).
6. Zahalni pryntsyzy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud. DBN V.1.2-14:2018.
7. Farenjuk H. P. Osnovy zabezpechennia enerhoefektyvnosti budynkiv ta teplovoi nadiinosti ohorodzhualnykh konstruksii: monohrafiia. Kyiv: Hamma-Prynt, 2009. 137 s.
8. Semko V.O. Metodyka vyznachennia ymovirnosti teplovoi vidmovy ohorodzhualnykh konstruksii iz stalevykh kholodnoformovanykh elementiv za teplotekhnichnymy pokaznykamy. *Stroytelstvo, materialovedenye, mashynostroeny*. Vyp. 91. 2016. s. 140-146.
9. Filonenko O.I. Dynamichni teplovi kharakterystyky ohorodzhualnykh konstruksii budivel: avtoref. dys. dokt. tekhn. nauk. Poltava, 2021.
10. Nedbailo O.M. Teplofizychni aspekty pidvyshchennia efektyvnosti budivli pry vykorystanni nyzkotemperaturnykh system yii teplozabezpechennia ta termomodernizatsii ohorodzhualnykh konstruksii: avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk: 05.14.06 / Kyiv, 2018. 28 s.
11. Aпаратно-програме забезпечення мониторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: монографія / В.П. Бабак, В.С. Берещук та ін. / К.: Ін-т технічної теплофізики НАН України, 2016. 298 с.
12. Maksymov A.O. Orhanizatsiini pidkhody do termomodernizatsii budivel na pidstavi optymizatsii vyboru konstruktyvno-tekhnolohichnykh rishen: avtoref. dys. kand. tekhn. nauk, Odesa, 2021.
13. Perekhrest A.L. Metody ta zasoby stvorennia vysokoeffektyvnykh kompiuteryzovanykh system avtomatychnoho kontroliu parametriv teplovoho komfortu v budivliakh: avtoref. dys. d-ra tekhn. nauk. Pokrovsk, 2020.
14. Potentsial enerhetychnoi efektyvnosti ohorodzhualnykh konstruksii iz biosferosumisnykh materialiv: monohrafiia / Yu.S. Biks, H.S. Ratushniak, O.H. Lialiuk, O.H. Ratushniak / Vinnytsia: VNTU, 2022. 132 s.
15. F. Pacheco-Torgal, S. Jalali, "Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction", *Construction and Building Materials*, vol. 29, p. 512-519, 2012.
16. Rajesh Kumar Jain, "A study on ecofriendly cost effective earth bag house construction", *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 200-211, 2013.
17. Carabaño R. *Life Cycle Assessment (LCA) of building materials for the evaluation of building sustainability: the case of thermal insulation materials*. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/316645292_Life_Cycle_Assessment_LCA_of_building_materials_for_the_evaluation_of_building_sustainability_the_case_of_thermal_insulation_materials. Last accessed 03.11.2019.

18. L. Brojan, A. Petric and Peggi L. Clouston, "A comparative study of brick and straw bale wall systems from environmental, economic and energy perspectives", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 8, no.11, pp. 920-926, 2013.

Ратушняк Георгій Сергійович – к.т.н., професор, завідувач кафедри Інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, e-mail: ratusnag@gmail.com, ORCID 0000-0001-9656-5150

Бікс Юрій Семенович – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет, e-mail: biksuriy@gmail.com, ORCID-0000-0002-5775-2014

Лялюк Андрій Олександрович – аспірант, Вінницький національний технічний університет.

G. Ratushnyak

Yu. Biks

A. Lyalyuk

MONITORING AND EXPERT-ANALYTICAL ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF THE BUILDING INSULATION SHELL

Vinnitsia National Technical University

The current state of research on monitoring and expert-analytical assessment of the reliability of the thermal insulation envelope of buildings is analyzed. It was established that the reliability of the thermal insulation shell is determined by organizational and technological factors that affect the probability of thermal failure of the enclosing structures. A structural diagram of the concept of monitoring is proposed for the purpose of developing mechanisms for ensuring the reliability of the thermal insulation envelope of buildings. The structural scheme of the concept of monitoring the reliability of the thermal insulation shell of buildings assumes that the components of the target monitoring program are technical diagnostics based on the results of experimental thermal imaging survey, analysis of the risks of thermal failure of enclosing structures and the development of an expert analytical assessment of the reliability of the thermal insulation shell of buildings.

Keywords: monitoring, reliability, enclosing structures, thermal insulation shell.

Ratushnyak Georgy Sergeevich – Ph.D., Professor, Head of the Department of Engineering Systems in Construction of Vinnitsia National Technical University, e-mail: ratusnag@gmail.com

Biks Yuriy Semenovych – Ph.D., Associate Professor, Vinnitsia National Technical University, e-mail: biksuriy@gmail.com

Lyalyuk Andriy Oleksandrovych – post-graduate student, Vinnitsia National Technical University.

ОРГАНІЗАЦІЯ, УПРАВЛІННЯ ТА ЕКОНОМІКА В БУДІВНИЦТВІ

УДК 330.131.5

DOI 10.31649/2311-1429-2023-1-146-151

В. М. Андрухов
В. О. Басістий
Ю. О. Мартинюк
С. О. Гладкий

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОЦІНЦІ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Вінницький національний технічний університет

Опрацьовано літературні джерела в яких розкривається основна тематика розглянутих питань щодо реалізації безпечної експлуатації та завдяки чому можливо збільшити термін життя будівель або споруд. Опрацьовано літературні джерела щодо реалізації та впровадження BIM-технологій на території України, забезпечення надійного супроводу будівель на протязі періоду експлуатації. Проведено ознайомлення з можливостями прикладного програмного забезпечення для інформаційного контролю та супроводу на протязі всіх етапів життєвого циклу, для збереження довговічності будівлі. Опрацьовано дані щодо встановлення терміну нормальної експлуатації окремих із конструкційних елементів (каналізаційні труби, водопровід, т. і.) для планування обслуговування або заміни. Розглянуто основні фактори при експлуатації будівель та споруд: кліматичні характеристики, район розташування, навантаження і впливи, які в свою чергу безпосередньо мають вплив на терміни служби та технічні характеристики, а також кількість і періодичність планових робіт або проведення ремонтів по підтриманню нормального технічного стану будівлі. Проведено роботу з аналізу існуючих практик оцінки технічних характеристик будівель і споруд, розрахункових визначень залишкових експлуатаційних ресурсів, технічних характеристик та термінів безаварійної експлуатації. Проведення обстеження та оцінка технічного стану, причини виникнення проблем та виявлення дефектів, озвучення можливих заходів щодо усунення. Проаналізовано наскільки важлива цифрова інформація та представлення таких даних у централізованій системі. Одна база значно полегшить процеси збору інформації, пришвидшить супровід під час обслуговування. Завдяки можливості швидше отримувати необхідну інформацію для подальшого аналізу і моніторингу функціонування об'єкта, прийняття рішень, планування тощо, покращаться усі процеси. Опрацьовано переваги та недоліки підходів та сформовано висновок.

Ключові слова: експлуатація, обстеження, BIM-технології, рівні BIM, інформаційна модель (6D BIM), цифрова база даних.

Вступ

Експлуатація будівель і споруд є досить важливим та технічно складним процесом, який базується на напрацьованому чималому досвіді, але з появою нових форм та структур відповідальних за експлуатацію, проблемність не зменшилась, а навпаки загострилась. Оцінка технічного стану, прийняття оптимальних рішень при тих або інших ситуаціях під час експлуатації, правила попередження майбутніх руйнувань та досягнення оптимізації затрат ресурсів та праці робітників при обслуговуванні будівель, ось далеко не повний перелік задач, які доводиться вирішувати під час експлуатації в штатному режимі.

Інформаційні технології все глибше проникають та пронизують всі сторони та сфери життєдіяльності людини, не виключенням є і будівельна галузь держави, хоча тут слід відмітити, що проникнення ІТ в будівництво носить допоки не системний, а скоріш за все фрагментарний характер. Фундаментальним кроком для цифровізації будівельної галузі є створення BIM моделей будівель та споруд на етапі проектування та в подальшому розробка цифрових клонів існуючих будівельних об'єктів.

Світова тенденція така, що майже в усіх країнах Європи та не лише, впроваджуються ті або інші інформаційні технології та активно запроваджують процеси на їх базі.

Україна також не залишилася у стороні та розпочала інтегрувати BIM-технології та різні інформаційні інновації в сфері будівництва [1]. Не зважаючи на проблематику даного процесу та застарілість підходів існуючих організацій та підприємств, процес запущений і його не спинити.

Завдяки плідній співпраці закордонних та вітчизняних фахівців створено покроковий алгоритм поступового запровадження BIM-технологій у будівельну сферу на теренах нашої держави. Експлуатація на думку багатьох фахівців являється невід'ємною складовою життєвого циклу будівель та споруд, а можливо і ключовою у впровадженні даних технологій.

Завдяки окремим можливостям BIM-технологій стало реальним досягти певних переваг під час експлуатації та проведенні чи попередженні ремонтних робіт.

Основні способи підтримки будівель та споруд у належному стані

Для утримання будівель в технічно справному стані, як житлових так і промислових, визначальним є технічний стан конструкцій з яких складається та або інша будівля. Для визначення та оцінки характеристик кожного елементу будівлі проводиться періодичне обстеження. Метою обстеження є виявлення наявних дефектів, визначення залишкового експлуатаційного ресурсу будівельних конструкцій та основ для подальшого опрацювання цих даних при визначенні їх надійності, необхідності підсилення і планування та реалізації ремонтно-відновлювальних робіт.

Традиційно обстеження будівельних конструкцій складається з трьох основних етапів:

- *початкове ознайомлення* з проектною документацією, робочими та виконавчими кресленнями, актами на приховані роботи;
- *візуальний огляд об'єкта*, складання плану обстеження будівлі або споруди, проведення - комплексу досліджень, уточнення та остаточна детальна оцінка;
- *аналіз стану споруди* і розроблення рекомендацій щодо усунення виявлених дефектів [2].

Існуючі підходи діагностики носять зазвичай локальний характер, який базується на результатах візуального огляду та контролю міцності для окремих елементів. Найбільш реальну оцінку технічного стану будівельних об'єктів в цілому можливо отримати при випробуваннях динамічними навантаженнями, але такі технології вимагають використання сучасних комп'ютерних технологій для регулярного моніторингу технічного стану будівель та споруд [3]. Більш реальним підходом були б натурні випробування будівлі на прикладі якої можна з точністю визначити характеристики конструктивних елементів будівель. Проте конструктивні схеми будинків різні та проведення такого плану випробування потребують необхідного відповідного обладнання, ресурсів та кваліфікації працівників, а також дороговартісні у реалізації.

Проведення оцінки технічного стану конструкційних елементів за допомогою програм BIM, можуть надати інформацію наближену до реальної та являться менш фінансово затратними у порівнянні з реальними випробуваннями, що надає перевагу в порівнянні з іншими способами. Інформаційна база містить весь перелік даних про конструкційні елементи з яких складається будівля, що надає можливість розрахункового визначення залишкової міцності.

Рівні впровадження BIM-технологій та можливе використання їх під час експлуатації

Загалом у концепції зі впровадження BIM існують чотири рівні [1]:

Рівень 0. – це двовимірні зображення.

BIM Рівень 1. - це згенерована 2D або 3D зображення.

BIM Рівень 2. – це об'ємна модель з інформаційними даними.

BIM Рівень 3. – знаходиться в розробці, але за даними науковців має перевагу над 2-м рівнем.

На рис. 1 можна помітити різницю і тенденцію переваг та можливостей впровадження BIM рівнів. На сьогоднішній день в Україні поки що реалізовано нульовий рівень та наявний розвиток першого рівня. Нажаль не можуть відійти проєктувальники та будівельки, а після експлуатуючі організації від паперовому варіантів та 2D зображення.

Загалом і до сьогодні уся наявна інформація по будівлях та спорудах знаходиться у паперовому вигляді та лежить на полицях в архівах, як в проєктних організацій так і в експлуатуючих компаніях.

Одним із найперших завдань, що потребують вирішення, є створення умов для подолання "інформаційного вакууму" у будівельній галузі загалом. Наразі, це відзначається системною нестачею статистичних, будівельних, операційних, економічних даних, у зв'язку з роздробленістю інформації, хаотичністю, невідповідністю, непрозорістю і т.і., через відсутність баз даних які можуть поєднати у собі уся інформація.

Системні процеси створення та обміну цифровою інформацією про будівлю є ключовим аспектом для поліпшення ефективності та якості будівельної галузі, а також створення єдиного джерела даних в рамках всієї галузі. Завдяки моделюванню та управлінню інформацією про забудову, можна підвищити функціональність та якість процесів управління об'єктом протягом усього життєвого циклу, знижуючи та оптимізуючи витрати на проєктування, будівництво та експлуатацію, попутно досягаючи оптимізації ключових показників проєкту (вартість, ефективність будівництва, якість, вплив на оточуюче середовище тощо). Впровадження інформаційного моделювання надає технічну можливість для переходу від традиційного процесу управління інформацією (умовно, від паперових носіїв інформації до цифрових) до створення експертних

моделей задля оптимізації ключових показників проекту на основі надійних, узгоджених даних, сприяючи створенню необхідних умов для подальшого переходу до принципів управління життєвим циклом об'єктів будівництва.

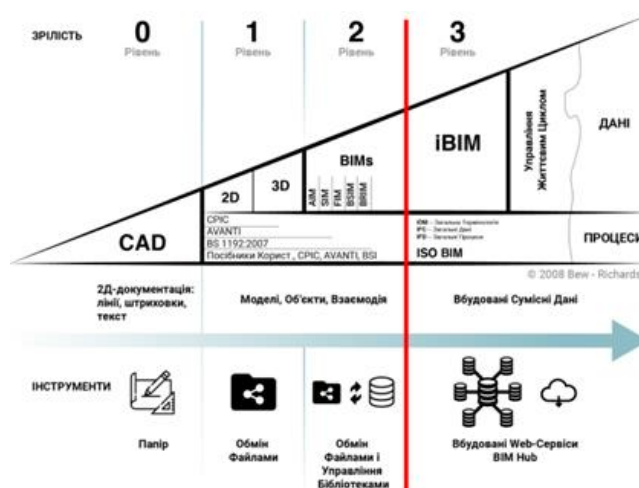


Рисунок 1 – Поділ рівнів впровадження BIM-технологій.

Для подальшої роботи системи, потрібно вирішити низку питань, а саме:

1. Докорінних змін у процесах створення, зберігання, обміну, передачі інформації, її подальшого використання та підвищенні ефективності процесу управління об'єктами на всіх етапах життєвого циклу.

2. Уніфікації процесів управління та обміну інформацією.

3. Підвищення ефективності управління контрактами в процесі життєвого циклу об'єкту будівництва.

4. Підвищення інвестиційної привабливості галузі.

5. Підвищення конкурентоздатності галузі українських компаній.

6. Забезпечення прозорості інвестиційно-будівельних процесів та ціноутворення.

7. Прогнозування експлуатаційних витрат об'єктів будівництва та сталий розвиток будівельної галузі.

8. Цифрова трансформація цілого ряду державних функцій, сервісів та систем, забезпечення їхньої загальної інтеграції та взаємозв'язку.

9. Зниження регуляторного навантаження.

10. Підвищення енергоефективності будівельної галузі.

11. Підвищення екологічності будівельної галузі.

12. Підвищення безпечності об'єктів будівництва.

13. Забезпечення нормативно-правового поля для застосування BIM протягом усього життєвого циклу.

14. Гармонізація національних стандартів та вимог з європейськими (ISO, CEN).

Протягом життєвого циклу об'єкта генерується значний обсяг даних, які мають бути надійною основою для прийняття рішень і передаватись для обробки та використання на наступному етапі. Одна з найперших задач, яку дозволяє вирішити застосування BIM являється оптимізація «втрат» даних при переході між етапами, забезпечення їхньої безперервності на відміну від традиційних методів, коли більшість інформаційних потоків - розривається, а відповідно «втрачається» значна частина напрацьованої інформації, наприкінці кожного етапу, при паперовому документообігу. Поліпшення зумовлюється використанням інформаційної моделі, як своєї бази в рамках CDE (Common Desktop Environment), що централізовано концентрує та зберігає всі необхідні дані, керуючись прийнятими стандартами та процедурами протягом всього життєвого циклу.

Використання «BIM Рівень 2» в процесі експлуатації

Інформаційне моделювання процесу будівництва - це організаційний і технологічний підхід до проектування, будівництва й експлуатації об'єктів будівництва (до управління життєвим циклом об'єкта), який передбачає збір і комплексну обробку в процесі проектування всієї проектно-конструкторської, технологічної, економічної та іншої інформації про об'єкт будівництва із усіма взаємозв'язками і залежностями, коли об'єкт будівництва і все, що має до нього відношення, розглядаються як єдиний об'єкт.

На етапі експлуатації передбачається, що отримана інформаційна модель (формату 6D) містить всі необхідні дані для ефективного управління та використання будівлі. Ці дані можуть включати в себе інформацію про виробника певного обладнання/системи, дату встановлення, необхідне технічне обслуговування та деталі про те, як вони повинні бути налаштовані і експлуатуватися для оптимальної роботи, енергоефективності, а також дані про термін служби та виведення з експлуатації. Використання форматів COBie (Construction-Operations Building information exchange) для таких задач може мати чисельні переваги та спростити інформаційний обмін. Цифрове та централізоване представлення таких даних, поєднаних з тривимірною моделлю, суттєво полегшує процес оперування будівлею, дозволяє легко отримувати необхідну інформацію для подальшого аналізу і моніторингу функціонування об'єкта, прийняття рішень, планування тощо. Слід зауважити, що насичення такими даними має важливе значення ще на етапах концепції та проектування, оскільки дозволяє прийняти найбільш оптимальне та ефективне рішення, враховуючи довгострокову перспективу експлуатації будівлі [1].

Основними перевагами інформаційної моделі є:

- добре скоординована, злагоджена і взаємопов'язана інформаційна база;
- піддатливість моделі об'єкта розрахункам та аналізу;
- має геометричну прив'язку конструкцій;
- придатна для комп'ютерного використання в подальшому;
- допускає необхідні оновлення [3].

Перевага під час періоду експлуатації та обслуговування:

- наявність та доступність до прийнятих конкретних проектних рішень;
- створення високоякісної проектної документації;
- прогнозування експлуатаційних якостей об'єкта;
- складання кошторисів і будівельних планів;
- замовлення і виготовлення матеріалів і обладнання;
- управління зведенням будівлі;
- управління під час експлуатації самої будівлі і засобів технічного оснащення протягом всього життєвого циклу;
- управління будівлею, яка є об'єктом комерційної діяльності;
- управління реконструкцією або ремонтом будівлі;
- знесення та утилізації будівлі;
- інших пов'язаних із будівлею цілей [3]. На підставі числової моделі визначають склад контрольованих параметрів, правила обробки і критерії оцінки технічного стану об'єкту.

Для визначення розрахункових (допустимих) значень контрольованих параметрів розробляється математична і комп'ютерна модель об'єкту з використанням сучасних засобів скінченно-елементного аналізу (ANSYS, ЛИРА, MicroFe, SCAD та ін.).

Метод регресійного аналізу для виявлення і прогнозу негативних змін. Функціонування системи моніторингу технічного стану несучих конструкцій дозволяє відстежувати зміну поточного стану будівлі і накопичувати відповідний інформаційну базу даних. Результати роботи системи моніторингу є базою для здійснення прогнозу технічного стану об'єкту.

Використання регресійного аналізу дає можливість виявляти залежності динаміки змін контрольованих параметрів і прогнозувати зміну контрольованого параметра на заданий часовий інтервал з метою визначення майбутнього технічного стану об'єкту.

Використання методів математичного моделювання і прогнозних значень контрольованих параметрів, отриманих шляхом регресійного аналізу, дозволяє здійснити прогноз майбутнього стану об'єкту у разі, якщо не будуть прийняті заходи по відвертанню розвитку негативних процесів, що викликають зміну значень контрольованих параметрів [4].

Системи BIM дозволяють параметризаційний опис геометричних і матеріальних ознак конструктивних елементів, що дає можливість в повній мірі оцінити усю інформацію із пов'язаними даними про виріб, виробника та вартість, що в майбутньому відіграє важливу роль як при обслуговуванні так і при заміні. Не забуваємо про кошторисні документи які за наявності точної інформації, по матеріалах, спрощуються у виконанні та представляються найбільш оптимальним варіантом.

Матеріал з якого виготовлений конструктивний елемент відіграє важливу роль під час експлуатації. Візьмемо до прикладу характеристики металевих труб для водопроводів табл. 1.

Характеристики металевих водопровідних труб.

Матеріал виготовлення труби	Властивості	Область застосування	Способи монтажу	Термін експлуатації, років
Металеві труби				
Сталь	Схильні до корозії, важкі, висока теплопровідність	Трубопроводи газопостачання, водопостачання та каналізації	Муфти, косинці, фітинги, зварювання	30–40
Чавун	Велика товщина стінок; порівняно із сталлю, не так схильні до корозії; важкі, стійкі до перепадів температур, міцні, неаварійні	Водопровідні та каналізаційні мережі, дощові та фекальні водостоки	Ущільнюючі прокладки та розтруби	80–100
Мідь	Мало схильні до корозії, надійні, витримують перепади температур, теплопровідність міді в 4 рази вище, ніж у сталі; стійкі до дії УФ-променів; непроникні для газів; мають бактерицидну дію; діапазон робочих температур від -200 до +500 °С; не схильні до старіння. З часом покриваються тонким шаром оксиду, який не впливає на їхню міцність.	Трубопроводи систем опалення, холодного та гарячого водопостачання, маслопроводи, газопроводи	Капілярне високо-температурне паяння, фітинги.	50–70

Якщо відповідно до регламенту проводити обслуговування водопровідних та каналізаційних мереж то можливо продовжити період експлуатації що найменше на 25%, а це лише один елемент із усієї системи будинку. А база даних яка кожного дня обновлюється може ефективно та в потрібні терміни надати інформацію щодо виконання робіт з підтримання в належному стані мережі в будинку та не лише.

Тому і є важливим наповнення інформації ще на початкових стадіях проектування. Більш наповнена інформаційна база по кожному із конструктивних елементів дасть змогу щонайкраще оцінити термін служби, технічні характеристики та скоординувати подальші дії під час проведення капітального ремонту, розрахувати кількість матеріалів для розрахунку вартості.

Висновки

Настав час відходити від застарілих норм, підходів та паперової інформації наявної про будинки які знаходяться в експлуатації. Потрібно почати крокувати у ногу із часом та розвивати найперспективніший, електронно-інформаційний підхід для зберігання та використання даних по будівлях та спорудах.

Зважаючи на затрачений час організацій які виконують обстеження та оцінку житлових будинків, та вартість робіт, використання інформаційної моделі може допомогти оптимізувати усе. Не обов'язковим буде шукати і переглядати усі паперові варіанти проектів та документації по об'єктах, а геометричні дані не обов'язково переміряти та креслити коли спонукає чергова потреба.

Необхідність технічного обслуговування є досить важливою, а деталі про те, як конструкції будівлі повинні бути змонтовані та експлуатуватися для оптимальної роботи всієї системи, збільшить термін служби системи в цілому та окремих її елементів. Цифрова інформація та централізоване представлення таких даних, значно полегшить багато різних процесів оперування будівлею, завдяки чому можливо легко отримувати необхідну інформацію для подальшого аналізу і моніторингу функціонування об'єкта, прийняття рішень, планування тощо. Тому перспектива впровадження даної технології є важливою, а спеціалісти у даній сфері затребувані.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 лютого 2021 р. (№ 152-р).
2. Валовой О.І. Проектування технологія та організація будівництва. Зведення і ремонт будівель та споруд. Том V "Реконструкція промислових будівель та споруд": Довідково-методичний навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком "Будівництво" / О.І. Валовой. - Кривий Ріг: Видавничий дім, 2009. - 480 с.
3. Трач Р.В. Інформаційне моделювання в будівництві (bim): сутність, етапи становлення та перспективи розвитку. Глобальні та національні проблеми економіки. – Вип. 16. – 2017. – С. 490–495.
4. Попруга Д. В. Проблеми моніторингу технічного стану будівель і споруд / Д. В. Попруга, О. І. Валовой // Вісник Криворізького національного університету : збірник наук. пр. – Кривий Ріг, 2013. – Вип. 34. – С. 186–190.

REFERENCES

1. Pro skhvalennya Kontseptsiyi vprovadzhennya tekhnolohiy budivel'noho informatsiynoho modelyuvannya (VIM-tekhnolohiy) v Ukraini ta zatverdzhennya planu zakhodiv z yiyi realizatsiyi. Rozporyadzhennyam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 17 lyutoho 2021 r. (№ 152-r).
2. Valovoy O.I. Tekhnolohiya proektuvannya ta orhanizatsiya budivnytstva. Zvedennya i remont budivel' ta sporud. Tom V "Rekonstruktsiya promyslovykh budivel' ta sporud": Dovidkovo-metodychnyy navchal'nyy posibnyk dlya studentiv vyshchykh navchal'nykh zakladiv za napryamom "Budivnytstvo" / O.I. Valovoy. – Kryvyy Rih : Vydavnychyy dim, 2009. – 480 s.
3. Trach R.V. Informatsiyne modelyuvannya v budivnytstvi (bim): sutnist', etapy stanovlennya ta perspektyvy rozvytku. Hlobal'ni ta natsional'ni problemy ekonomiky. – Vyp. 16. – 2017. – S. 490–495.
4. Popruha D . V. Problemy monitorynhu tekhnichnoho stanu budivel' i sporud / D.V. V. Popruha, O. I. Valovoy // Visnyk Kryvoriz'koho natsional'noho universytetu : zbirnyk nauk. pr. – Kryvyy Rih, 2013. – Vyp. 34. – S. 186–190.

Андрухов Валерій Михайлович – к.т.н., доцент кафедри ПЦБ, член-кореспондент академії будівництва України, очолює роботу СПКБ «ВІННИЦЯ-XXI».

Басистий Віталій Олександрович – аспірант, Вінницький національний технічний університет, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, E-mail: vital.bass1@gmail.com.

Мартинюк Юлія Олександрівна – бакалавр, Вінницький національний технічний університет, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії.

Гладкий Станіслав Олександрович – бакалавр, Вінницький національний технічний університет, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії.

V. Andrukhov
V. Bassist
Y. Martyniuk
S. Hladkyi

THE USE OF BIM - TECHNOLOGIES IN THE ASSESSMENT OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF RESIDENTIAL BUILDINGS

Vinnitsia National Technical University

Abstract Literary sources have been elaborated, which reveal the main topics of the discussed questions regarding the implementation of safe operation and due to which it is possible to increase the life span of buildings or structures. Literary sources on the implementation and implementation of BIM technologies on the territory of Ukraine, ensuring reliable maintenance of buildings during the period of operation have been elaborated. Familiarity with the capabilities of application software for information control and support during all stages of the life cycle to preserve the durability of the building was conducted. Data on the period of normal operation of some of the structural elements (sewer pipes, water pipes, etc.) were processed for maintenance or replacement planning. The main factors in the operation of buildings and structures are considered: climatic characteristics, location, load and influences, which in turn have a direct impact on the service life and technical characteristics, as well as the number and frequency of planned works or repairs to maintain the normal technical condition of the building. Work was carried out on the analysis of existing practices for assessing the technical characteristics of buildings and structures, estimated determinations of residual operational resources, technical characteristics and periods of trouble-free operation. Inspection and assessment of the technical condition, causes of problems and detection of defects, announcement of possible remedial measures. It has been analyzed how important digital information is and the presentation of such data in a centralized system. One database will greatly facilitate the processes of information collection, speed up support during maintenance. All processes will improve thanks to the ability to quickly receive the necessary information for further analysis and monitoring of the object's functioning, decision-making, planning, etc. The advantages and disadvantages of the approaches were studied and a conclusion was drawn.

Key words: operation, survey, BIM technologies, BIM levels, information model (6D BIM), digital database.

Andrukhov Valeriy Mykhailovych, Candidate of Technical Sciences, Corresponding Member of the Academy of Civil Engineering of Ukraine, Deputy head of the department, heads the work of SPKB "VINNITSA-XXI".

Bassist Vitaliy Oлександрович, graduate student, Vinnitsia National Technical University, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, E-mail: vital.bass1@gmail.com.

Martyniuk Yuliia Oлександрівна, bachelor, Vinnitsia National Technical University, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering.

Hladkyi Stanislav Oлександрович, bachelor, Vinnitsia National Technical University, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering.

В. М. Андрухов
А. С. Потеха
І. С. Мартинов

ПОЄДНАННЯ BIM-ТЕХНОЛОГІЇ З СИСТЕМАМИ CAD ДЛЯ РОЗРОБКИ РОБОЧОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОНОЛІТНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Вінницький національний технічний університет;

У роботі висвітлено аналіз досвіду дослідження потенціалу поєднання двох технологій - Building Information Modeling (BIM) та Computer-Aided Design (CAD) - у процесі проектування залізобетонних монолітних конструкцій, виконано аналіз доцільності використання обох технологій одночасно та розкрито методи їх поєднання. Розглянуто процес видачі документації на основі BIM-моделі та CAD креслень, зокрема формування опалубочних планів у Revit, оформлення креслень арматурних виробів та деталей у AutoCAD та розподіл креслень на робочі томи.

Ключові слова: BIM-технології, цифрова модель, шаблон експорту, CAD-технології, кросплатформенне проектування, робоча документація, залізобетонні конструкції, деталізація арматурних виробів

Вступ

У сучасному світі будівельної індустрії, швидкий технологічний та науковий прогрес призвів до появи нових методів та інструментів, які значно полегшують і поліпшують процес проектування та будівництва. Одним із найсуттєвіших та перспективних напрямків розвитку на період найближчої перспективи – є поєднання Building Information Modeling (BIM) та Computer-Aided Design (CAD) технологій.

У цій статті розглянуто доцільність використання обох цих технологій у розробці робочої документації для залізобетонних монолітних конструкцій. BIM забезпечує можливість створення цифрової віртуальної моделі будівлі, яка містить повну та точну інформацію про її елементи та взаємозв'язки. CAD, у свою чергу, дозволяє деталізувати та створювати креслення для матеріалізації цієї моделі. **Метою статті** є виявлення потенціалу та дослідження доцільності поєднання Building Information Modeling (BIM) та Computer-Aided Design (CAD) технологій у процесі проектування монолітних конструкцій.

Доцільність поєднання різних технологій проектування

Обираючи підхід до розробки робочої документації залізобетонних монолітних конструкцій, проектувальник постає перед вибором серед двох, всім відомих систем, таких як, BIM та CAD, опираючись на їх переваги та недоліки. Для того, щоб мінімізувати недоліки кожної з систем, використовується метод кросплатформеного проектування.

Building Information Modeling (BIM) надає зручну та ефективну платформу для інтегрованого проектування та управління проектами. Деякі переваги використання BIM у проектуванні монолітних конструкцій включають:

- Точність та координація: BIM дозволяє створювати цифрові 3D-моделі залізобетонних монолітних конструкцій, що забезпечує точне відображення всіх елементів проекту. Це дозволяє виявляти й усувати можливі конфлікти та колізії між різними елементами будівлі на основі моделі.
- На основі BIM-моделі можливість реалізації аналізу (оцінки прийнятих проектних рішень) включаючи міцність, стійкість та енергоефективність, не лише стає менш трудоємною, а й надає можливість проектувальникам виявлення та прийняття більш оптимальних рішень.

Computer-Aided Design (CAD) на сьогодні, є основним інструментом для деталізації та створення технічної документації. Використання CAD допомагає у розробці креслень з деталізацією необхідною для практичної реалізації та планів залізобетонних монолітних конструкцій [1]. Основні переваги використання CAD у проектуванні монолітних конструкцій включають:

- Деталізація: CAD дозволяє створювати розширені креслення з урахуванням всіх необхідних вимог та норм. Це забезпечує високу деталізацію при плануванні монолітних конструкцій.
- Швидкість та продуктивність: Використання CAD дозволяє автоматизувати процес створення креслень, що сприяє підвищенню продуктивності та зменшенню часу на розробку документації.

Методи та алгоритми взаємодії між програмними комплексами

Для налаштування робочого процесу всередині проекту, у якому використовується підхід BIM-CAD, необхідно дотримуватись наступного переліку вимог для оптимізації, а саме:

- Створення центральної моделі згідно до вимог EIR (інформаційних вимог замовника) [2];
- Модель повинна створюватись в єдиному загальному середовищі даних (CDE);
- Розділ КБ (конструкції бетонні) у якому описується геометрія конструкцій, до них входять: опалубочні плани, розрізи по будівлі, схеми розташування фундаментів, горизонтальних та вертикальних конструкцій, вузли примикання конструкцій необхідно оформляти у програмах які використовують BIM-технології [3].
- Специфікації конструкцій та відомості витрат бетону мають бути взяті з інформаційної моделі [4];
- У моделі повинні бути оформленні шаблони для експорту опалубочних планів та розрізів;
- Важливо дотримуватись точної прив'язки експортованих креслень, для подальшого контролю змін;
- Деталізацію арматурних виробів, елементів та деталей у CAD системах, слід реалізовувати на основі експортованих креслень, з обов'язковою прив'язкою та прикріпленням зовнішнього посилання на файл.

Шаблон експорту - це є одним з ключових моментів, який дає змогу реалізувати такий підхід до розробки документації, розділу КБ, з прив'язкою до BIM-моделі. За допомогою відповідно налаштованого шаблону експорту, забезпечується єдиний стандарт файлів AutoCAD.

До налаштувань шаблону експорту в Revit входить:

- Створення шаблону виду для: розрізів, планів, інших видів;
- Створення стандарту назви видів, в який буде входити: стадія проектування, рівень відносно нуля, частина конструкцій, тип виду (план, розріз), безпосередня назва виду;
- У розділі експорту необхідно створити рівні для AutoCAD відповідно до категорій Revit.

Для успішного функціонування запропонованого поєднання було розроблено алгоритм розробки робочих креслень на основі експортованих даних із моделі рис.1

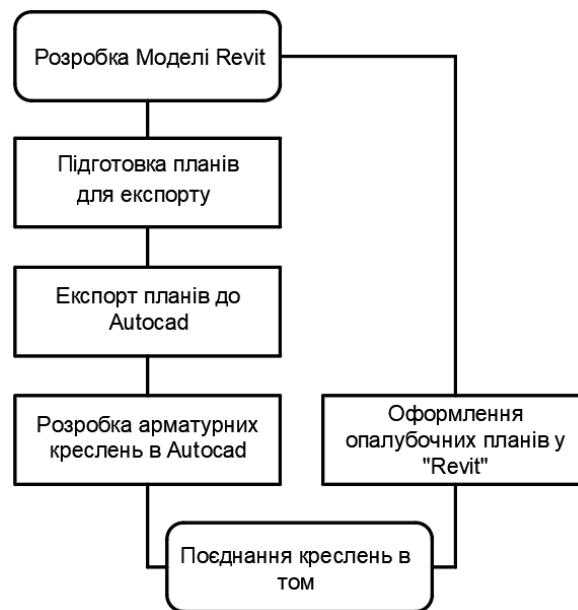


Рисунок 1 – Алгоритм функціонування запропонованого поєднання BIM-CAD

Видача та оформлення документації

Завершуючи розробку повного комплексу креслень, виникає питання з оформлення їх для видачі на експертизу або безпосередньо для будівництва. Методом спроб та помилок було визначено правила та траєкторії, які доцільно використовувати при роботі з системами BIM-CAD.

Суть яких полягає в оформленні томів під різними шифрами, окремо для інформаційної моделі, та окремо для деталюваних арматурних креслень. Така схема є найпростішою з точки зору оптимізації завершальних робіт, але для цього слід попередньо внести ці томи у списки складу проекту.

Інші методи, виявились недоцільними із-за великої кількості помилок при складенні відомості креслень, нумерації листів, заповнення основних підписів та неможливістю виконати автоматичні посилання на листи.

Перевагами такого кросплатформеного методу проектування є:

- Зручне керування опалубочними моделями, відслідковування їх змін у реальному часі та мінімізація помилок при видачі готової проектно-кошторисної документації (ПКД).
- Використання додаткових налаштувань для процесу деталізації арматурних виробів у системі AutoCAD, що зменшує витрати часу на видачу готової ПКД.
- Змога поєднати в одну команду ВІМ інженерів та проектувальників, які не володіють інструментами інформаційного моделювання.

Висновки

Поєднання ВІМ та CAD-технологій при розробці робочої документації залізобетонних монолітних конструкцій є доцільним та ефективним підходом. Використання ВІМ дозволяє забезпечити точність, координацію та аналіз проекту, тоді як CAD забезпечує деталізацію та швидкість розробки робочої документації. Інтеграція цих технологій, включаючи використання Revit для опалубочних планів та оформлення арматурних креслень у AutoCAD, дозволяє створювати повноцінну та зручну документацію. Використання ВІМ-моделі в поєднанні з CAD-кресленнями сприяє забезпеченню якості та актуальності документації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабенко, І. В. Інтеграція CAD-систем та ВІМ-технологій в будівельній галузі [Електронний ресурс] / І. В. Бабенко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Проблеми моделювання та автоматизованого проектування. - 2014. - № 25. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npdntu_2014_25_3.
2. Андрухов В. М. Про один з можливих варіантів запровадження ВІМ-технологій в практику моделювання будівельних об'єктів [Текст] / В. М. Андрухов, В. В. Матвійчук // Будівельні конструкції. – 2018. – № 2. – С. 19-24. Режим доступу: <https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/580/552>
3. Петрик, С. А. Анализ перехода от CAD-конструкторов к ВІМ-моделям в проектировании / С. А. Петрик, О. И. Николенко // Научный журнал "Кубанский государственный аграрный университет". - 2015. - № 115. - С. 85-93.
4. Akinci, B., & Fischer, M. (2013). The role of BIM in construction defect detection. Journal of Information Technology in Construction, 18, 186-190.
5. Кулешова Н.В. ВІМ-технологии: перспективы и проблемы внедрения/ Н. В. Кулешова // Экономика и управление. - 2016. - № 5(132). - С. 85.

REFERENCES

1. Babenko I . V. Intehratsiya CAD-system ta BIM-tekhnologiy u budivel'nu haluz' [Elektronnyy resurs] / I.V. V. Babenko // Naukovi pratsi Donets'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. Seriya: Problemy modelyuvannya ta avtomatyzovanoho proektuvannya. – 2014. – № 25. – Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npdntu_2014_25_3.
2. Andrukhov V . M. Pro odyn z mozhlyvykh variantiv vprovadzhennya VIM-tekhnologiy u praktyku modelyuvannya budivel'nykh ob'yektiv [Tekst] / V.V. M. Andrukhov, V. V. Matviychuk // Budivel'ni konstruktsiyi. – 2018. – № 2. – S. 19-24. Rezhym dostupu: <https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/580/552>
3. Petryk, S . A. Analiz perekhodu vid CAD-konstruktoriv do BIM-modeley v proektuvanni / S. A. Petryk, O. Y. Nykolenko // Nauchnyy zhurnal «Kubanskyi hosudarstvennyy ahrannyi unyversytet». - 2015. - № 115. - S. 85-93.
4. Akinchi, B., Fisher, M. (2013). Rol' BIM u vyyavlenni budivel'nykh defektiv. Zhurnal informatsiynykh tekhnologiy u budivnytstvi, 18, 186-190.
5. Kuleshova N.V. BIM-tekhnologiyi: perspektyvy i problemy vprovadzhennya/N. V. Kuleshova // Ékonomyka u upravlenye. - 2016. - № 5(132). - S. 85.

Андрухов Валерій Михайлович – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет, e-mail: vmandruchov@gmail.com;

Потеха Андрій Сергійович – студент 5 курсу, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Мартинів Ілля Сергійович – студент 3 курсу, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

V. M. Andrukhov
A. S Potiekha
I. S. Martynov

THE COMBINATION OF BIM TECHNOLOGY WITH CAD SYSTEMS FOR THE DEVELOPMENT OF WORKING DOCUMENTATION OF REINFORCED CONCRETE MONOLITHIC STRUCTURES

Vinnitsia National Technical University;

Explores the potential of combining two technologies - Building Information Modeling (BIM) and Computer-Aided Design (CAD) - in the process of designing monolithic structures, analyzing the feasibility of using both technologies and reveals methods for combining them. The process of issuing documentation based on the BIM model and CAD drawings is considered, in particular the formation of formwork plans in Revit, the design of reinforcing drawings in AutoCAD and the division of drawings into working volumes.

Tags: BIM technologies, digital model, export template, cross-platform design, CAD technologies, working documentation, reinforced concrete structures, detailing of reinforcement products

Andrukhov Valeriy Mykhailovych – PhD, Associate Professor, Vinnitsia National Technical University, e-mail: vmandruchov@gmail.com;

Andriy Serhiiovych Potekha – student, Department of Civil and Environmental Engineering Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia city.

Illia Serhiiovych Martynov – student, Department of Civil and Environmental Engineering Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia city.

ЦИРКУЛЯРНА ЕКОНОМІКА: УКРАЇНСЬКІ РЕАЛІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ В БУДІВЕЛЬНІ ГАЛУЗІ

Вінницький національний технічний університет

Стаття присвячена актуальній темі переходу від лінійної до циркулярної економіки на прикладі будівельної галузі, яка являється одним з найбільших джерел утворення відходів та базою для використання відходів металургійного, будівельного виробництва та відходів роботи ТЕС.

Вичерпність сировинних і енергетичних ресурсів, зростання забруднення довкілля зумовлює необхідність подовження терміну служби будівельних матеріалів за рахунок їх переробки, або їх використання в інших технологічних процесах. Циркулярна економіка ототожнюється з концепцією «кругової» економіки або з виробництвом з замкнутим циклом, безвідходним виробництвом.

Показано, що Національний план управління відходами до 2030 року, прийнятий постановою КМУ 20 лютого 2019 року, залишається своєрідною «дорожньою картою», але реалізації заходів Національної стратегії управління відходами відстає від запланованих заходів. Встановлено, що практично 90% відходів виробництва повторно не використовуються і направляються у відвали. Найбільші резерви не використаних побічних продуктів виробництва приходиться на металургійну галузь та відходи виробництва енергії на ТЕС.

Для ефективності функціонування циркулярної економіки питома вага екологічних податків у ВВП європейських країнах коливається в межах 1,5-4%, тоді як в Україні - на рівні 0,1%. Із загальної суми штрафів за екологічне забруднення сплачується менше 5%, що свідчить про необхідність реформування вдосконалення системи оподаткування шкідливих викидів.

Ключові слова: циркулярна економіка, будівельна галузь, відходи, повторне використання, екологічні проблеми, екологічного оподаткування.

Вступ

У кожному суспільстві існують різні проблеми, одна з яких - екологічна. Наприкінці ХХ століття вона вийшла на світовий рівень. Це проявляється в таких негативних тенденціях, як виснаження ресурсів та глобальне потепління, що веде до руйнування системи «людина суспільство-природа», ставить під загрозу її існування.

Відновлення ресурсів, переробка вторинної сировини і перехід до відновлюваних джерел енергії лежить в основі циркулярної економіки або економіки замкнутого циклу [1]. Концепція рециклінгу будівельних матеріалів являється основою формування нового ринку рециклінгових матеріалів, як одного з ключових чинників зменшення їх вартості.

На даний момент в багатьох країнах використовують лінійний тип економіки, який передбачає виробництво, споживання та нагромадження відходів. Альтернативною такої економічної моделі стала циркулярна економіка (circular economy). Вона заснована на повторному використанні ресурсів на всіх етапах ланцюжка створення продукції та її існування. Ця модель повторює кругову природну систему, де все вироблене одного біологічного ланцюга є сировиною для виробництва іншого, тобто всі відходи мають максимально перероблятися та використовуватися. В підсумку скорочуватиметься споживання первинної сировини, знижуватиметься кількість відходів та полігонів і при цьому має скорочуватися енергоспоживання виробництва і покращуватиметься стан екології.

За підрахунками, проведеними в ЄС, запровадження ресурсоефективних технологій виробництва на всіх ланках виробничих ланцюгів дозволить скоротити потреби промисловості у сировинних ресурсах на 17-24 % до 2030 року та знизити щорічні витрати підприємств на виробництво на 630 млрд євро [2].

Постановка проблеми. На сьогодні будівельний сектор європейської економіки є найбільшим споживачем ресурсів. Оцінюючи в цілому та окремо стадії життєвого циклу будівлі (від видобутку матеріалів, виробництва будівельної продукції, безпосереднього будівництва, експлуатації та технічного обслуговування будівель), в масштабах ЄС вся галузь відповідає за споживання 1/2 видобувних матеріалів, 1/2 енергії, 1/3 води та генерує 1/3 всіх відходів та викидів CO₂, оскільки до 35% будівель в ЄС побудовано 50 років тому і більше та є морально й технічно застарілими [3].

За даними Євростату, в країнах ЄС будівельні відходи складають майже третину від всіх відходів, це здебільшого ґрунт, бетон, цегла, скло, деревина, гіпсокартон, азбест, метали, пластик та інші, а показники переробки відходів знаходяться в межах від 10 % до 90 %.

В загальній структурі будівельних відходів приблизно 52 % становить бетон та залізобетон, 32 % – кам'яні стінові матеріали (цегла, стінові блоки, піно- та газобетон), 8 % – відходи асфальту та будівельних розчинів, 4 % – відходи металів, 2 % – відходи дерева та пластмас, 1 % – керамічні вироби (сантехнічна кераміка, керамічна плитка), 1 % – гіпсокартон, скло та інші відходи. Основний

обсяг будівельних відходів утворюється в результаті знесення будівель та при виконанні робіт з капітального ремонту (до 60%), реконструкції будівель і споруд (до 35%), а також при новому будівництві (1,5%).

В недалекому історичному минулому в Україні практично не існувало потреб в природних та енергетичних ресурсах. В самих авторитетних наукових журналах 70—80 х років минулого століття на основі розвіданих запасів зазначалось, що Україна та Казахстан за запасами кам'яного вугілля займають почесне 6 місце в світі і вугілля, при існуючих в той час обсягах видобутку, його вистачить на 400 років. Видобуток природного газу в колишньому СРСР розпочався в Україні і його питома вага в енергетичному балансі республіки була найвищою в світі, становила 42–44 %, тоді як світовий її рівень в той час і на сьогодні становить лише 20–22 %. Саме через такі обставини матеріаломісткість та енергоємність виробництва в Україні являються надзвичайно затратною в порівнянні з іншими країнами світу.

Видобуток кам'яного вугілля в Україні катастрофічно скоротився, а в останні роки, країна експортувала вугілля, а до 2035 року зобов'язалась відмовитись від його використання навіть попри війну, розв'язану росією. Таке рішення прийняте відповідно до рішень Паризької конференції 2015 року щодо обмеження викидів парникових газів і не допущення зростання глобальної температури до 2100 року на 1,5 °С.

Протягом 2007-2020 років енергоємність економіки України поступово зменшувалась, але показник енергоємності ВВП України і по сьогодні залишається одним з найвищих у світі. Він 2,7 рази вище, ніж у Польщі, в 3,3 рази вище, ніж у Німеччині. За даними [4] в 2015 році енергоємність ВВП України перевищувала енергоємність ВВП Німеччини в 4 рази, Польщі – в 3,2 рази, США – в 2,8 рази, Китаю і Росії – в 1,8 рази, Італії та Іспанії – в 4,8 рази, Швейцарії – в 6,5 рази. На утримання 1 м² житла і по сьогодні в Україні витрачається в 2,0–2,5 рази більше теплової енергії ніж в країнах ЄС. В усьому світі будівлі споживають близько 40% загальної первинної енергії, та відповідальні за приблизно 36% від загальних викидів CO₂.

Прагнення сприймати відходи, не як непотрібні побочні продукти, а як корисні ресурси, це важливий і особливо дієвий фактор циркулярної економіки. Вона набуває особливого значення через вичерпність природних сировинних ресурсів і накопичення відходів.

Україна у 2014 році підписала Угоду про асоціацію з ЄС, зробила європейський вибір у тому числі і у сфері управління відходами. В європейських країнах значна частина відходів підлягає вторинній переробці, в Україні системний рециклінг не поставлений на промислову основу і фактично не існує дієвої галузі з переробки та утилізації відходів, яка цілеспрямовано повертала б у виробництво побочні продукти будівельного, енергетичного металургійного чи іншого виробництва.

Мета роботи. Дослідити потенціальні можливості реалізації концепції функціонування циркулярної економіки на прикладі будівельної галузі.

Якщо лінійна економіка передбачає «взяти, зробити, покористуватись, позбутися в утиль», то концепція циркулярної економіки полягає у тому, щоб максимально використати відходи, мінімізувати витрати, перейти до повторного використання відходів при виробництві іншої продукції (рис.1). Тобто, економіка замкнутого циклу передбачає формування нових підходів до виробництва і зосереджується, головним чином, на тих продуктах і послугах, які дозволяють мінімізувати матеріальні, енергетичні ресурси та зменшити екологічне навантаження на довкілля.

Саме за таким принципом (рис. 1) функціонує циркулярна економіка, яка передбачає альтернативу лінійній моделі розвитку економіки. Ідея циркулярної економіки - подовжити життя відходів та повторно їх використати, при цьому значно скорочуються або екологічно утилізуються тільки ті відходи, які неможливо повторно використати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Видобуток природної мінеральної сировини, викопних видів палива з надр за останні 100 років збільшився майже в 30 раз і практично досягнув межі ефективного видобутку багатьох ресурсів. Порушення стану навколишнього природного середовища проявляється в: забрудненні атмосфери; поверхневих водойм; відведення великих земельних ділянок під складування відходів та інших додаткових втрат через накопичення різноманітних відходів.

Хоча саме будівельне виробництво провокує утворення великої кількості відходів, але одночасно будівельна галузь має велику ресурсну базу для їх використання. Це особливо стосується гірничодобувної, енергетичної, металургійної галузей, промисловості виробництва будівельних матеріалів та інших сфер виробництва.



Рисунок 1 – Життєвий цикл будівель та споруд.

Нещодавно Верховна Рада ухвалила новий закон «Про управління відходами», який став початком адаптації законодавства в питаннях управління відходами до принципів ЄС. Його необхідність мотивувалась тим, що Україна є єдиною державою в Європі, де держава майже не контролює поводження з відходами. У 2019 році Україна посіла 9 місце у світі за найбільшим обсягом сміття на жителя. Українець в середньому викидає близько 1 кг сміття щодня, а промислові відходи в розрахунку на одну людину складають 30 кг на день. Рівень переробки відходів становить 3-5%, ще 1-3% відходів йде на спалювання, 94% побутових відходів потрапляє на сміттєзвалища. Щодня в Україні захоронюється на сміттєзвалищах приблизно 33 000 тонн відходів, а за рік – це понад 12 млн тонн.

Під час спалювання вугілля на ТЕС в Україні кожного року утворюються шлаки і зола у кількості 7–9 млн. т (50–200 грамів на 1 кВт виробленої електроенергії) [5]. До тепер у відвалах ТЕС України накопичено 358,8 млн т золошлаків на площі близько 3170 га [6]. Лише приблизно 40 % металургійних шлаків, що переробляються, припадає на цементну галузь, 20 % шлаків, що переробляються, застосовуються в дорожньому будівництві, а сталеплавильний шлак в Україні практично не використовується, хоча у країнах ЄС, за даними Euroslag, 46 % від загального обсягу його припадає саме на дорожнє будівництво. Якщо шлаки в розвинених країнах ЄС відносяться до вторинної сировини та не мають статусу відходів, то в Україні більш 95 % відходів це промислові відходи, а їх найбільша частина приходить саме відходи металургійного виробництва. За різними оцінками, в Україні накопичено приблизно 35–36 млрд тонн різних техногенних відходів. Обсяг накопичених металургійних шлаків – понад 160 млн тонн, але більшість із них мають ресурсну цінність.

Зола винос обов'язково використовується в технології виробництва автоклавного газобетону в Китаї, Польщі, інших країнах, а у Великобританії ще з 1951 року в Лондоні працює перший завод з виробництва газобетону, побудований поруч з електростанцією, яка працювала на вугіллі [7]. В Україні через логістику, наявність якісної природної сировини (кварцових пісків) за доступної ціною при виробництві найбільш поширеного стінового матеріалу - автоклавного газобетону жодний завод не використовує золу винос[8].

Світова практика та вітчизняний досвід підтверджує ефективність використання золи винос та шлаків в технології виробництва різноманітних цементних бетонів. В Німеччині, США, інших країнах будівельники законодавчо зобов'язані застосовувати золу ТЕС в бетонах і розчинах, а порушники піддаються економічним санкціям з боку держави. Зазвичай ТЕС доплачує споживачеві за відбір золи. В Китаї золошлакові відходи ТЕС відпускаються споживачам безкоштовно, в Польщі застосовуються економічні важелі, які стимулюють споживачів до використання золи та шлаків, в країнах західної Європи, США, Японії біля ТЕС практично ліквідовані золовідвали.

Для обміну досвідом у напрямку переробки будівельних відходів та популяризації цієї ідею, в Європі створено Асоціацію зі знесення будівель (European Demolition Association), до якої входять 79 європейських компаній. В залежності від держави, виду відходів і розташування сміттєзвалища вивіз 1 т будівельних відходів обходиться від 4 до 150 євро. Саме тому виробникам відходів вигідніше витратити ресурс на їх переробку. Зокрема в Нідерландах на повторне використання йде близько 90 %, у Бельгії —87 %, у Данії — 81 %, у Великій Британії — 45 %, у Фінляндії — 43 %, в Австрії — 41 % відходів.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.7-128:2006 «Добавки активні мінеральні та добавки – наповнювачі до

цементу. Технічні умови » частина цементного клінкеру може бути замінена техногенними активними мінеральними добавками: золи-виносу (побічний продукт від спалювання вугілля на ТЕС); паливний шлак; мікрокремнезем - побічний продукт при виробництві кремнію і феросиліцію; випалена глина; випалений сланець; відпрацьовані формувальні маси. До природних мінеральних добавок відносять природні осадового або вулканічного походження – вулканічний попел, туф, цеоліт, трас, пемза, базальт, вулканічний шлак і їх різновиди. Природні активні мінеральні добавки-пуцолани осадового походження: діатоміт, трепел, опока – гірські породи складаються головним чином з аморфного кремнезему.

Найбільший енерго-екологічний і сировинний ефект при виробництві цементів досягається при використанні доменних гранульованих шлаків. В ДСТУ Б В.2.7-46:2010 «Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови» передбачено і давно доказано на практиці, що в складі цементів високоенергозатратний клінкер частково може бути замінений мінеральними добавками, в досить широкому діапазоні: в традиційному портландцементі (від 6 % до 35 %); в шлакопортландцементі (від 36 % до 95 % гранульованого доменного шлаку); в пуцолановому цементі (від 21 % до 55 % мінеральних добавок); в композиційному цементі (від 36 % до 80 % мінеральних добавок).

Сучасні тенденції впровадження циркулярної економіки

За даними МЕА виробництво цементу в світі несе відповідальність за більше ніж 5% викидів CO₂, а цемент випалюється при температурі 1450 °С. Саме тому в складі цементів і подалі буде зростати доля мінеральних добавок штучного і природного походження, які забезпечують економію цементного клінкеру. В 1980-1990 роках виробництво цементу в Україні досягло максимуму – 22,7 млн. т, , на сьогодні виробляється 9–10 млн. т.

Європейська комісія 11 березня 2020 року прийняла новий План дій з циркулярної економіки, так званий Circular Economy Action Plan або (CEAP), який є частиною європейського «зеленого» екологічного курсу (European Green Deal). План передбачає низку інновацій та змін, реалізація яких дозволить до 2050 року перетворити Європу на кліматично-нейтральний континент та сприятиме підвищенню добробуту й рівня життя громадян, екологізації економіки і захисту довкілля. ЄС передбачає реалізацію спеціальних програм фінансування для підтримки переходу до циркулярної економіки, таких як Європейські структурні та інвестиційні фонди, Horizon 2020 та програма LIFE. Крім того, Європейський інвестиційний банк надає фінансування та консультації для проектів циркулярної економіки через Європейський фонд стратегічних інвестицій та програму «Фінансування інноваторів ЄС» (InnovFin). У 2021 році стартувала велика програма Single Market Programme (SMP).

В основі циркулярної економіки спочатку було закладено 3 головних принципів, які отримали назву «3R»: Reduce (скорочення); Reuse (повторне використання); Recycle (переробка). Але з часом вони трансформувалися в «9R»: Rethink – Reduce – Reuse – Repair – Refurbish – Remanufacturing – Repurpose – Recycle – Recover [9].

Європейське агентство з навколишнього середовища в своєму дослідженні «Циркулярна економіка в Європі», проведеному ще в 2016 році визначило такі переваги циркулярної економіки для країн ЄС:

- підвищення безпеки ресурсів і зниження залежності від імпорту завдяки зниженню попиту на первинну сировину;
- зниження впливу на навколишнє середовище, яке передбачає різке скорочення викидів парникових газів;
- економічні вигоди та нові можливості для зростання та інновацій, а також економію,
- пов'язану з підвищенням ефективності використання ресурсів;
- соціальні пільги від створення нових робочих місць до змін у поведінці споживачів, що ведуть до поліпшення результатів в області охорони здоров'я та безпеки.

Європейська Комісія в 2020 році ухвалила План дій щодо «циркулярної економіки» (Circular Economy Action Plan), що є важливою складовою порядку денного стратегії Європейського «зеленого» курсу (European Green Deal). Метою даного Плану є скорочення споживання в ЄС та подвоєння повторного використання ресурсів у найближчі десятиліття і не тільки будівельного сектору економіки, одночасно сприяючи економічному зростанню. Для переходу на циркулярну економіку ЄС встановив нові більш дієві розширені наступні цілі та пріоритети:

- припинити вивезення роздільно зібраних відходів на полігони;
- розвивати економічні інструменти, завдяки яким зменшується вивіз відходів на звалища;

- спростити та гармонізувати методи розрахунку тарифів;
- сприяти повторному використанню;
- стимулювати промисловий сімбіоз: перетворення побічних продуктів однієї галузі в сировину для іншої;
- економічно стимулювати екодизайн упаковки і схеми відновлення та переробки.

Країни ЄС планують до 2030 року переробляти 65 % і муніципальних відходів та 70 % упаковки, випускати пластикову упакову, яка на 100 % піддається переробці та вивозити на звалища не більше 10 % твердих побутових відходів [10]. На рис. 2 приведена динаміка коефіцієнта циркулярності повторного використання матеріалів в країнах ЄС.

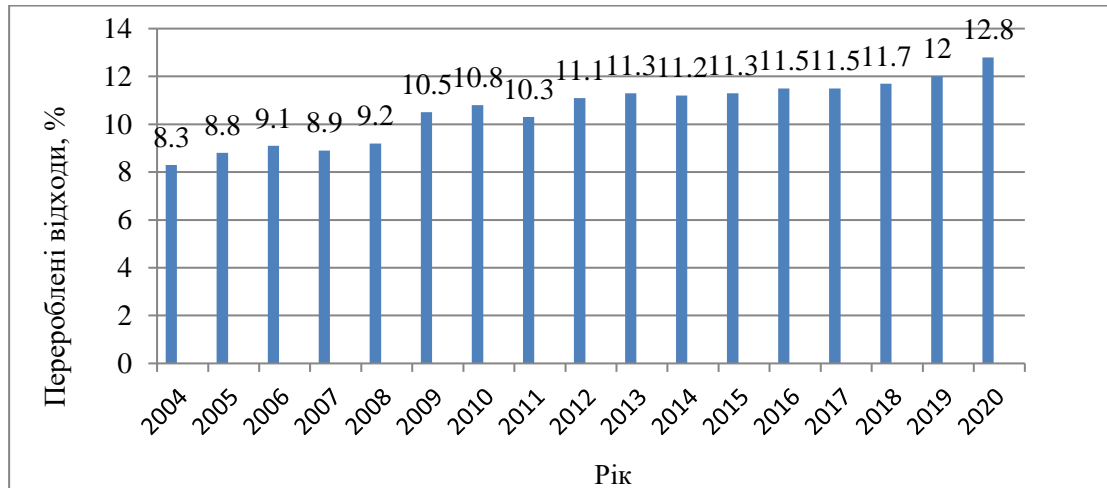


Рисунок 2 – Коефіцієнт використання циркулярного матеріалу з 2004 по 2020 рр.

Як видно з рис. 2 коефіцієнт використання циркулярних матеріалів у ЄС з 2004 по 2020 рік зріс до 12,8%. Це означає, що майже 13% матеріальних ресурсів, які використовуються в ЄС, походять із перероблених відходів.

Перехід України до циркулярної економіки

Станом на 2017 рік на території України було накопичено 36 млрд т відходів, з яких 1,5 млрд/ т – небезпечні відходи. Особливо відчутним є відставання України від країн Європи у сфері поводження з твердими промисловими відходами (ТПВ). В Україні приблизно 92% ТПВ вивозиться на полігони, а станом на сьогодні в Україні діє 6148 полігонів сміття, з них офіційними є тільки 2600 [11]. Відповідно до норм ЄС, їх кількість необхідно скоротити до 500 одиниць.

Однією з основних директив у сфері управління відходами, яку повинна впровадити Україна у відповідності до Угоди про асоціацію з ЄС це Директива 2008/98/ЄС «Про відходи». Цією директивою передбачена наступна класична пріоритетність управління відходами:

1. Запобігання утворенню відходів.
2. Підготовка до повторного використання.
3. Перероблення.
4. Інший тип утилізації, наприклад, для відновлення енергії.
5. Видалення.

В Україні накопичуються величезні обсяги різноманітних відходів, а самі сміттєзвалища фактично перетворилися на джерела великої екологічної небезпеки. Паспортизація місць захоронень твердих побутових відходів, яка проводилась органами державного санітарного контролю, свідчить, що майже 90 % з них не відповідають вимогам екологічної безпеки.

Ще одним проблемним питанням у сфері циркулярної економіки моментом в Україні є відсутність тарифу на переробку відходів, що приводить до того, що існуючий ринок вторинної сировини в Україні є тіньовим.

Прийнята ще у 2017 році Національна стратегія управління відходами до 2030 року передбачає імплементацію в Україні кращих європейських практик в сфері поводження з різними видами відходів (промисловими, твердими побутовими, відходами АПК, будівельними та іншими видами відходів). Національний план управління відходами до 2030 року, прийнятий в 2019 році, є своєрідною «дорожньою картою» реалізації Національної стратегії управління відходами, він встановлює конкретні завдання і заходи, які дозволять Україні до 2030 року перейти до нової моделі поводження з відходами, до економіки замкненого циклу.

Істотним недоліком обліку екологічних витрат на вітчизняних підприємствах є те, що в системі бухгалтерського обліку відсутнє поняття «екологічні витрати», тому в фінансовій звітності екологічні витрати «розмиваються» у складі інших статей звітності. В країні відсутня система пільг та стимулів використання багатотоннажних відходів в будівельному виробництві. Це стосується використання доменних гранульованих шлаків, золи-винос та золошлакових відходів ТЕС, переробленого будівельного лому.

Наразі в Україні функціонує лише один сміттєспалювальних заводів - київський завод «Енергія» дозволяє утилізувати 25% твердих промислових відходів Києва і перетворити їх в теплову енергію, якої достатньо приблизно для 300 столичних багатоповерхівок [12]. В 2023 році планується завершення будівництва сучасного потужного сміттєпереробного заводу в Львові, який будується іноземними компаніями.

Для реалізації і підтримки циркулярної економіки в галузі використання відходів в Україні прийняті базові нормативні документи: Національна стратегія управління відходами до 2030 року; Національний план управління відходами до 2030 року; Стратегія державної екологічної політики України на період до 2030 року; Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року та план її реалізації; Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року.

Оподаткування шкідливих викидів

Досвід розвинених країн ЄС свідчить, що найбільш дієвим механізмом зменшення різноманітних відходів та шкідливих викидів є оподаткування їх виробників. Екологічний податок — це загальнодержавний обов'язковий платіж, що справляється з фактичних обсягів викидів у атмосферу, у водні та земельні ресурси. Саме введення в 1990–1991 роках в більшості європейських країн відчутного екологічного податку на викиди CO₂ забезпечило цим країнам можливість суттєво скоротити ресурсо- та енергоспоживання і покращити екологію довкілля.

МВФ вважає, що податковий інструмент є найбільш ефективним і якщо завдатись метою до 2030 року скоротити на 1/3 рівень викидів в атмосферу CO₂ то для досягнення цілі Паризької угоди необхідно запровадити податок (збір) 70 дол/т викидів вуглекислого газу [13]. В багатьох країнах Європи існує заборона на захоронення відходів і тарифи на захоронення відходів щороку зростають і є вищими порівняно з тарифами на утилізаційні операції. Наприклад, розміщення на полігоні однієї т відходів у Чехії коштує 20 євро, в Польщі – 26,6 євро, у Словенії – 22 євро, у Швеції – 47 євро, в Данії – 63,3 євро.

На рис. 3 приведена динаміка змін надходжень до бюджету від екологічних податків. За сумою екологічних податків (близько 150 млн євро) Україна в 2018 році з держав-членів ЄС

випереджала тільки Ліхтенштейн, поступаючись, наприклад, Польщі у 90 разів, Латвії, Литві у 6-7 разів Естонії у 4,7 рази. Але Ліхтенштейн це карликова європейська країна з населенням біля 40 тис. осіб. Екологічні податки в країнах ЄС наближаються до 6% усіх податкових надходжень, в 2018 році вони більше ніж в 10 разів перевищували відсоток аналогічного вітчизняного показника[14].

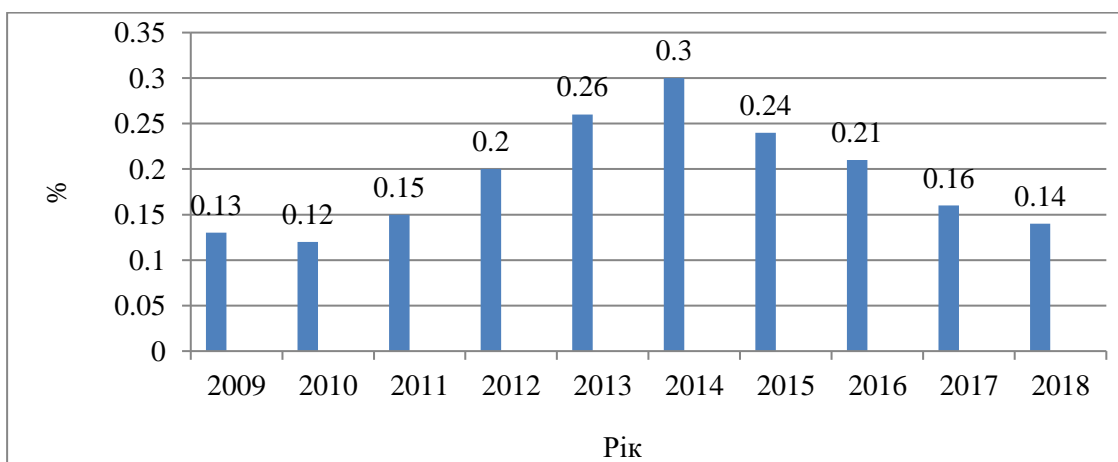


Рисунок 3 – Динаміка надходження екологічних податків до бюджету України, % до бюджету.

За даними Євростату питома вага екологічного податку у ВВП України досягала свого максимуму у 2013-14 роках і складала 1,1 % ВВП в 2014 році. У наступні роки питома вага екологічного податку у ВВП України суттєво зменшувалась і в 2015-2018 роках становила відповідно 0,4 %, 0,6 %, 0,5 % та 0,4 %. Тоді, як питома вага екологічних податків у ВВП НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ «СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ, МАТЕРІАЛИ І КОНСТРУКЦІЇ В БУДІВНИЦТВІ» 161

європейських країнах знаходиться на рівні 1,5-4 %. Зокрема в 2017 році цей показник становив у Греції – 3,97 %, Данії – 3,72 %, Латвії – 3,48 %, Нідерландах – 3,33 %.

В доповіді на слуханнях у Комітеті Верховної Ради України з питань екологічної політики та природокористування на тему: «Розподіл та використання екологічного податку в Україні: сучасний стан та пріоритетні напрями» були наведені результати екологічного оподаткування. В 2020 році до українського бюджету у цілому надійшло 4,4 млрд. грн, що склало 0,1 % ВВП країни. Різниця в надходженнях у відсотках до ВВП від сплати екологічних податків України та країн ЄС становить майже в 40 раз.

За даними Державної екологічної інспекції, далі (Держекоінспекції) джерелом впливу на довкілля є 7 тис. різних підприємств. Протягом 2018–2020 років було зафіксовано 856 випадків недопуску суб'єктами господарювання державних інспекторів до здійснення планових заходів нагляду. Штраф за недопуск становить 255–765 грн. Коли порушник добровільно не компенсує збитків, які визначила інспекція, то інспекція подає до суду заяву про стягнення в примусовому порядку і зобов'язана сплатити 1,5 % від суми позову до бюджету.

Діяльність Держекоінспекції впродовж останніх років мало сприяла покращенню стану довкілля і надходженню штрафів до бюджету. Із загального обсягу розрахованих збитків за 2018–2020 роки, добровільно та примусово було сплачено за результатами розгляду претензій за порушення природоохоронного законодавства лише 4,8 % підприємств. При цьому на початок 2021 року з 5,3 млрд грн розрахованих збитків, завданих порушенням природоохоронного законодавства (нараховані упродовж 2018–2020 років), у частині справ на суму 3,2 млрд грн. вплив термін позовної давності, а це є незворотньою втратою надходжень до бюджету.

На утримання Держекологічної інспекції у 2020 році було передбачено бюджетне фінансування 384 млн грн. і з них майже 95 % – це заробітна плата. На інші необхідні витрати (судовий збір, відрядження, фінансування паливно-мастильних матеріалів, лабораторне обладнання, закупівля комп'ютерної техніки, газоаналізаторів тощо) кошти взагалі не виділялись. Щоб повернути державі 1 млрд. грн. за екологічні збитки на досудовий збір потрібно було внести 9 млн. грн., які були відсутні в Держекоінспекції.

Кардинально виправити ситуацію мав би Законопроект №3091 від 19 лютого 2020 року «Про державний екологічний контроль», який був прийнятий у першому читанні ще в липні 2021 року. Він передбачає ліквідацію Держекоінспекції, встановлює алгоритм державного екологічного контролю шляхом створення автоматизованої системи державного екологічного контролю, запровадження 4-ступеневої градації підприємств в залежності від ступеня ризику на довкілля, – від «найвищого ступеня ризику» до «незначного». Передбачено збільшення кількості перевірок, суттєве зростання розмірів штрафів. Законопроект подали в парламент ще в лютому 2020 року, але майже відразу відправили на доопрацювання, його прийняття дозволить краще та ефективніше контролювати українські підприємства, щодо забруднювали довкілля та зменшить корупційні ризики.

До 2019 року штраф за викиди 1 т вуглекислого газу в Україні становив символічну величину – 0,41 грн/т. В 2019 році на вимогу ЄС цей податок Україна вимушена була збільшити в 25 раз, до 10 грн/т, а в 2020 ще в 3 рази – до 30 грн/т, тоді як в країнах ЄС в середньому він становить 50–60 євро/т, а в Швеції – 119 євро/т. Вітчизняна ставка, яка навіть після підвищення зросла до 0,37 дол. США за 1 т CO₂, є неспіврозмірною зі ставками країн ЄС. Суттєве збільшення податків в одночасі в рази негативно впливає на економіку виробництва. Планове і постійне оподаткування являється стимулом та державним важелем до зростання надходжень до бюджету, покращення екології довкілля, раціонального використання сировинних ресурсів.

Перехід до циркулярної економіки потребує законодавчих змін, як до нового способу господарювання. Він відіграє важливу роль у трансформації будівельної та інших галузей економіки з поведінням зі відходами, забезпечує створення нових робочих місць, значну економію ресурсів, сприяє кліматичній нейтральності та сталому розвитку виробничих процесів, забезпечує створення доданої вартості та потребує реалізації низки інших заходів.

Висновки

Сучасні технології виробництва неспроможні зробити його абсолютно безвідходним виробництвом, тому виснаження сировинних, енергетичних ресурсів має сповільнитися, а відходи виробництва мають отримати статус побічних продуктів і максимально бути використані. Втілення циркулярної економіки в життя може допомогти одночасно отримати комплексний ефект. Циркулярна економіка витісняє лінійну модель, подовжує термін служби вже використаних матеріальних ресурсів, забезпечує вищі темпи зростання економіки, створює нові робочі місця,

стимулює економічний прогрес, одночасно знижує такі ризики, як забруднення територій, негативні наслідки зміни клімату, зменшує дефіцит сировинних та енергетичних ресурсів.

Перехід до циркулярної економіки не є швидким і за прогнозами ООН на це знадобиться понад 15 років. Для успішного переходу від лінійної до циркулярної економіки необхідна підтримка з боку держави, активне кредитування компаній, які реалізують переробку та використання відходів.

На відміну від країн ЄС в Україні практично 90% будівельних відходів вивозиться у відвали і повторно не використовується. Не в повній мірі використовуються активні мінеральні добавки природного та техногенного походження в технології виробництва цементних матеріалів. Відходи роботи ТЕС, металургійного виробництва навіть при наявності нормативної бази і позитивного зарубіжного і вітчизняного досвіду недостатньо використовуються в будівельній сфері.

Недосконалість податкового законодавства у частині визначення штрафів за недотримання екологічних норм і стандартів ведення бізнесу проявляється в тому, що виплати штрафів практично не проводиться. Аналіз досвіду функціонування Держекоінспекції свідчить про необхідність змін в її діяльності і потребує внесення відповідних законодавчих змін.

Впровадження європейських стандартів поводження з відходами та перехід до циркулярної економіки дозволить Україні кардинально змінити ситуацію Використання альтернативних джерел енергії, зокрема залишкових твердих побутових відходів в централізованому теплопостачанні сприятиме зниженню енергетичної залежності країни.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Організаційно-правові аспекти циркулярної економіки (2019). Available at: <https://bit.ly/31azpGy>.
2. Circular Economy: New rules will make EU the global front-runner in waste management and recycling, European Commission - Press release, 2018 // Режим доступа: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3846_en.htm.
3. United Nations (2016) Global Sustainable Development Report [Electronic resource]. – Mode of access: <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=2328&menu=1515>.
4. Мировая экономика. Энергоемкость ВВП стран мира. Электронный ресурс. Режим доступа: // <http://Supervisor.okis.ru/mirovaja-ekonomika/ht>.
5. Классификация отходов ТЭС. http://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00093796_0.html. Le point sur le recyclage des déchets du bâtiment: [Un source électronique] / Defawe Philippe –Mode d'accès: <http://www.lemoniteur.fr/199-materiaux/article/actualite/581010-le-point-sur-le-recyclage-desdechets-du-batiment>.
6. Аналіз технологій и методов утилизации твёрдых продуктов десульфуризации и частиц золы. <http://www.ufpk.com.ua/files/p3/analiz.html>.
7. Клиф Фадж, «Применение автоклавного газобетона в Великобритании, НПК Современный автоклавный газобетон, октябрь 2019. –С.78-83.
8. В.Р. Сердюк, Д. Г. Рудченко Д.В. Гудзь. Використання золи виносу Бурштинської ТЕС в технології виробництва автоклавних газобетонів. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2021. №2.- С.24-31.
9. Циркулярна економіка: як новий спосіб господарювання в умовах цифрової трансформації. Колективна монографія. За науковою ред. Татомир І.Л., Квасній Л.Г. Трускавець: ПОСВІТ, 2021, 124 с.
10. Нова політика управління відходами – основа економіки замкнутого циклу. 2018. URL: <http://conference.chamber.u>
11. Екологічні проблеми поводження з відходами та шляхи їх розв'язання. Available at: <https://bit.ly/3tPbaKd>.
12. Сміттєспалювальні заводи – це ок? Досвід Швеції та України (2019). Available at: <https://bit.ly/3d3W8JM>.
13. МВФ пропонує запровадити вуглецевий податок у всьому світі на рівні \$70 за тону викидів.
14. Режим доступа: <http://ecoprostir.com/2019/05/05/mvf-proponuye-zaprovadyty-vugletsevyj-podatok.->
15. Екологічна безпека в європейських країнах: методи економічного регулювання й досвід для
16. Україна: наукова доповідь [В. С. Кравців, П. В. Жук, Ю. І. Стадницький та ін.]; ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М.І. Долишнього НАН України». Львів, 2020. 97 с.

REFERENCES

1. Organizational and legal aspects of the circular economy (2019). Available at: <https://bit.ly/31azpGy>.
2. Circular Economy: New rules will make EU the global front-runner in waste management and recycling, European Commission - Press release, 2018 // Access mode: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3846_en.htm.
3. United Nations (2016) Global Sustainable Development Report [Electronic resource]. - Mode of access: <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=2328&menu=1515>.
4. World economy. Energy intensity of GDP of countries of the world. Electronic resource. Access mode: // <http://Supervisor.okis.ru/mirovaja-ekonomika/ht>.
5. Classification of TPP waste. http://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00093796_0.html. Le point sur le recycling des déchets du bâtiment: [Un source électronique] / Defawe Philippe –Mode d'accès: <http://www.lemoniteur.fr/199-materiaux/article/actualite/581010-le-point-sur-le-recyclage-desdechets-du-batiment>.
6. Analysis of technologies and methods of utilization of solid desulfurization products and ash particles. <http://www.ufpk.com.ua/files/p3/analiz.html>.
7. Cliff Fudge, "Use of autoclaved aerated concrete in Great Britain, Modern Autoclaved Aerated Concrete, October 2019. - P.78-83.
8. V.R. Serdyuk, D.G. Rudchenko, D.V. Hudz The use of fly ash of the Burshtyn TPP in the production technology of autoclaved aerated concrete. Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute. 2021. No. 2. - P. 24-31.

9. Circular economy: as a new way of business in the conditions of digital transformation. Collective monograph. According to scientific ed. Tatomyr I.L., Kvasniy L.G. Truskavets: POSVIT, 2021, 124 p.
10. The new waste management policy is the basis of a closed cycle economy. 2018. URL: <http://conference.chamber.u>
11. Environmental problems of waste management and ways to solve them. Available at: <https://bit.ly/3tPbaKd>.
12. Are incinerators ok? Experience of Sweden and Ukraine (2019). Available at: <https://bit.ly/3d3W8JM>.
13. The IMF proposes to introduce a carbon tax worldwide at the level of \$70 per ton of emissions.
1. Access mode: <http://ecoprostir.com/2019/05/05/mvf-proponuye-zaprovadyty-vugletsevyj-podatok.->
14. Environmental security in European countries: methods of economic regulation and experience for
2. of Ukraine: scientific report [V. S. Kravtsiv, P. V. Zhuk, Yu. I. Stadnytskyi, etc.]; State University "Institute of Regional Studies named after M.I. Dolishnyi National Academy of Sciences of Ukraine". Lviv, 2020. 97 p.

Сердюк Василь Романович – д.т.н., професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: vasromvs@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2927-6291>.

V. Serdyuk

CIRCULAR ECONOMY: UKRAINIAN REALITIES AND PROSPECTS OF IMPLEMENTATION IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Vinnytsia National Technical University

The article is devoted to the topical topic of the transition from a linear to a circular economy using the example of the construction industry, which is one of the largest sources of waste generation and a basis for the use of metallurgical, construction production, and thermal power plant waste.

The depletion of raw and energy resources, the growth of environmental pollution necessitates the need to extend the service life of construction materials due to their processing, or their use in other technological processes. The circular economy is identified with the concept of the "circular" economy or with production with a closed cycle, zero-waste production.

It is shown that the National Waste Management Plan until 2030, adopted by the CMU resolution on February 20, 2019, remains a kind of "road map", but the implementation of the measures of the National Waste Management Strategy lags behind the planned measures. It was established that almost 90% of production waste is not reused and sent to landfills. The largest reserves of unused production by-products are in the metallurgical industry and energy production waste at TPPs.

For the efficiency of the functioning of the circular economy, the specific weight of environmental taxes in the GDP of European countries varies between 1.5-4%, while in Ukraine - at the level of 0.1%. Less than 5% of the total amount of fines for environmental pollution is paid, which indicates the need to reform and improve the system of taxation of harmful emissions.

Keywords: circular economy, construction industry, waste, reuse, environmental problems, environmental taxation.

Serdyuk Vasyl – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction, Urban Economy and of architecture, Vinnytsia National Technical University, e-mail: vasromvs@gmail.com, DOI <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2022-2-211-221>

Н. О. Лубенська¹Рольф Петрі¹В. М. Єрмаков²О. О. Дятел²

ПРОЦЕС РЕФОРМУВАННЯ ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ НІМЕЧЧИНИ

¹Дослідницький центр пост-майнінгу, Технологічний університет імені Георга Агріколи;²Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

Німеччина, пройшла важкий шлях, від колапсу економіки після Другої Світової війни, поступової відбудови, енергетичної кризи у 60-х роках минулого сторіччя, відмови від дотаційних шахт і припинення вуглевидобутку у 2018 році до повної трансформації у інноваційний хаб Німеччини.

Структурні зміни в гірничодобувній промисловості Німеччини стосуються зміни гірничодобувної промисловості Німеччини від виробництва вугілля та руди до більш різноманітної економічної структури. Структурні зміни в гірничодобувній промисловості є результатом відмови від викопного палива та зростання попиту на відновлювані джерела енергії та виробництво чистої енергії.

Закриття шахт мало значний соціальний та економічний вплив, особливо на регіони Рур і Саар. Багато шахтарів втратили роботу, а закриття також вплинуло на субпідрядну галузь та економіку регіону. Однак у рамках структурних змін також було вжито заходів для допомоги постраждалим працівникам і регіонам, включаючи програми перепідготовки та підвищення кваліфікації, а також інвестиції в інфраструктуру та розширення використання відновлюваних джерел енергії.

Закриття шахт ознаменувало важливий крок у реструктуризації Німеччини та було частиною загального плану Німеччини щодо переходу на відновлювані джерела енергії та виробництво чистої енергії. Закриття шахт відбувалося в кілька етапів, які були частиною комплексної концепції поступового припинення видобутку кам'яного вугілля в Німеччині.

Загалом, закриття шахт Німеччини було тривалим і болісним процесом, який викликає багато проблем. Водночас це був необхідний крок у процесі структурних змін у Німеччині та важливий внесок у скорочення викидів CO₂ та захист клімату. Ці проблеми вирішувались створенням спеціальних програм та проектів, які допомагали колишнім шахтарям знайти нову роботу та підтримати їх перехід до нових можливостей працевлаштування.

Після перемоги ми повинні відбудувати Україну, і набутий досвід міжнародних партнерів повинен стати у нагоді для відновлення зруйнованої чи пошкодженої інфраструктури та територій України в цілому. Саме тому, незважаючи на дуже складні часи для України, уже сьогодні необхідно думати про майбутнє.

Ключові слова: закриття шахт, відновлювана енергія, пост-майнінг, управлінські рішення.

Постановка проблеми

Сучасні проблеми стану довкілля навколо вугільних шахт України стосуються порушення екосистем та природних територій, руйнування потенційно небезпечних об'єктів промисловості, забруднення питної води, земель, атмосферного повітря, порушення геологічного середовища тощо. Серед вищенаведених негативних наслідків, що супроводжують процеси закриття шахт, найбільш розповсюдженим, характерним практично для усіх вуглевидобувних регіонів, є фактор значного погіршення гідрогеологічного стану територій їх розташування. Про це свідчить накопичений досвід ліквідації шахт у різних регіонах України та в інших країнах. Проте окрім екологічних питань не менш важливим є і соціальні проблеми які виникають в процесі реформування вугільної галузі.

До початку військових дій всі басейни знаходились на тому етапі розвитку, коли обсяги видобутку вугілля зменшувались, значна кількість шахт припиняла розробку запасів вугілля і ці шахти перебували у стадії ліквідації. Вищезазначені обставини призвели до структурних змін в гірничодобувній промисловості України, а військові дії посилили ці зміни.

Враховуючи, що значна частина шахт східного регіону затоплюється, то вже зараз необхідно переймати досвід успішної реструктуризації інших країн, а особливо Німеччини. Вивчати сильні і слабкі сторони цього процесу і розробляти модель реструктуризації уже зараз.

Головна мета роботи – вивчити успішний зарубіжний досвід реструктуризації вугільної галузі для подальшого його застосування при відновленні країни у післявоєнний період.

Результати дослідження

Німеччина, пройшла важкий шлях, від колапсу економіки після Другої Світової війни, поступової відбудови, енергетичної кризи у 60-х роках минулого сторіччя, відмови від дотаційних шахт і припинення вуглевидобутку у 2018 році до повної трансформації у інноваційний хаб Німеччини.

Структурні зміни в гірничій промисловості Німеччини

Структурні зміни в гірничодобувній промисловості Німеччини – це перехід від виробництва вугілля та руди до більш різноманітної економічної структури. Структурні зміни в гірничодобувній промисловості є результатом відмови від викопного палива та зростання попиту на відновлювані джерела енергії та виробництво чистої енергії.

Історія видобутку корисних копалин у Німеччині налічує кілька століть, і з часом напрямки та технології видобутку змінювалися. Вугільна промисловість, зокрема, була важливою рушійною силою німецької економіки в ІХХ і ХХ століттях і створила численні робочі місця в гірничодобувних регіонах, таких як Рурська область і Саар.

У 1950-х роках численні вугільні шахти в Північному Рейні-Вестфалії були закриті, оскільки видобуток кам'яного вугілля в Німеччині більше не був економічно вигідним, а конкуренція з боку більш дешевого імпортованого вугілля з-за кордону зростала. Закриття було частиною структурних змін, які створили серйозні проблеми для регіонів, які раніше залежали від видобутку вугілля.

Багато закритих шахт були невеликими або середніми за розміром, яким було важко конкурувати з великими та сучасними шахтами інших країн. Закриття призвело до різкого скорочення зайнятості в цьому районі та до соціальних проблем, таких як безробіття та еміграція.

За останні десятиліття уявлення про видобуток корисних копалин у Німеччині змінилися. Видобуток вугілля та інших видів сировини піддавалося все більшій критиці, зокрема через зростаюче занепокоєння щодо зміни клімату та впливу викопного палива на навколишнє середовище.

Після цього німецький уряд вжили різноманітних заходів для сприяння структурним змінам у гірничодобувній промисловості. Федеральний уряд, наприклад, розробив концепцію під назвою «Energiewende», яка передбачає перехід Німеччини на відновлювані джерела енергії до 2050 року. Це призвело до занепаду вугільної промисловості та сплеску відновлюваної енергії [1], [2], [3].

Перехід до відновлюваної енергетики приніс виклики, особливо для гірничодобувних регіонів, які сильно залежали від вугільної промисловості. Багато гірничодобувних регіонів розпочали програми реструктуризації економіки та перепідготовки працівників, щоб пом'якшити негативний вплив структурних змін.

Одним із засобів було також заснування громадсько-приватного партнерства, як це було в 1989 році, коли німецькі та європейські підприємства об'єдналися з метою провести структурні зміни в землі Північний Рейн-Вестфалія. *Initiativkreis Ruhr* – це таке об'єднання, до якого долучилися більше, ніж 70 підприємств та інституцій. Ці підприємства представляли сферу енергетики, хімії, переробної промисловості, торгівлі, логістики та консультативні послуги. Наразі це розвинута ланка дослідницьких та освітніх організацій, і цей регіон перетворився в зелений гай та культурний центр, котрий може поділитися своїм досвідом з міжнародною спільнотою.

Іншим важливим інструментом була підтримка працівників, які постраждали від закриття вугільних шахт. З цією метою були розроблені різні заходи, такі як програми перепідготовки та підвищення кваліфікації, щоб допомогти працівникам знайти нову роботу в інших секторах економіки. Фінансова підтримка та компенсація звільненим шахтарям також була частиною заходів підтримки.

Крім того, у Німеччині був прийнятий у 2020 році закон про фінансування структурних змін у вугільних регіонах. Закон передбачає, що мільярди Євро мають бути інвестовані в структурні зміни в відповідних регіонах протягом наступних кількох років. Гроші мають бути використані, серед іншого, для інфраструктурних проектів, досліджень і розробок і розширення використання відновлюваних джерел енергії.

Реструктуризація в гірничодобувній промисловості Німеччини є складним процесом, який створює як можливості, так і проблеми. *RAG Deutsche Steinkohle AG (RAG)* була найбільшим виробником кам'яного вугілля в Німеччині до кінця 2018 року та керувала шахтами в Північному Рейні-Вестфалії та Саарі. В рамках структурних змін у гірничодобувній промисловості Німеччини багато з цих шахт були закриті в останні роки.

Загалом закриття шахт *RAG* ознаменувало важливий крок у реструктуризації Німеччини та було частиною загального плану Німеччини щодо переходу на відновлювані джерела енергії та виробництво чистої енергії. Закриття шахт *RAG* відбувалося в кілька етапів, які були частиною комплексної концепції поступового припинення видобутку кам'яного вугілля в Німеччині. Нижче наведено основні кроки та віхи на шляху до закриття шахт *RAG*:

І. 1997: прийнято закон про поступову відмову від вугілля [4]. Закон про припинення виробництва вугілля 1997 року передбачав поступове припинення виробництва кам'яного вугілля в Німеччині та передбачав, що остання шахта має бути закрита у 2018 році. Це поклало початок

процесу поступового закриття шахт RAG.

II. 2007: Початок програми консолідації. У 2007 році RAG запустила програму консолідації «Перспектива 2018», яка мала супроводжувати поетапне припинення видобутку кам'яного вугілля до 2018 року. Частина програми включала інвестиції в модернізацію шахт, скорочення робочих місць і закриття збиткових шахт.

III. 2012: Закриття шахти «Вест». У 2012 році шахта «Вест» у Камп-Лінтфорті була першою закритою шахтою RAG. Закриття супроводжувалося протестами, оскільки багато шахтарів боялися за свої робочі місця та майбутнє свого регіону.

IV. 2015: Закриття шахти «Августа-Вікторія». У 2015 році шахта «Августа-Вікторія» в Марлі була закрита. Ще одна шахта RAG стала жертвою структурних змін.

V. 2018: Закриття шахти «Проспер-Ханіель». У 2018 році шахта «Проспер-Ханіель» у Боттропі була останньою шахтою RAG, яку закрили. Закриття ознаменувало кінець ери німецького видобутку кам'яного вугілля та стало важливою віхою в структурних змінах Німеччини.

Закриття шахт RAG мало значний соціальний та економічний вплив, особливо на регіони Рур і Саар. Багато шахтарів втратили роботу, а закриття також вплинуло на субпідрядну галузь та економіку регіону.

VI. Після закриття: рекультивация та санітарна обробка. Після закриття шахт RAG почалися масштабні роботи з санації та рекультивации закритих шахтних ділянок. Метою було знову зробити землю придатною для інших цілей і водночас мінімізувати вплив гірничодобувної діяльності на навколишнє середовище. Для цього, серед іншого, ренатурували терикони, очищали шахтні води та ущільнювали звалища.

VII. Створення альтернатив видобутку кам'яного вугілля. Паралельно із закриттям шахт RAG йшлося про створення альтернативних можливостей працевлаштування в вугільних регіонах. Це включає інвестиції в розвиток відновлюваних джерел енергії, сприяння технологічним стартапам і локалізація промислових компаній у регіонах. Створення нових робочих місць було головною метою структурних змін, які відбулися в Німеччині після закриття численних шахт.

Незважаючи на всі зусилля, створення нових робочих місць для звільнених шахтарів було проблемою, особливо в регіонах, які сильно залежать від видобутку вугілля. Багатьом колишнім шахтарям довелося переорієнтуватися та знайти свій шлях у нових галузях чи професіях. Наслідки закриття шахт все ще відчуваються, але влада Німеччини доклала значних зусиль, щоб впоратися зі структурними змінами та підтримати постраждалі регіони.

У Німеччині були розроблені різні програми та заходи для підтримки звільнених шахтарів та їхніх родин. Ось кілька прикладів:

- допомога по безробіттю та транзитні компанії: після закриття шахт колишні шахтарі мають право на допомогу з безробіття та можуть скористатися транзитними компаніями, створеними спеціально для цієї мети. У цих транзитних компаніях колишні шахтарі можуть отримати подальше навчання та кваліфікацію, щоб підготуватися до опанування нових робочих місць;

- кваліфікаційні заходи: для колишніх шахтарів були розроблені спеціальні кваліфікаційні заходи, щоб полегшити їм перехід у нові професійні сфери. Ці заходи фінансувалися службою зайнятості, федеральними землями та самими гірничодобувними компаніями;

- фінансова підтримка: постраждалі регіони та компанії отримали фінансову підтримку від федерального уряду для управління структурними змінами. Наприклад, виділялися кошти для створення нових робочих місць або сприяння розвитку нових галузей промисловості;

- консультаційні служби: для колишніх шахтарів створені консультаційні служби, які допомагають знайти нову роботу та зорієнтуватися в нових професійних сферах. Це також включає коучинг і семінари.

- сприяння дослідженням та інноваціям: Уряд Німеччини інвестував у дослідження та інновації, щоб створити нові робочі місця та можливості для бізнесу в вугільних регіонах.

Звільнення шахтарів через закриття шахт може призвести до значних соціальних та економічних проблем у колишніх вугільних регіонах. Знайти нову роботу може бути важко для багатьох колишніх шахтарів, особливо якщо вони працювали в гірничодобувній галузі десятиліттями та мають обмежену професійну кваліфікацію чи досвід роботи в інших галузях.

У Німеччині більшість шахтарів, звільнених після закриття шахт, були зайняті в промисловості, будівництві, транспорті та логістиці, торгівлі, охороні здоров'я та освіті. Багато нових робочих місць було створено компаніями, розташованими поблизу колишніх шахт, для підтримки соціальної та економічної інтеграції колишніх вугільних регіонів. У деяких випадках для створення нових робочих місць для колишніх шахтарів створювалися державні органи чи некомерційні організації.

Кількість шахт у Північному Рейні-Вестфалії значно зменшилася протягом багатьох років через

закриття та об'єднання. Наведено список скорочення кількості шахт з 1950 по 2018 рік: 1950 рік – 162 шахти, 1960 рік – 122 шахти, 1970 рік – 90 шахт, 1980 рік – 58, 1990 рік – 33 шахти, 2000 рік – 17 шахт, 2010 – 5 шахт і 2018 рік 1 шахта, яку в тому ж році закрили.

Кількість шахт у Північному Рейн-Вестфалії різко зменшилася за останні десятиліття. У 2018 році була лише одна діюча шахта в Північному Рейн-Вестфалії, шахта Prosper-Haniel у Боттропі, яка закрилася в грудні 2018 року. Із припиненням видобутку кам'яного вугілля в Північному Рейн-Вестфалії ера видобутку в регіоні офіційно завершилася.

Структурні зміни в місті Ботроп

У Північному Рейні-Вестфалії програма «Перспективна батьківщина: Формування структурних змін, забезпечення якості життя» була запущена у 2019 році [5]. Вона була запущена, щоб супроводжувати структурні зміни у вугільних містах і створювати нові перспективи для регіонів. Програма включає ряд заходів, які передбачають, серед іншого, розширення інфраструктури, сприяння інноваціям і дослідженням, а також створення робочих місць і місць для навчання в нових секторах економіки. Зміцнення туризму та культури також має сприяти підвищенню привабливості регіонів.

Крім того, існують також спеціальні програми фінансування для муніципалітетів у вугільних регіонах. Наприклад, вони отримують кошти на переобладнання колишніх промислових і шахтарських зон і на дизайн громадських просторів.

Метою програми є сформувані структурні зміни у вугільних містах у соціально прийнятний та сталий спосіб та забезпечити якість життя людей у регіоні. Закриття шахти «Проспер-Ханіель» у Боттропі у 2018 році мало значний вплив на місто та регіон. Видобуток вугілля був важливою частиною економіки та самобутності міста Ботроп і прилеглих регіонів, і закриття останньої шахти означало кінець цілої епохи.

Після закриття шахти місто Ботроп доклало зусиль, щоб побудувати нову економічну базу та позиціонувати себе як зелене місто, що постійно розвивається [6]. Місто започаткувало різноманітні ініціативи та проекти для сприяння економічному розвитку, створенню робочих місць та покращенню якості життя мешканців. Наприклад, місто інвестувало у відновлювані джерела енергії та запустило проекти з енергоефективності та захисту клімату.

Ще один напрямок діяльності міста – розвиток освіти та науки. Місто заснувало кілька університетів і науково-дослідних інститутів для посилення компетенції в галузі екологічних технологій і сталої енергетики. Це має на меті допомогти створити нові підприємства та робочі місця у цих передових галузях.

Після закриття шахти «Проспер-Ханіель» у Боттропі у 2018 році на місці колишньої шахти був побудований інноваційний центр Prosperstrasse [7]. Інноваційний центр був запущений як важливий крок до сталого економічного та інноваційного ландшафту в регіоні.

Інноваційний центр покликаний запропонувати компаніям і стартапам у сферах енергетики, навколишнього середовища та мобільності можливість спільно розробляти інноваційні продукти та послуги. Основна увага приділяється використанню відновлюваних джерел енергії та просуванню енергоефективності.

Крім інноваційного центру, на місці колишньої шахти планується створити новий район, який включатиме квартири, офіси, комерційні і торгові площі та зелені насадження. Проект має бути розроблений у тісній співпраці з містом Ботроп та його населенням, а також враховуватиме аспект соціальної стабільності.

Загалом колишня шахтарська територія має стати демонстраційним проектом для сталого міського розвитку та інноваційного бізнесу. Залишається побачити, наскільки успішною буде реалізація цієї концепції.

У Боттропі існують різні альтернативні джерела енергії, які використовуються для постачання енергії. Одним із прикладів є когенераційна установка на біомасі на місці колишньої вугільної шахти «Проспер-Ханіель», яка була введена в експлуатацію у 2013 році. ТЕЦ на біомасі виробляє електроенергію та тепло з відновлюваної сировини, такої як деревина та інші органічні відходи. Вироблена енергія використовується, серед іншого, для забезпечення домогосподарств і промислових підприємств регіону.

Інший приклад – сонячна теплоелектростанція «Сонячний інфоцентр» [8] на даху Боттропського професійного коледжу. Сонячна теплова електростанція використовує енергію сонця для виробництва тепла та електроенергії, а також служить інформаційним центром для відновлюваних джерел енергії.

У Боттропі також є вітрові турбіни, які використовуються для виробництва електроенергії.

Яскравим прикладом є вітряна турбіна на вершині терикону «Ханіель», яка також відкрита для відвідування як «зона досвіду вітрового колеса».

Загалом Ботроп прагне постійно збільшувати частку відновлюваних джерел енергії в енергопостачанні та таким чином робити внесок у захист клімату.

Закриття вугільних шахт у Німеччині

У Німеччині є різні учасники, які відповідають за закриття шахт, залежно від того, про які аспекти йдеться. На федеральному рівні це такі органи влади:

- Федеральне міністерство економіки та енергетики (BMWi);
- Федеральне міністерство навколишнього середовища, охорони природи та ядерної безпеки (BMU);
- Федеральне міністерство праці та соціальних питань (BMAS).

У Північному Рейні-Вестфалії Міністерство економіки, інновацій, цифровізації та енергетики (MWIDE) відповідає за видобуток корисних копалин і, таким чином, також за виведення шахт з експлуатації. MWIDE є вищим органом у сфері видобутку корисних копалин країни, який здійснює нагляд за регуляторними органами видобутку корисних копалин, відповідальними за ліцензування та нагляд за видобутком і закриттям шахт.

Крім того, у Північний Рейн-Вестфалії існують окружні органи влади, які діють як нижчі гірничі органи в гірничому секторі та, наприклад, видають та контролюють дозволи на експлуатацію та закриття шахт. RAG, як оператор шахт, також бере участь у процесах виведення з експлуатації та несе високу ступінь відповідальності за впровадження заходів з виведення із експлуатації. Як правило, виведення з експлуатації здійснюється в кілька етапів. Нижче наведено кілька типових кроків.

Оголошення про закриття: про закриття шахти зазвичай оголошують завчасно, щоб дати працівникам та їхнім родинам достатньо часу для планування та підготовки.

Соціальний план: У багатьох випадках обговорюється соціальний план, який забезпечує фінансову та соціальну підтримку шахтарям, включаючи вихідну допомогу, можливості навчання та працевлаштування.

Демонтаж і ренатурація: після закриття шахти будівлі та споруди демонтуються, а ділянка ренатурується. Наприклад, розбирають терикони, заповнюють стовбури і відкачують шахтну воду.

Використання ділянки: після завершення демонтажу та ренатурації колишню ділянку шахти часто використовують для нового використання. Це може бути, наприклад, спорудження бізнес-центрів, будівництво житлових будинків або створення об'єктів відпочинку та туризму.

Точна послідовність і тривалість окремих кроків може відрізнитися залежно від шахти та регіону. У будь-якому випадку, однак, робиться спроба пом'якшити наслідки закриття шахт для постраждалих працівників та їхніх сімей, наскільки це можливо, і підготувати постраждалий регіон до успішної структурної зміни.

План виведення шахти з експлуатації зазвичай включає різні компоненти, що охоплюють усі аспекти виведення з експлуатації, подальшого демонтажу машин і обладнання та відновлення ділянки.

Німецькі закони та стандарти щодо виведення шахт з експлуатації

У Німеччині існують різні закони та стандарти, які регулюють виведення шахт з експлуатації. Деякі важливі закони та стандарти:

Федеральний закон про гірничу справу (BBergG): BBergG регулює видобуток корисних копалин і, таким чином, також закриття шахт. Він визначає рамки та містить положення щодо безпеки експлуатації, охорони навколишнього середовища та рекультивациі ландшафтів після видобутку корисних копалин.

Федеральний закон про контроль викидів (BImSchG): BImSchG регулює захист від шкідливого впливу на навколишнє середовище, що виходить від таких об'єктів, як шахти. Він містить правила щодо затвердження, моніторингу та виведення з експлуатації установок.

Оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС): ОВНС – це процес, який проводиться для великих проектів, таких як закриття шахт. Перевіряється, який вплив має проект на навколишнє середовище та які заходи необхідно вжити для захисту навколишнього середовища.

Федеральний гірничий наказ (BBergV): BBergV містить більш детальні положення щодо роботи шахт і закриття шахт. Крім іншого, він регламентує плани роботи, заходи безпеки та санітарії.

Технічні правила безпеки експлуатації (TRBS): TRBS містить рекомендації та вимоги щодо

забезпечення безпеки експлуатації таких систем, як шахти.

Витрати на відмову від вугілля в Німеччині

Федеральний уряд виділив кілька мільярдів євро на різні заходи в рамках поступової відмови від вугілля, включаючи компенсацію постраждалим енергетичним компаніям, інвестиції у відновлювані джерела енергії та заходи підтримки постраждалих регіонів.

Зокрема, федеральний уряд ухвалив закон у січні 2020 року [9], який регулює поступову відмову від вугілля не пізніше 2038 року та передбачає пакет на загальну суму 40 мільярдів євро для структурних змін і поетапної відмови від вугілля.

Земля Північний Рейн-Вестфалія (NRW) витратила загалом близько 15 мільярдів євро [10] на структурні зміни у вугільних містах. Це суміш державних фондів, федеральних фондів і фондів ЄС. Гроші були виділені на різні заходи, такі як створення нових робочих місць, розширення інфраструктури та сприяння дослідженням та інноваціям.

RAG AG, як колишня компанія-оператор німецьких кам'яновугільних шахт, витратила загалом близько 5,5 мільярдів євро на виведення з експлуатації та демонтаж шахт [11].

Висновок

Реструктуризація вугільної промисловості – це тривалий процес, оскільки він має враховувати багато аспектів. Це займає кілька десятиліть, а головне – це завчасне планування та конкретна та прозора державна політика. В Німеччині цей процес зайняв 21 рік, з 1997 по 2018 рік. Були й свої промахи, але найважливіше, що вдалося реалізувати ці плани, не знижуючи соціальні та екологічні стандарти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Der lange Weg zur Energiewende: Strukturwandel im Ruhrgebiet von der Bundeszentrale für politische Bildung URL: <https://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/energiepolitik/221224/strukturwandel-im-ruhrgebiet> (дата звернення: 15.10.2022).
2. Strukturwandel im Rheinischen Revier: Die Region nach dem Kohleausstieg von der IHK Köln URL: https://www.ihk-koeln.de/Strukturwandel_im_Rheinischen_Revier.AxCMS (дата звернення: 19.10.2022).
3. Strukturwandel in den Revieren: Eine historische Aufgabe vom WDR URL: <https://www1.wdr.de/nachrichten/rheinland/strukturwandel-revier-100.html> (дата звернення: 21.10.2022).
4. Електронний ресурс URL: <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2020/kw32-de-kohleausstiegsgesetz-767670> (дата звернення: 28.10.2022).
5. Електронний ресурс URL: <https://www.strukturwandel.nrw/projekte/projekte-im-rheinischen-revier/perspektive-heimat/> (дата звернення: 09.11.2022).
6. Bottrop setzt auf erneuerbare Energien - Artikel im Magazin "Wirtschaftswoche" vom Oktober 2019, abrufbar unter URL: <https://www.wiwo.de/technologie/umwelt/klimaschutz-bottrop-setzt-auf-erneuerbare-energien/25090416.html> (дата звернення: 18.11.2022).
7. Innovationszentrum Prosperstraße - Informationen auf der Website der Stadt Bottrop, abrufbar unter URL: https://www.bottrop.de/wirtschaft/innovationszentrum_prosperstrasse.asp (дата звернення: 02.12.2022).
8. Bottrop: Klimaschutz mit Biomasse und Solarthermie - Artikel in der Zeitschrift "Sonnenenergie" vom Oktober 2015, abrufbar unter URL: <https://www.sonnenenergie.de/bottrop-klimaschutz-mit-biomasse-und-solarthermie/> (дата звернення: 13.12.2022).
9. Der Abschlussbericht der Kommission Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung (auch als Kohlekommission bekannt) vom Januar 2019 URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/K/kommission-wachstum-strukturwandel-beschaefigung-abschlussbericht-kommission-w> (дата звернення: 17.12.2022).
10. Landesregierung Nordrhein-Westfalen (2021). Strukturwandel und Innovationen. Verfügbar unter URL: <https://www.land.nrw.de/thema-strukturwandel-und-innovationen> (дата звернення: 01.01.2023).
11. *Die Welt*, URL: <https://www.welt.de/wirtschaft/article185975658/Deutscher-Bergbau-Ich-habe-gedacht-es-wuerde-laenger-gehen.html> (дата звернення: 13.01.2023).

REFERENCES

1. Der lange Weg zur Energiewende: Strukturwandel im Ruhrgebiet von der Bundeszentrale für politische Bildung URL: <https://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/energiepolitik/221224/strukturwandel-im-ruhrgebiet> (data zvernennya: 15.10.2022).
2. Strukturwandel im Rheinischen Revier: Die Region nach dem Kohleausstieg von der IHK Köln URL: https://www.ihk-koeln.de/Strukturwandel_im_Rheinischen_Revier.AxCMS (data zvernennya: 19.10.2022).
3. Strukturwandel in den Revieren: Eine historische Aufgabe vom WDR URL: <https://www1.wdr.de/nachrichten/rheinland/strukturwandel-revier-100.html> (data zvernennya: 21.10.2022).
4. Elektronnyy resurs URL: <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2020/kw32-de-kohleausstiegsgesetz-767670> (data zvernennya: 28.10.2022).
5. Elektronnyy resurs URL: <https://www.strukturwandel.nrw/projekte/projekte-im-rheinischen-revier/perspektive-heimat/> (data zvernennya: 09.11.2022).

6. Bottrop setzt auf erneuerbare Energien - Artikel im Magazin "Wirtschaftswoche" vom Oktober 2019, abrufbar unter URL: <https://www.wiwo.de/technologie/umwelt/klimaschutz-bottrop-setzt-auf-erneuerbare-energien/25090416.html> (data zvernennya: 18.11.2022).
7. Innovationszentrum Prosperstraße - Informationen auf der Website der Stadt Bottrop, abrufbar unter URL: https://www.bottrop.de/wirtschaft/innovationszentrum_prosperstrasse.asp (data zvernennya: 02.12.2022).
8. Bottrop: Klimaschutz mit Biomasse und Solarthermie - Artikel in der Zeitschrift "Sonnenenergie" vom Oktober 2015, abrufbar unter URL: <https://www.sonnenenergie.de/bottrop-klimaschutz-mit-biomasse-und-solarthermie/> (data zvernennya: 13.12.2022).
9. Der Abschlussbericht der Kommission Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung (auch als Kohlekommission bekannt) vom Januar 2019 URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/K/kommission-wachstum-strukturwandel-beschaeftigung/abschlussbericht-kommission-w> (data zvernennya: 1) 7.12.2022).
10. Landesregierung Nordrhein-Westfalen (2021). Strukturwandel und Innovationen. Verfügbar unter URL: <https://www.land.nrw/de/thema-strukturwandel-und-innovationen> (data zvernennya: 01.01.2023).
11. Die Welt, URL: <https://www.welt.de/wirtschaft/article185975658/Deutscher-Bergbau-Ich-habe-gedacht-es-wuerde-laenger-gehen.html> (data zvernennya: 13.01.2023).

Лубенська Наталія Олександрівна – наукова співробітниця Центру пост-майнінгу Технологічного університету імені Георга Агріколи, Бохум, Німеччина;

Петрі Рольф – доктор технічних наук, Бохум, Німеччина;

Єрмаков Віктор Миколайович – доктор технічних наук, доцент, Директор центру еколого-ресурсного відновлення Донбасу, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ;

Дятел Олександр Олексійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри екологічного аудиту та технологій захисту довкілля, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, e-mail: alexandr_dyatel@ukr.net.

N.O. Lubenska¹
Petry Rolf¹
V.M. Yermakov²
O.O. Diatel²

THE PROCESS OF REFORMING THE GERMAN COAL INDUSTRY

¹Post-Mining Center, George Agricola Higher Technical School

²State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management

Germany has come a long way, from the collapse of the economy after the Second World War, the gradual reconstruction, the energy crisis in the 60s of the last century, the abandonment of subsidized mines and the cessation of coal production in 2018 to the complete transformation into the innovation hub of Germany.

Structural changes in the German mining industry refers to the change of the German mining industry from the production of coal and ore to a more diverse economic structure. The structural changes in the mining industry are the result of moving away from fossil fuels and increasing demand for renewable energy sources and clean energy production.

The closure of the mines had a significant social and economic impact, especially on the Ruhr and Saar regions. Many miners lost their jobs, and the closure also affected the subcontracting industry and the region's economy. However, structural changes have also included measures to help affected workers and regions, including retraining and upskilling programs, as well as infrastructure investment and increased use of renewable energy sources.

The closure of the mines marked an important step in Germany's restructuring and was part of Germany's overall plan to transition to renewable energy and clean energy production. The closure of the mines took place in several stages, which were part of a comprehensive concept of phasing out hard coal mining in Germany.

Overall, the closure of the German mines was a long and painful process that caused many problems. At the same time, it was a necessary step in the process of structural changes in Germany and an important contribution to the reduction of CO2 emissions and climate protection. These problems were solved by creating special programs and projects that helped former miners find new jobs and supported their transition to new employment opportunities.

After the victory, we must rebuild Ukraine, and the acquired experience of international partners must be useful for the restoration of the destroyed or damaged infrastructure and territories of Ukraine as a whole. That is why, despite very difficult times for Ukraine, it is necessary to think about the future already today.

Keywords: mine closure, renewable energy, post-mining, management decisions.

Natalia Lubenska – Post-Mining Center, George Agricola Higher Technical School, Researcher of the THGA Postmining Centre, Bochum, Germany;

Rolf Petry - Doctor of Engineering Sciences, Bochum, Germany;

Yermakov Viktor – Doctor of Engineering Sciences, docent, State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Director of the Center for Ecological and Resource Restoration of Donbass, Kyiv, Ukraine

Diatel Oleksandr – Associate Professor of the Department of Environmental Audit and Environmental Protection Technologies, Candidate of Engineering Sciences, State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, Ukraine, e-mail: alexandr_dyatel@ukr.net.

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 502.52: 504.4.054

DOI 10.31649/2311-1429-2023-1-172-176

Р.В. Петрук
Ю.О. Біліченко

ЗНИЖЕННЯ ЕВТРОФІКАЦІЇ ТА ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМ ЗА ДОПОМОГОЮ ВОДЯНОГО ГІАЦИНТУ

Вінницький національний технічний університет

*В даній роботі проаналізовано проблему очищення евтрофікованих водойм басейну Південного Бугу за допомогою вищої водної рослинності на прикладі водного гіацинту. Встановлено можливість ефективного використання для очищення вод рослин сорту *Eichhornia* у водоймах Поділля. Також встановлено можливість додаткового використання рослин сорту *Eichhornia* у якості складової біокормів, для одержання кормових дріжджів та муки, для отримання різних видів біопалива.*

Ключові слова: цвітіння водойм, фітопланктон, басейн річки Південний Буг, евтрофікація, водний гіацинт, *Eichhornia*.

Вступ

Проблема евтрофікації водних об'єктів нашої держави набуває все більшої актуальності в останні роки. Рівень і концентрація фотосинтезуючих організмів у водних об'єктах зростає, що підтверджується щорічним зацвітанням річок, ставків та озер, особливо в літні місяці. У Вінницькій області найбільша кількість ставків у Україні – це понад 5 тисяч, що зумовлює значну зарегульованість та повільний стік води. Як наслідок цього спостерігається посилення процесів евтрофікації водойм, при яких вода стає як «кисіль» непридатна для розвитку водної флори і фауни.

Способів вирішення цієї екологічної проблеми є низка, зокрема, покращення водотоку за рахунок покращення аерації та зменшення кількості гребель, пошук способів зменшення надходження поживних на одноклітинних водоростей речовин та ін [1]. Проте всі вони мають певні недоліки і є досить складними в реалізації.

Одним із способів зниження кількості біогенних елементів у воді є розвиток і ріст вищої водної рослинності, якими є водорості. Яскравим представником таких рослин є Ейхорнія, або як іноді ще цей вид називають водний гіацинт. Даний вид поширений у теплих субтропічних країнах та не пристосований для умов лісостепу України. Проте сприятливі умови для цього виду можна створити та використати його властивості для очищення води [2-8].

Метою даної статті є дослідження можливості використання водного гіацинту для зниження евтрофікації водних об'єктів басейну річки Південний Буг для подальшої розробки дієвих механізмів протидії явищам евтрофікації чи зменшення його впливу.

Аналіз параметрів досліджуваних об'єктів

Для експериментального дослідження властивостей ейхорнії по зниженню евтрофікації водойм було використано два ставки земель рекреаційного призначення в межах Літинської ОТГ Вінницької області. Ставки відносяться до басейну річки Згар. Ставок А – з значним вмістом вищих водних рослин та прозорою водою, ставок Б – великий рибогосподарський ставок зі значною концентрацією завислих частинок, зокрема, частинок фітопланктону.

Дослідження біохімічних параметрів оцінювалось окремо для обох ставків в лабораторіях хімії на кафедрах хімії Вінницького державного педагогічного університету та кафедрі екології, хімії та технології захисту довкілля Вінницького національного технічного університету у відповідності до вимог чинних нормативно-правових документів.

Для досліджень використовували такі методики:

- Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіук, та ін 1998.
- КНД 211.1.4.010-94 Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України.

За критеріями мінералізації, іонного та сольового складу проби води у обох ставках відносяться до I класу (прісні, олігогалінні води).

Аналіз за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) критеріями проводився за такими групами показників:

1) гідрофізичні – завислі речовини, прозорість (ставок А – I клас, 1 категорія; ставок Б – III клас, 4 категорія);

2) гідрохімічні – концентрація іонів водню, азоту амонійного, азоту нітритного, азоту нітратного, фосфору фосфатів, розчиненого кисню; перманганатна та біхроматна окислюваність, біохімічне споживання кисню (ставок А – V клас, 7 категорія; ставок Б – V клас, 7 категорія), причому при нормі для V класу 7 категорії азоту нітратного $2,50 \text{ мгN/дм}^3$ виміряні значення складають $28,6..28,8 \text{ мгN/дм}^3$, фосфор фосфатів при нормі $0,3 \text{ мгP/дм}^3$ виміряні значення складають $0,66.. 0,95 \text{ мгP/дм}^3$.

3) гідробіологічні – біомаса фітопланктону, індекс самоочищення – само забруднення (ставок А – II клас, 2 категорія; ставок Б – IV клас, 6 категорія);

4) біоіндикація сапробності – індекси сапробності за системами Пантле-Вукка і Гуднайта-Уїтлея (ставок А – II клас, 2 категорія; ставок Б – II клас, 3 категорія).

Аналіз за критеріями вмісту специфічних речовин токсичної та радіаційної дії, а також за рівнем токсичності перевищень гранично допустимих рівнів не виявив.

Таким чином, основною проблемою для досліджуваних водних об'єктів є перевищення гранично допустимих рівнів вмісту біогенних речовин.

Аналіз особливостей росту водного гіацинту

Для вирішення цієї проблеми було запропоновано використати природоохоронні заходи у вигляді біофільтрації води з використанням макрофітів (вищих водних рослин), а саме ейхорнії прекрасної (водного гіацинту).

У Вінницькій області період вегетації водного гіацинту може продовжуватися до 7 місяців. Важливим аспектом культивування водного гіацинту є його адаптація до кліматичних умов даної території. Коли водний гіацинт успішно адаптувалася до умов зростання, його фітомаса може збільшувалася досить швидкими темпами та утворюється до 8-15 дочірніх рослин за місяць. Час подвоєння біомаси у весняний та літній період 7-8 діб, у осінній період 34 доби. Якщо ми розглядаємо темп середнього приросту $0,551 \text{ т/га}\cdot\text{добу}$, протягом сезону (з квітня до листопада, 244 дні) приросту, то можна вважати, що може вироблятися приблизно $134,4 \text{ т/га/рік}$.

Існує низка видів ейхорнії. Проте для зниження евтрофікації найкраще підходять лиш деякі:

– *Eichhornia azurea* / ейхорнія лазурова – виростає в акваріумністиці. Кріпиться коренями по берегах водойм або в паводкових місцевостях. Пагони висаджують в ґрунт, де вони швидко пускають корені. Надводні зразки мають овально-закруглене блискуче листя, розташоване на злегка потовщеному стеблі. До складу води рослина невибаглива.

– *Eichhornia crassipes* / ейхорнія наукарасивіша – найбільш поширений вид ейхорнії. Розводять здебільшого у ставках або навіть акваріумах з декоративними рибками. За сприятливих умов, коли вода має низький вміст лугу, ейхорнія розмножується настільки швидко, що може повністю застелити поверхню водойми. Вибаглива до температури водойми.

Крім названих видів поширеними також є *Eichhornia diversifolia*, *Eichhornia heterosperma*, *Eichhornia natans*, *Eichhornia paniculata*, *Eichhornia paradoxa*. Всі вони мають певні особливості, але можуть бути використані для очищення води водойми.

Аналіз особливостей використання біомаси водного гіацинту

Ейхорнія – якісний корм для тварин, птахів і риб. Розвинені листя і коренева система містять всі необхідні для повноцінного біокорму елементи. Надводна частина рослини, що в результаті фотосинтезу набрала корисні речовини, є багатим джерелом калію, азоту, фосфору. Розвинена коренева система із сформованим селективним біоценозом, є природним джерелом протеїну з високим вмістом незамінних амінокислот, вітамінів А, В, С і Е. Рослина надзвичайно багата білком, вітамінами, незамінними амінокислотами, каротином, клітковиною, відповідає за своїм складом кормам I-го класу (ГОСТ 18691-88).

З 2016 р продаж водного гіацинту в ЄС заборонений. В багатьох країнах світу водний гіацинт є паразитичною рослиною, яка дуже швидко набирає біомасу і тим самим заважає розвитку інших видів заповнюючи весь простір водного об'єкту. Проте в умовах лісостепу України та холодної зими гіацинт не може розвиватися експоненційно впродовж всього року, тому не становить загрози для місцевих видів. Взимку при низьких температурах гіацинт гине. Тому процес вирощування ейхорнії є контрольований людиною процес.

Перспективним варіантом переробки ейхорнії є отримання з неї біогазу, а з біогазу електроенергії та тепла. Енергія, що виділяється при спалюванні 28 куб.м біогазу, еквівалентна енергії $16,8 \text{ куб.м}$ природного газу.

Орієнтовний техніко-економічний розрахунок показав, що виробництво біогазу з ейхорнії дозволяє отримати біля 50 000 куб.м біогазу на рік з 1 га.

Окрім вироблення електричної та теплової енергії, невідворотним побічним, але важливим для сільськогосподарського виробництва результатом утилізації відходів, є отримання високоцінних органічних біодобрив. Крім того, ейхорнія в суміші з річковим мулом є улюбленим кормом для каліфорнійських черв'яків.

Отже, в разі ефективної логістики та використання запропонованих природоохоронних технологій біофільтрації ставкової води, з використанням ейхорнії прекрасної (водного гіацинту), можна:

- очистити ставкову воду від надмірного вмісту біогенних речовин;
- отримати якісний корм для тварин, птахів і риб;
- отримувати біогаз та супутні продукти (електричну та теплову енергію);
- покращити естетичний вигляд ставків для їх більш повного використання, зокрема, з рекреаційною метою.

Після відпрацювання технології і отримання значних об'ємів ейхорнії можна буде впроваджувати її на евтрофікованих водних об'єктах, зокрема, р. Південний Буг.

Культивація та догляд за водним гіацинтом

Ейхорнія теплолюбива і сонцелюбива рослина, тому культивувати її в умовах українського клімату можливо лише у весняно-літні місяці при найнижчих значеннях температури води вночі 10 градусів Цельсія. При значному зниженні температури можливе пригнічення і загибель рослини. У вересні ейхорнію варто переводити до зимового періоду спокою. Коли температура у водоймі падає нижче 10 градусів, ейхорнію варто перемістити у місця зберігання, якими можуть бути будь які резервуари з водою. Вода в ємностях має бути з тої ж водойми, в якій росте квітка. Ємності варто перенести у теплі освітлювані приміщення. Ейхорнія постійно повинна перебувати у воді.

Важливим аспектом збереження рослини в зимовий період є наявність достатнього освітлення. Рослині необхідний 12 годинний світловий день, який можна забезпечити за допомогою природного чи штучного люмінесцентного освітлення. Такі умови необхідні для збереження листя у ейхорнії. Якщо позбавити рослину достатнього освітлення, то вона може втрачати листя.

Водний гіацинт варто повернути у водойми навесні при достатній температурі води вночі.

Підсумовуючи умови зберігання і культивування водного гіацинту можна констатувати, що за гіацинтом слідкувати і зберігати досить важко, що унеможливує використання його, як масовий вид для відновлення водойм. Проте для певних водойм і їх власників, які мають можливість слідкувати за водним гіацинтом, такий метод є доцільним і може бути використаний.

Виявлення факторів забруднення вод в дослідних ставках

В ставку А культивувалася ейхорнія звичайна (*crassipes*), а у ставку Б культивовані рослини були відсутні. В наступній таблиці наведені дані якості вод з різними показниками у двох ставках. Дослідження якості вод здійснювалось після тримісячної культивування рослин впродовж травня-липня.

Як видно з таблиці в ставку А значно вища якість вод за такими показниками: завислі речовини, прозорість, БСК5, Біомаса фітопланктону, Індекс самоочищення- самозабруднення.

Також спостерігаються позитивні незначні відмінності за показниками: рН, азот нітритний, розчинений кисень.

Майже відсутні відмінності за такими показниками: азот амонійний, азот нітратний, фосфор фосфатів, індекс сапробності за Пантле-Букком.

Таблиця 1

Екологічна класифікація якості поверхневих вод суші та естуаріїв за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) критеріями

Клас якості вод	Категорія якості вод	Ставок А	Ставок Б
Показники			
Гідрофізичні			
Завислі речовини мг/дм ³		<5 (I, 1)	20 (III, 4)

Прозорість, м	>1,50 (I, 1)	0,50 (III, 4)
Гідрохімічні		
pH	7,1 (I, 1)	7,6 (II, 2)
Азот амонійний, мг N/дм ³	0,088 (I, 1)	0,091 (I, 1)
Азот нітритний, мг N/дм ³	0,05 (III, 5)	0,15 (V, 7)
Азот нітратний, мг N/дм ³	28,6 (V, 7)	28,8 (V, 7)
фосфор фосфатів, мг P/дм ³	0,66 (V, 7)	0,95 (V, 7)
Розчинений кисень, мг O ₂ /дм ³	8 (II, 2)	6,7 (III, 4)
% насичення	-	-
Перманганатна окислюваність, мг O ₂ /л	-	-
Біхроматна окислюваність, мг O ₂ /дм ³	-	-
БСК ₅ , мг O ₂ /дм ³	0,91 (I, 1)	2,6 (III, 4)
Гідробіологічні		
Біомаса фітопланктону, мг/дм ³	0,6 (II, 2)	12 (IV, 6)
Індекс самоочищення -самозабруднення (A/R)	0,9 (II, 2)	0,6 (III, 4)
бактеріологічні:		
Чисельність бактеріопланктону, млн.кл/см ³	-	-
Чисельність сапрофітних бактерій, тис. кл/см ³	-	-
Біоіндикація сапробності (індекси сапробності):		
за Пантле-Букком	1 (II, 2)	1,6 (II, 3)
за Гуднайтом-Уїтлеєм	-	-
Сапробність	Полісапробні	Полісапробні
	Полісапробні	Полісапробні
Трофність (переважаючий тип)	Гіпертрофні	Гіпертрофні
	Полісапробні	Полісапробні

Висновки

З вищенаведеного аналізу можна зробити висновок, що водний гіацинт спроможний очищати воду, проте очищення незначне, причому показники вмісту фосфатів та азоту майже не змінюються. Основна здатність гіацинту в даному випадку змінювати візуальну чистоту води, прозорість та вміст завислих речовин.

Практичне застосування методу очищення поверхневих вод за допомогою водного гіацинту можливе за певних умов, проте масове використання цього методу майже не можливе через свою складність у зимовому зберіганні рослин та детальним контролем температурних умов.

Найбільш перспективне використання даного методу можливе для приватних невеликих водойм, ставків, для відпочинкових рекреаційних комплексів, для власників присадибних ставків. За таких умов можливе використання водного гіацинту та його ефективне зберігання і застосування впродовж року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Петрук Р.В., Біліченко Ю.О., Кравець Н.М. Аналіз загроз евтрофікації води середньої ділянки басейну річки Південний Буг /роман Васильович Петрук, Юлія Олегівна Біліченко, Наталія Михайлівна Кравець/ Науково-технічний журнал «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві» – Вінниця, №2, 2022. – С.181-186. [https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/778]
- Афанасьєв С.О. Васильчук Т.О., Летицька О.М., Білоус О.П. Оцінка екологічного стану річки Південний Буг у відповідності до вимог Водної Рамкової Директиви ЄС. – К.: НВП Інтерсервіс, 2012. – 28с.
- Шарило Ю., Деренько О. Хлорела – органічний метод очищення рибогосподарських водойм. Сайт Управління Державного агентства рибного господарства у м. Києві та Київській області. 17.01.2020. URL: https://kv.darg.gov.ua/_hlorela_organichnij_metod_0_0_0_1099_1.html
- Водний фонд України: Штучні водойми — водосховища і ставки: Довідник / За ред. В. К. Хільчевського, В. В. Гребеня. — К.: Інтерпрес, 2014. — 164 с. - ISBN 978-965-098-2
- Barrett S.C.H. 1980a. Sexual reproduction in Eichhornia crassipes (water Hyacinth)..Fertility of clones from diverse regions. Journal of Applied Ecology 17:101-112.

- [https://www.researchgate.net/publication/301684125_Purification_Effects_of_Water_Hyacinth_Eichhornia_crassipes_on_Domestic_Sewage]
6. Ogunlade, Y. 1992. Notes on Utilization of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as a means of pollution Control. Department Of Chemistry, Adeyemi College of Education, Ondo, Ondo State, Nigeria. Pp. 79-84
 7. Malik A . Environmental challenge vis a vis opportunity: the case of water hyacinth. *Environ Int*[Internet]. 2007, 33(1):122-38. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.08.004>
 8. Василюк, Т. П. and Василюк, Т. П. (2013) Акумуляція та розподіл важких металів у фітомасі гідробіонтів виду *eichhornia crassipes* (mart.) solms при біоочищенні сільськогосподарських стічних вод. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування (1(61)). pp. 67-73. <http://ep3.nuwm.edu.ua/1187/>

REFERENCES

1. Petruk R.V., Bilichenko YU.O., Kravets' N.M. Analiz zahroz evtrofikatsiyi vody seredynnoyi dilyanky baseynu richky Pivdennyi Buh /Roman Vasylovych Petruk, Yuliya Olehivna Bilichenko, Nataliya Mykhaylivna Kravets'/ *Naukovo-tekhnichnyy zhurnal «Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktivni v budivnytstvi»* – Vinnytsya, №2, 2022. – S.181-186. [<https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/778>]
2. Afanasiev S.O. Vasylichuk T.O., Letytska O.M., Bilous O.P. Assessment of the ecological state of the Southern Bug River in accordance with the requirements of the EU Water Framework Directive. - K.: NVP Interservice, 2012. - 28 p.
3. Sharylo Ju., Deren'ko O. (2020). *Hlorela – organichnyj metod ochyshhennja rybogospodars'kyh vodojm* [Chlorella is an organic method of cleaning fish ponds]. Sajt Upravlinnja Derzhavnogo agentstva rybnogo gospodarstva u m. Kyjevi ta Kyi'vs'kij oblasti. 17.01.2020. URL: https://kv.darg.gov.ua/_hlorela_organichnij_metod_0_0_0_1099_1.html [in Ukrainian].
4. Water Fund of Ukraine: Artificial reservoirs — reservoirs and ponds: Handbook / Ed. V.K. Khilchevskii, V.V. Grebenya. — K.: Interpress, 2014. — 164 p. - ISBN 978-965-098-2
5. Barrett S.C.H. 1980a. Sexual reproduction in *Eichhornia crassipes* (water Hyacinth)..Fertility of clones from diverse regions. *Journal of Applied Ecology* 17:101-112. [https://www.researchgate.net/publication/301684125_Purification_Effects_of_Water_Hyacinth_Eichhornia_crassipes_on_Domestic_Sewage]
6. Ogunlade, Y. 1992. Notes on Utilization of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as a means of pollution Control. Department Of Chemistry, Adeyemi College of Education, Ondo, Ondo State, Nigeria. Pp. 79-84
7. Malik A . Environmental challenge vis a vis opportunity: the case of water hyacinth. *Environ Int*[Internet]. 2007, 33(1):122-38. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.08.004>
8. . Vasylyuk, T. P. and Vasylyuk, T. P. (2013) Akumulyatsiya ta rozpodil vazhkykh metaliv u fitomasi hidrobiontiv vydu *eichhornia crassipes* (mart.) solms pry bioochyshchenni sil'skohospodars'kykh stichnykh vod. *Visnyk Natsional'noho universytetu vodnoho gospodarstva ta pryrodokorystuvannya* (1(61)). pp. 67-73. <http://ep3.nuwm.edu.ua/1187/>

Петрук Роман Васильович – д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет prroma07@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5128-4053>

Біличенко Юлія Олегівна – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6034-3924>

**R. Petruk
Yu. Bilichenko**

REDUCTION OF EUTROFICATION AND WATER POLLUTION WITH THE HELP OF WATER HYACINTH

Vinnytsia National Technical University

*In this work, the problem of cleaning eutrophicated water bodies of the Southern Bug basin with the help of higher aquatic vegetation is analyzed using the example of water hyacinth. The possibility of effective use for water purification of *Eichhornia* plants in Podillia reservoirs has been established. The possibility of additional use of plants of the *Eichhornia* variety as a component of biofeeds, for the production of fodder yeast and flour, and for the production of various types of biofuels has also been established.*

Key words: blooming of water bodies, phytoplankton, South Bug River basin, eutrophication. water hyacinth, Eichhornia.

Petruk Roman – Doctor of Science, Professor, Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University prroma07@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5128-4053>

Bilichenko Yulia – graduate student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6034-3924>

АНАЛІЗ ЗАГРОЗ ЕВТРОФІКАЦІЇ ВОДИ СЕРЕДИННОЇ ДІЛЯНКИ БАСЕЙНУ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ

Вінницький національний технічний університет

В даній роботі проаналізовано проблему евтрофікації водойм серединної ділянки басейну Південного Бугу, яка набуває все більшої актуальності в останній час. Встановлено підвищення рівня і концентрації фотосинтезуючих організмів у водоймах. У середній частині басейну річки Південний Буг, яка в основному лежить у межах Вінницької області, ця проблема є особливо актуальною через ряд факторів, до яких належить зарегульованість, хімічне антропогенне навантаження, хімізоване сільське господарство, використання фосфатних миючих засобів, високий природний вміст поживних елементів у ґрунтах Поділля та ін.

Ключові слова: цвітіння водойм, фітопланктон, басейн річки Південний Буг, евтрофікація.

Вступ

Проблема евтрофікації водних об'єктів нашої держави набуває все більшої актуальності в останні роки. Рівень і концентрація фотосинтезуючих організмів у водних об'єктах зростає, що підтверджується щорічним зацвітанням річок, ставків та озер, особливо в літні місяці. В середній ділянці басейну річки Південний Буг, яка переважно пролягає в межах Вінницької області, ця проблема особливо актуальна через низку факторів. Для більш детального розуміння причин цвітіння та розробки механізмів протидії варто детально розібрати всі ці фактори та їх особливості характерні для середньої ділянки басейну річки Південний Буг.

Загальновідомими є основні причини цвітіння вод, такі як збагачення біогенними елементами природних вод, наявність сполук фосфору та нітрогену, зростання температури, погана аерація тощо. Проте для річки Південний Буг, і зокрема, для серединної ділянки в межах Вінницької області, характерні певні унікальні фактори евтрофікації, дослідження і розуміння яких дозволить впливати на процеси евтрофікації.

Метою даної статті є детальний аналіз основних причин евтрофікації вод в середній ділянці басейну річки Південний Буг для розробки в подальшому дієвих механізмів протидії явищам евтрофікації чи зменшення його впливу.

Аналіз видового складу фітопланктону річки Південний Буг

Для розуміння причин цвітіння води, перш за все, треба зрозуміти, які фотосинтезуючі живі організми активно розвиваються в літні місяці в річці Південний Буг. За дослідженнями вчених [1-2] на серединній ділянці річки кількість видів варіює від 30 до 70 на кожній ділянці. Загальна кількість видів, які було виявлено, складає 167. Серед домінуючих видів [3] в періоди літа та осені були по чисельності зелені (37,0 %), а по біомасі – діатомові (71,6 %). Найбільшої чисельності досягали *Oscillatoria* sp. (26,1%), за біомасою – *Aulacoseira granulata* (Etr.)Sim. (23,1%) та *Amphora ovalis* Kutz (19,9%).

Видове багатство [1,4] планктонних водоростей середньої ділянки р. Південний Буг складає 334 види і 358 внутрішньовидових таксонів. Основу таксономічної структури фітопланктону формують представники відділів *Chlorophyta* (44,4 %), *Bacillariophyta* (22,8 %), *Euglenophyta* (10,8 %) і *Cyanoprokaryota* (10,4 %). Провідними родами є *Desmodesmus*, *Euglena*, *Trachelomonas*, *Phacus*, *Monoraphidium*, *Nitzschia*, *Scenedesmus*, *Oocystis*, *Merismopedia* і *Microcystis*.

Інтенсивний розвиток фотосинтезуючих організмів супроводжується ростом, у тому числі, і хвороботворних бактерій, які добре розвиваються в створюваному фітопланктоном поживному середовищі. Це і є однією з основних проблем евтрофікації. Самі ж фотосинтезуючі організми, зазвичай, не несуть шкоди, а, навпаки, є корисними для водних екосистем, оскільки очищують воду від надлишку хімічних речовин та продукують кисень [5]. Проте є певні види, які в процесі життєдіяльності продукують токсини, наприклад, вид *Microcystis aeruginosa*, чи умовно-патогенні (вид *Anabaena*). В результаті, може відбуватися мор риби та отруєння людей. Ці всі явища характерні лише при значних об'ємах цвітіння води в літньо-осінні місяці.

Якість вод серединної ділянки річки Південний Буг

Чітко фіксованого терміну серединної ділянки басейну Південного Бугу не існує, проте такий

термін в науковій літературі зустрічається, де вважається річковий проміжком між містами Вінниця та Первомайськ. Хоча очевидно, що на якість води цього проміжку басейну впливає і стан водних об'єктів вище за течією. Тому в даній статті це також враховується.

Якість вод контролюється низкою державних структур, проте існує спеціалізована – Басейнове управління водних ресурсів, що надало інформацію про якість вод. Для середньої ділянки в межах Вінницької області є два створи спостереження (Ладижинське і Сабарівське водосховище) в яких помісячно відбираються проби води та аналізуються на близько 20 основних показників. Результати аналітичної довідки свідчать про задовільний рівень якості вод.

Таблиця 1

Фактичні величини основних показників якості води в створах спостереження (відбір проведено липні 2022 року)

Показники та їх допустимі нормативи	Річка Південний Буг, 413 км від гирла, питний водозабір м. Ладижин	Річка Південний Буг, 582 км від гирла, питний водозабір м. Вінниця
pH (ГДК - 6,50-8,50 од. pH)	8,98	7,84
Кольоровість (ГДК - <35,00 град.)	10,97	17,92
Зав. речовини (фон +0,75 мг/дм куб.)	8	12
Амоній сольов. (ГДК - 2,0 мг/дм куб.)	0,13	0,34
Нітрити (NO ₂ -) (ГДК - 3,30 мг/дм куб.)	0,002	0,005
Нітрати (NO ₃ -) (ГДК - 45,00 мг/дм куб.)-	0,11	0,12
Розчин. кисень (ГДК - >4,00 мгО ₂ /дм куб.)	14,4	3,3
ХСК (ГДК - 30,00 мг О ₂ /дм куб.)	39,6	39,6
БСК5 (- мг О ₂ /дм куб.)	10	10,3
БСКП (ГДК - 6,00 мг О ₂ /дм куб.)	13,3	13,6
Лужність (ГДК - 0,50-6,50 мг-екв./дм куб.)	3,2	4,1
Жорсткість заг. (ГДК - 7,00 мг-екв./дм куб.)	4	4,8
Сухий залишок (ГДК - 1000,00 мг/дм куб.)	495	548
Сульфати (ГДК - 500,00 мг/дм куб.)	41,53	27,85
Хлориди (ГДК - 350,00 мг/дм куб.)	28,7	36,5
Кальцій (ГДК - 180,00 мг/дм куб.)	44,1	54
Магній (ГДК - 40,00 мг/дм куб.)	24,9	25,6
Фосфати (ГДК -3,50 мг/дм куб.)	0,043	0,088
Залізо загальне (ГДК - 0,30 мг/дм куб.)	0,062	0,054
АПАР (- мг/дм куб.)	0,038	0,087
Нафтопродукти (ГДК - 0,10 мг/дм куб.)	0,085	0,178
Фосфор заг. (- мг/дм куб.)	0,014	0,028

Проаналізувавши дані даної таблиці, дійсно, можна констатувати середню якість води через незначні перевищеннями по декільком показникам: це БСК та ХСК, недостатність розчиненого кисню та наявність нафтопродуктів. Ці показники фактично відповідають за вміст і наявність органічних речовин та окиснених в воді сполук. Ці типи забруднення води можуть спричиняти, в тому числі, і організми, що відповідають за цвітіння води.

Виявлення факторів цвітіння води басейну річки Південний Буг

Є загальноприйняті причини цвітіння види [6-8], основні з яких варто відзначити для середньої ділянки басейну річки Південний Буг:

1. Зарегульованість. Вінницька область є абсолютним лідером по кількості та площі ставків. Їх майже 5 тисяч [9]. 45 % ставків басейну Південного Бугу є в оренді. Очевидним є те, що наявність найбільшої в Україні кількості ставків негативно впливає на рухливість води. Часто в літні місяці виникає застоювання води, що супроводжується поганим її насиченням киснем і є супутнім фактором погіршення якості води. Як правило, у ставків є власники, які розводять рибу і мають дбати за якість води. Проте малі фермерські рибні господарства часто майже не здійснюють ніяких заходів покращення води. Восени спускають ставок для вилову риби і при цьому руйнують екосистемі зв'язки та гине низка біологічних видів. Підсумовуючи, можна констатувати, що наявність великої кількості ставків на Вінниччині, Кіровоградщині та Миколаївщині негативно впливає на якість води та посилює евтрофікацію. При цьому в галузі державного контролю за використанням ставків є також вразливі місця.

2. Хімічне антропогенне навантаження. Це найбільший фактор антропогенного впливу на водні об'єкти. Хімічне забруднення викликане скиданням у поверхневі і підземні води органічних та неорганічних речовин, що є поживним середовищем для розвитку фотосинтезуючих організмів. Основними джерелами такого скиду є недосконала міська каналізація, несанкціоновані скиди каналізації приватних будинків, використання вигрібних ям та зливання стоків з них, скид промислових підприємств та ін. Це супроводжується також тепловим забрудненням вод, зміною їх кислотності, бактеріологічним забрудненням, що представлено також і патогенними організмами, дріжджовими та пліснявими грибками, дрібними водоростями тощо.

До основних забруднювальних речовин належать пісок, глина, шлак, розчини мінеральних солей, кислот та лугів, залишки рослин, плодів, злаків, овочів, паперу, фізіологічні відходи людей та тварин, жирові сполуки, органічні кислоти тощо. Основним хімічним елементом цих забруднювальних речовин є азот у вигляді білкових сполук, а також вуглець, фосфор, калій, сірка, натрій та інші хімічні елементи та сполуки.

При цьому зазначені хімічні елементи та їх сполуки є чудовим поживним середовищем для росту різних мікроорганізмів. Основну увагу при цьому заслуговує фіксований азот та фосфор. Тому можливість впливати на їх концентрацію дозволить змінювати інтенсивність цвітіння а формування ефективної системи контролю за скидами – це один із основних способів санації річок.

Наразі, на Вінниччині є навіть районні центри без централізованої каналізації. В менших населених пунктах ситуація ще гірша. Контроль за скидами підприємств дуже часто теж є умовним. Тому в цій площині є ще дуже багато невиконаної організаційної роботи.

3. Хімізоване сільське господарство. Використання переважно азотних, калійних і фосфатних добрив сприяє росту не тільки сільгосппродукції на полях, а й покращує умови існування водних фотосинтезуючих організмів. За деякими даними змив добрив з полів у водні об'єкти може сягати половини їх надходжень [10]

Отже, ефективність застосування добрив це складне агрономічне завдання, яке розв'язується в залежності від низки факторів, основними з яких є тип ґрунтів, клімат, температурний режим, вміст поживних елементів та очікуваний врожай. Крім того, на всіх типах ґрунтів відбувається змив з полів добрив та їх просочування в підземні води.

Найбільш рухомі у ґрунтах азотні добрива, тому на легких ґрунтах з підвищеною вологістю вони вимиваються. На глинистих і середньо суглинних ґрунтах добрива поглинаються і закріплюються сильніше, вони рухаються разом з водою повільніше, ніж на ґрунтах піщаних і супіщаних. Тому глинисті ґрунти удобрюють не так часто, але відносно великими дозами, тоді як піщані – частіше і малими дозами. При цьому висока ефективність фосфорних добрив характерна для чорноземів.

В менших кількостях на поверхню рослин і частково в ґрунти вносяться пестициди. Вони мають свої особливості застосування, але теж можуть змінювати властивості поверхневих і підземних вод. На відміну від добрив, пестициди застосовуються в літній період. Більшість із застосовуваних на сьогодні пестицидів мають короткий період напіврозпаду (до місяця) і далі у вигляді продуктів напіврозпаду потраплять у воду. Пестициди найбільшу небезпеку несуть саме до свого розпаду і, враховуючи їх відносно невеликі кількості, цим фактором впливу іноді можна знехтувати. Проте варто враховувати їх токсинні властивості на водні організми.

Для посилення контролю небезпечного впливу хімізованого сільського господарства на довкілля і природні води, з нашої точки зору, варто розробити детальну систему контролю придбання і застосування хімікатів на сільгоспугіддях великих агропідприємств.

4. Використання фосфатних миючих засобів. Нажаль, в нашій державі немає розуміння значимості цього фактора, тому відсоток безфосфатних детергентів вкрай малий. Потрапляючи у водойми, фосфати є добривом для інтенсифікації росту синьо-зелених водоростей, тобто сприяють процесу евтрофікації. Відомо, що кожен грам фосфатних сполук з пральних порошоків викликає зростання 5-10 кілограмів синьо-зелених водоростей [11].

Існуючі технології очищення води дозволяють як знизити концентрацію, так і повністю вилучити фосфати з стічних вод. Основний метод очищення стічних вод – використання аеротенків з активним мулом, який дозволяє знизити концентрацію фосфатів до допустимого рівня. Проте, як вже було зазначено вище, воду не скрізь якісно очищають, що призводить до потрапляння їх у природні води.

У 2010 та 2019 році були безрезультатні спроби прийняти законопроект про обмеження використання фосфатних миючих засобів в Україні. Є перспектива прийняття такого закону в майбутньому під час Євроінтеграції українського законодавства при достатньому розумінні суспільства цієї проблеми.

Способом вирішення цієї проблеми є прийняття відповідного законодавства, контроль за його

виконанням, введенням додаткових податків на фосфатні пральні засоби, популяризація безфосфатних засобів, будівництво нових очисних споруд та покращення ефективності очищення вод на вже існуючих очисних спорудах.

5. Замулення. Така проблемо найбільш актуальна на повільних річках з дамбами та греблями. На Вінниччині переважають такі типи ґрунтів, які містять багато гумусу та поживних елементів. При розорюванні та вимиванні ґрунту у водні об'єкти вони замулюються, що теж сприяє насиченню води поживними для фотосинтезуючих організмів речовинами [12-13].

Крім того на замулення впливає розташування житлових забудов у заплавах річок, розорення заплавл малих річок, прибережено-захисних смуг, відсутність каналізації, порушення умов поверхневого стоку та ін. Розораний верхній шар ґрунту потрапляє у річку та що призводить до замулення, тобто потрапляння у воду ґрунту. Як наслідок, у річці формується шар мулу, який містить значну кількість поживних елементів для розвитку фотосинтезуючих мікроорганізмів. Такий шар мулу є буфером, який на багато років підживлює процеси цвітіння. Боротися з причинами цього явища можна різними шляхами: контроль за використанням і будівництвом в межах прибережних захисних смуг, очищення річкового русла та ряд інших природоохоронних заходів розроблених для кожної окремої річки і її екосистеми.

Наводимо також групу факторів, які опосередковано впливають на ріст цвітіння:

6. Сталість річкових умов та відсутність паводків, а також наявність великої кількості дамб та гребель. Крім погіршення швидкості протікання води, це зменшує кількість паводків, повеней, селевих потоків та різного роду катаклізмів, які сприяють очищенню річки. Наприклад, під час повені може відбуватися очищення річкового русла від мулу, деревини та сміття, яке накопичилося в річці. Як вже було зазначено в п.1 і 6, зниження швидкості річкового потоку також пов'язане з замуленням. В таких умовах, де природні процеси самоочищення річки не працюють, варто докладати зусиль з її очищення з використанням спеціального обладнання. Також варто розробити якісь природоохоронні механізми ліквідації непотрібних гребель, які будувалися десятки років тому і втратили своє значення, оскільки вони несуть шкоду довкіллю та екосистемам.

7. М'якість кліматичних умов. Загальнопланетарне поступове підняття середньої температури, що покращує умови для цвітіння.

Крім цих факторів, є ще низка менш значущих. Проаналізувавши ці фактори, можна дійти висновку, що з евтрофікацією можна боротися, проте цей процес досить складний. Тим не менше, по кожній з наведених причин можна розробляти певні механізми протидії чи компенсації і, тим самим, зменшувати кількість фотосинтезуючих мікроорганізмів.

Існує і низка альтернативних теорій цвітіння води, які мають право на існування, проте не мають вагомому значення для конкретної річки, зокрема: теорія «зв'язку між ростом фітопланктону та зоопланктону», «початку приповерхневої стратифікації навесні», «змішування водного стовпа», «низької турбулентності», «збільшення інтенсивності світла (на мілководді)». Фактично, вони пояснюють явище цвітіння, але на них немає ніякого впливу і можливості коригувати ці процеси.

Висновки

Результати аналізу основних причин евтрофікації підтвердили початкову гіпотезу про значне погіршення аерації водних об'єктів в басейну річки, значну забрудненість вод комунальними стоками та поверхневим зливом з полів, високою температурою в літні місяці. Проте в результаті аналізу було виявлено певні особливості евтрофікації саме басейну річки Південний Буг в межах Вінницької області. До них відносяться значне використання територій басейну річки у сільському господарстві, низька якість очищення комунальних стічних вод, надмірне використання водосховищ та ставків тощо.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що можна і варто вносити зміни в існуючу модель користування з метою покращення якості природних вод, що в свою чергу приведе до зниження інтенсивності евтрофікаційних процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Белоус Е.П., Барінова С.С., Клоченко П.Д. Фитопланктон среднего участка р. Южный Буг как поазатель его экологического состояния Гидробиол. журн. 2013.№ 4. Т.49. с.31-45.
2. Білоус Ж.П., Барінова С.С. Фітопланктон як показник гетерогенності річки Південний Буг. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Бюл., 2015, № 3-4 (64) с. 43-47
3. Прокопчук Е.И., Мантурова О.В. Фитопланктон малых рек тернопольской области и связь его количественных показателей с содержанием фосфора в воде Гидробиол. журн. 2017.№ 3. Т.53. с.41-49.

4. Афанасьев С.О. Васильчук Т.О., Летицька О.М., Білоус О.П. Оцінка екологічного стану річки Південний Буг у відповідності до вимог Водної Рамкової Директиви ЄС. – К.: НВП Інтерсервіс, 2012. – 28с.
5. Шарило Ю., Деренко О. Хлорела – органічний метод очищення рибогосподарських водойм. Сайт Управління Державного агентства рибного господарства у м. Києві та Київській області. 17.01.2020. URL: https://kv.darg.gov.ua/_hlorela_organichnij_metod_0_0_0_1099_1.html
6. Vinçon-Leite B., Casenave C. Modelling eutrophication in lake ecosystems: A review Science of the Total Environment 651 (2019) 2985–3001 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.320>
7. Yi Li et al. The role of freshwater eutrophication in greenhouse gas emissions: A review /Yi Li, Jiahui Shang, Chi Zhang, Wenlong Zhang, Lihua Niu, Longfei Wang, Huanjun Zhang/ Science of the Total Environment 768 (2021) 144582 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144582>
8. Hans W. Paerl et al. Mitigating eutrophication and toxic cyanobacterial blooms in large lakes: The evolution of a dual nutrient (N and P) reduction paradigm /Hans W. Paerl, Karl E. Havens, Hai Xu, Guangwei Zhu, Mark J. McCarthy, Silvia E. Newell, J. Thad Scott, Nathan S. Hall, Timothy G. Otten, Boqiang Qin/ Hydrobiologia: Restoration of eutrophic lakes, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04087-y>
9. Водний фонд України: Штучні водойми — водосховища і ставки: Довідник / За ред. В. К. Хільчевського, В. В. Гребеня. — К.: Інтерпрес, 2014. — 164 с. - ISBN 978-965-098-2
10. Keena M. Environmental Implications of Excess Fertilizer and Manure on Water Quality /Mary Keena, Miranda Meehan, Tom Scherer/ North Dakota State University Topics, . – NM1281, Reviewed August 2022, [https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/2022-08/nm1281_0.pdf]
11. Gladysheva M.I., Gubelit Y.I. Green Tides: New Consequences of the Eutrophication of Natural Waters (Invited Review). Contemporary Problems of Ecology, 2019, Vol. 12, No. 2, pp. 109–125. © Pleiades Publishing, Ltd., 2019. DOI: 10.1134/S1995425519020057
12. Триліс В.В., Серета Т.М., Савицький О.Л. Надходження органічних речовин у річкову екосистему (на приклад і модельної ділянки р. Віта). Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол., 2015, № 3-4 (64), С. 648-651
13. Клоченко П.Д., Митківська Т.І. Фітопланктон р. Південний Буг на ділянці між містами Первомайськом та Миколаєвом (Україна)//Укр. ботан. журн. – 1994. – Т.51, №1. – 116 – 124.

REFERENCES

1. Belous E.P., Barynova S.S., Klochenko P.D. Phytoplankton of the middle section of the Yuzhny Bug River as a predictor of its ecological state Hydrobiol. journal 2013. No. 4. Vol. 49. pp. 31-45.
2. Bilous J.P., Barynova S.S. Phytoplankton as an indicator of the heterogeneity of the Southern Bug River. Science zap Ternopil national ped. university Ser. Bull., 2015, No. 3-4 (64) с. 43-47
3. Prokorchuk E.I., Manturova O.V. Phytoplankton of small rivers of the Ternopil region and the relationship of its quantitative indicators with the phosphorus content in water Hydrobiol. journal 2017. No. 3. Vol. 53. pp. 41-49.
4. Afanasiev S.O. Vasylichuk T.O., Letytska O.M., Bilous O.P. Assessment of the ecological state of the Southern Bug River in accordance with the requirements of the EU Water Framework Directive. - K.: NVP Interservice, 2012. - 28 p.
5. Sharylo Ju., Deren'ko O. (2020). Hlorela – organichnyj metod ochyshhennja rybogospodars'kyh vodojm [Chlorella is an organic method of cleaning fish ponds]. Sajt Upravlinnja Derzhavnogo agentstva rybnogo gospodarstva u m. Kyjevi ta Kyi'vs'kij oblasti. 17.01.2020. URL: https://kv.darg.gov.ua/_hlorela_organichnij_metod_0_0_0_1099_1.html [in Ukrainian].
6. Vinçon-Leite B., Casenave C. Modeling eutrophication in lake ecosystems: A review Science of the Total Environment 651 (2019) 2985–3001 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.320>
7. Yi Li et al. The role of freshwater eutrophication in greenhouse gas emissions: A review /Yi Li, Jiahui Shang, Chi Zhang, Wenlong Zhang, Lihua Niu, Longfei Wang, Huanjun Zhang/ Science of the Total Environment 768 (2021) 144582 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144582>
8. Hans W. Paerl et al. Mitigating eutrophication and toxic cyanobacterial blooms in large lakes: The evolution of a dual nutrient (N and P) reduction paradigm /Hans W. Paerl, Karl E. Havens, Hai Xu, Guangwei Zhu, Mark J. McCarthy, Silvia E. Newell, J. Thad Scott, Nathan S. Hall, Timothy G. Otten, Boqiang Qin/ Hydrobiologia: Restoration of eutrophic lakes, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04087-y>
9. Водний фонд України: Штучні водойми — водосховища і ставки: Довідник / За ред. В. К. Хільчевського, В. В. Гребеня. — К.: Інтерпрес, 2014. — 164 с. - ISBN 978-965-098-2
10. Keena M. Environmental Implications of Excess Fertilizer and Manure on Water Quality /Mary Keena, Miranda Meehan, Tom Scherer/ North Dakota State University Topics, . – NM1281, Reviewed August 2022, [https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/2022-08/nm1281_0.pdf]
11. Gladysheva M.I., Gubelit Y.I. Green Tides: New Consequences of the Eutrophication of Natural Waters (Invited Review). Contemporary Problems of Ecology, 2019, Vol. 12, No. 2, pp. 109–125. © Pleiades Publishing, Ltd., 2019. DOI: 10.1134/S1995425519020057
12. Trilis V.V., Sereta T.M., Savytskyi O.L. Inflow of organic substances into the river ecosystem (on the example of the model section of the Vita River). Science zap Ternopil national ped. university Ser. Biol., 2015, No. 3-4 (64), pp. 648-651
13. Klochenko P.D., Mytkivska T.I. Phytoplankton of the Southern Bug River in the area between the cities of Pervomaik and Mykolaiv (Ukraine)//Ukr. nerd journal – 1994. – Vol. 51, No. 1. – 116 – 124.

Петрук Роман Васильович – д.т.н., доцент, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет prroma07@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5128-4053>

Біліченко Юлія Олегівна – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6034-3924>

Yu. Bilichenko
R. Petruk

ANALYSIS OF WATER EUTROFICATION THREATS IN THE MIDDLE SECTION OF THE SOUTH BUG RIVER BASIN

Vinnitsia National Technical University

This paper analyzes the problem of eutrophication of water bodies in the middle part of the Southern Bug basin, which is becoming more and more relevant in recent years. An increase in the level and concentration of photosynthesizing organisms in water bodies has been established. In the middle part of the South Bug River basin, which is mainly located within the Vinnitsia region, this problem is particularly relevant due to a number of factors, which include regulation, chemical anthropogenic load, chemical agriculture, use of phosphate detergents, high natural content of nutrients in soils of Podillia, etc.

Key words: flowering of water bodies, phytoplankton, Southern Bug, eutrophication.

Petruk Roman – Doctor of Science, Associate Professor, Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnitsia National Technical University prroma07@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5128-4053>

Bilichenko Yulia – graduate student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnitsia National Technical University ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6034-3924>

С. М. Кватернюк¹
С. В. Мандебура^{1,2}
Д. Р. Латуша¹

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ДРЕНАЖНИХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ ВОДНО-БОЛОТНИХ УГІДЬ

¹Вінницький національний технічний університет

²Уманський державний педагогічний університету ім. Павла Тичини

У роботі вдосконалено метод підвищення ефективності очищення сільськогосподарських дренажних вод від продуктів агрохімії з використання штучних водно-болотних угідь та плаваючих вищих водних рослин. Метод очищення стічних вод та контролю параметрів забруднення включає використання штучних водно-болотних угідь, в яких очищується стічна вода в аеробних умовах мікроорганізмами на кореневій системі вищих водних рослин, формування мультиспектральних зображень вищих водних рослин, аналіз мультиспектральних зображень, опосередковане вимірювання співвідношення між картоїноїдами і загальним хлорофілом у вищих водних рослинах з використанням регресійних рівнянь. При цьому, у процесі експлуатації штучного водно-болотного угіддя шар плаваючих вищих водних рослин періодично замінюють на нові рослини, вилучену забруднену біомасу вищих водних рослин підсушують, брикетують та використовують у вигляді палива.

Ключові слова: стічні води, ефективність очищення, штучні водно-болотні угіддя, екологічний моніторинг, мультиспектральні зображення.

Вступ

Сільське господарство є одним з найбільших споживачів водних ресурсів та створює найбільші об'єми скидів забруднених дренажних вод. Надходження неочищених сільськогосподарських дренажних вод у водні об'єкти спричиняє їх евтрофікацію, цвітіння фітопланктону та зростання загроз для здоров'я населення. При подальшому використанні вод з таких водних об'єктів для забезпечення питною водою населення потрібно витратити значно більше коштів та засобів для очищення води відповідно до норм для питного водопостачання. Потреба сільського господарства у водних ресурсах з кожним роком зростає. Розрив між потребами у водних ресурсах та наявними ресурсами може бути подоланий шляхом переробки сільськогосподарських дренажних вод та їх повторного використання. Одним з шляхів очищення сільськогосподарських дренажних вод є використання штучних водно-болотних угідь (constructed wetlands – CW) заповнених вищими водними рослинами. Однак для забезпечення найбільш ефективного очищення дренажних вод необхідно здійснювати моніторинг параметрів CW у режимі реального часу та забезпечити оптимізацію параметрів CW з необхідним критерієм.

Для підвищення ефективності сільського господарства та зменшення впливу на довкілля при використанні продуктів агрохімії, зокрема, пестицидів, мінеральних добрив, стимуляторів та інгібіторів росту рослин, особливо актуальним є вдосконалення методів екологічного моніторингу. При оцінюванні комплексного впливу при використанні продуктів агрохімії у сільському господарстві на довкілля, з використанням синергетичного підходу, необхідно врахувати вплив на біологічні показники об'єктів довкілля. При дослідженні впливу продуктів агрохімії на об'єкти довкілля можуть використовуватись безпілотні літальні апарати з мультиспектральними та гіперспектральними камерами.

Мета роботи – підвищення ефективності очищення сільськогосподарських дренажних вод від продуктів агрохімії з використання CW та плаваючих вищих водних рослин.

Аналіз ефективності штучних водно-болотних угідь для очищення стічних вод

У роботі [1] штучне водно-болотне угіддя використовується для очищення комунальних стічних вод невеликого міста. Відсутність очисних споруд є проблемою для 70-80 % невеликих населених пунктів. Обробка стоків за допомогою CW є перспективною недорогою альтернативою традиційних способів очищення стічних вод, яка може захистити водні об'єкти від забруднення. Очисні споруди складаються з відстійника, за яким слідує камери з очеретом та водяним гіацинтом. Очисні споруди дозволили знизити параметри забруднення води до допустимих значень. Ефективність очищення за допомогою CW змінюється протягом року в залежності від багатьох факторів, що вимагають подальшого вивчення та вимірювання великої кількості параметрів CW у режимі реального часу.

У роботі [2] досліджуються параметри біорізноманіття зоопланктону у дренажних каналах сільських господарств. Екосистема СW має, як правило, декілька вибраних видів макрофітів, а також багато видів зоопланктону, фітопланктону, бактерій тощо. Виявлено досить високі показники біорізноманіття зоопланктону, який у екосистемі є типовим фільтратором фітопланктону та основною їжею для риб. При дотриманні необхідних параметрів якості води очищену воду після СW можна використовувати для рибних ставків, при цьому риби є біоіндикатором якості очищення води.

У роботі [3] розглядали Тарімський басейн в Китаї у якому здійснюється інтенсивне сільське господарство, що вимагає значних об'ємів водних ресурсів. 76% води у регіоні використовується для сільськогосподарського зрошення, що призводить до висихання води у нижній течії річки та значного погіршення екологічних показників. При очищенні сільськогосподарських дренажних вод за допомогою СW важливим є не лише моніторинг продуктів агрохімії, але й інших хімічних речовин, які вимиваються з ґрунту при поливі.

У роботі [4] досліджували ефективність природних водно-болотних угідь для зменшення сільськогосподарського азотного навантаження у різних формах (нітрити, нітрати, амонійний азот, загальний азот). При цьому для різних форм азоту була оцінена ефективність очищення за допомогою СW. Оскільки процеси вегетації і розпаду у природних водно-болотних угіддях є сезонними, то ефективність очищення буде мати відповідні сезонні зміни.

У роботі [5] досліджувалась ефективність СW для очищення стічних вод густонаселеного поселення для малозабезпечених у Шрі Ланці. При цьому дренажний потік, що протікав через поселення був надзвичайно сильно забруднений каналізаційними стоками, що містили у великій кількості фекальні коліформні бактерії. Видалення кишкової палички у СW досягалось за допомогою багатьох фізичних, хімічних та біологічних процесів. Ефективність СW для очищення стічних вод від фекальних коліформ потребує додаткового вивчення.

У роботі [6, 7] досліджувалась ефективність СW для очищення сільськогосподарських дренажних вод від важких металів, а також накопичення важких металів у надземній та підземній частині рослин, якими заповнено СW. Дослідження показало, що важкі метали затримувались здебільшого кореневою системою. Важливу роль в очищенні сільськогосподарських дренажних вод мали мікроорганізми у кореневій системі.

У роботі [8] здійснювалось дослідження моделі СW з наповненням торф'яним ґрунтом. В модельній установці визначаються оптимальні умови, які забезпечують найвищу ефективність видалення нітратів при оптимальних параметрах температури, окислювально-відновлювального потенціалу та швидкості потоку води. Це показує перспективність оптимізації роботи СW шляхом контролю параметрів системи та оцінювання ефективності очищення води.

У роботі [9] розроблена інтегрована система моделювання для оцінки кількості і якості води водно-болотних угідь у сільському господарстві на основі інструменту геопросторового аналізу ГІС Whitebox із відкритим вихідним кодом і підключенням різних баз даних – геопросторову, гідрокліматичну, карту водно-болотних угідь, параметри та вихідні дані моделі. Результати моделювання для різних сценаріїв збереження та утворення водно-болотних угідь є підставою для прийняття рішень з управління водними ресурсами.

У роботі [10] використовується СW з плаваючими макрофітами (ряска мала) та заповненням губчастим матеріалом з пористої поліуретанової піни, що є носієм біоплівки. Біоплівка має високу бактеріальну різноманітність та високу частку нітрифікуючих і денітрифікуючих бактерій, а тому є важливою складовою СW. Наявність сприятливих умов середовища у коренях вищих водних рослин чи матеріалах наповнювача, необхідна температура, рН та кисневий режим дозволяють підібрати оптимальні умови для ефективного видалення забруднюючих речовин.

У роботі [11] при сильних опадах з полів може змиватись значна частина органічних добрив, що є джерелом забруднення водних об'єктів. При проектуванні СW необхідно врахувати такі аномальні кліматичні фактори, як сильні опади, ще не повинні призвести до руйнації СW та потрапляння забруднюючих речовин та макрофітів з СW у водні об'єкти.

У роботі [12] досліджується ефективність ряски для опріснення та очищення сільськогосподарських дренажних вод. Крім того, досліджено що ставки вкриті ряскою можуть зменшити втрати води через випаровування до 25%.

Відомо комплекс для очищення стічних вод та мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю інтегральних параметрів забруднення з використанням вищих водних рослин, що складається із корпусу біореактора з термоізолюючого матеріалу, заповненого водою і шаром вищих водних рослин, пристроїв штучного освітлення, трубопроводів подачі води на очищення та відводу очищеної води, системи терморегулювання внутрішнього простору і води,

плаваючого термоізолюючого матеріалу, причому у якості пристроїв штучного освітлення використано світлодіодні освітлювачі, крім того введено ПЗЗ-камеру, блок імпульсного керування освітлювачами, мікроконтролерний пристрій, блок керування та обробки мультиспектральних зображень, причому світлодіодні освітлювачі підключені до блоку імпульсного керування освітлювачами, ПЗЗ-камера з'єднана з входом блоку керування та обробки мультиспектральних зображень на базі персонального комп'ютера, який під'єднано через мікроконтролерний пристрій до блоку імпульсного керування освітлювачами та системи терморегулювання внутрішнього простору і води [13]. Недоліком комплексу є відсутність можливості очищувати стічні води у поверховому шарі води, оскільки плаваючий термоізолюючий матеріал буде заважати проходженню забруднюючих речовин у поверхневій плівці до вищих водних рослин.

У роботі [14] використовується СВ для очищення забруднених стічних вод від нафтопродуктів, що включає використання ємності, в якій очищується стічна вода в аеробних умовах мікроорганізмами на волокнистому носіїві, кореневій системі вищих водних рослин (ейхорнії прекрасної), закріплених до несучого елемента із додатковою плавучістю у вигляді плотика з перфорованим дном, розміщеним у ємності, причому плотик виконують у вигляді об'ємної пустотілої конструкції, у формі прямокутного паралелепіпеда, верхні ребра якого розміщують вище рівня води, а нижні - занурюють у товщу води, під водними рослинами, волокнистим носієм, розміщують сітчастий піддон з повільно-розчинними елементами у вигляді глиняних колобків, які містять поживні речовини для живлення мікроорганізмів, вищих водних рослин, а по периметру стінок ємності, на відстані від плотика, розміщують труби з соплами та клапанами, які з'єднують із джерелом подачі стислого повітря. Поживні речовини для іммобілізованих мікроорганізмів, водних рослин, які входять в основу глини колобків, складаються у співвідношенні компонентів, мас. %: глина 45-55; наносубстрат біомаси рослин 20-35; активовані ефективні мікроорганізми (ЕМ - А) 0,2-0; вода решта. Крім того, як біологічну масу наносубстрату органічного живлення іммобілізованих мікроорганізмів мікроелементами використовують наступні рослини: столовий буряк (гичка) *Beta vulgaris*, люпин вузьколистий (*Lupinus angustifolius*), кульбабу звичайну (коріння) *Taraxacum officinale*, щирицю звичайну (*Amaranthus retroflexus*), кропиву дводомну (*Urtica dioica*), у співвідношенні 1/1/1/0,5. Недоліком такого СВ є відсутність контролю параметрів забруднення стічних вод, що проходить очищення, а також контролю стану вищих водних рослин, які використовуються для очищення води.

Метод очищення сільськогосподарських дренажних вод та моніторингу параметрів забруднення

В основу дослідження поставлено задачу підвищення ефективності очищення сільськогосподарських дренажних вод з використанням вищих водних рослин та моніторингу параметрів забруднення. Поставлена задача досягається тим, що метод очищення стічних вод та контролю параметрів забруднення, що включає використання ємності, в якій очищується стічна вода в аеробних умовах мікроорганізмами на кореневій системі вищих водних рослин, закріплених до несучого елемента із перфорованим дном, сітчастого піддону з повільно-розчинними елементами у вигляді глиняних колобків, які містять поживні речовини для живлення мікроорганізмів та вищих водних рослин, доповнено тим, що формують мультиспектральні зображення вищих водних рослин на довжинах хвиль 450, 470, 660 нм, за допомогою ширококутової ПЗЗ-камери та перемикаємих світлодіодних джерел освітлення, причому на основі отриманих даних за допомогою комп'ютера проводять аналіз мультиспектральних зображень та здійснюють опосередковане вимірювання співвідношення між каротиноїдами і загальним хлорофілом у вищих водних рослинах з використанням регресійного рівняння, яке пов'язує його з результатами мультиспектральних вимірювань, якщо вказане співвідношення між каротиноїдами і загальним хлорофілом у вищих водних рослинах відрізняється більш ніж на 30% у порівнянні з початковим значенням, то шар вищих водних рослин замінюють на нові рослини на стадії вегетативного росту, вилучену забруднену біомасу вищих водних рослин, підсушують, брикетують та використовують у вигляді палива у котлах котелень. На рис. 1. представлена структурну схему штучних водно-болотних угідь для очищення сільськогосподарських дренажних вод та моніторингу параметрів забруднення.

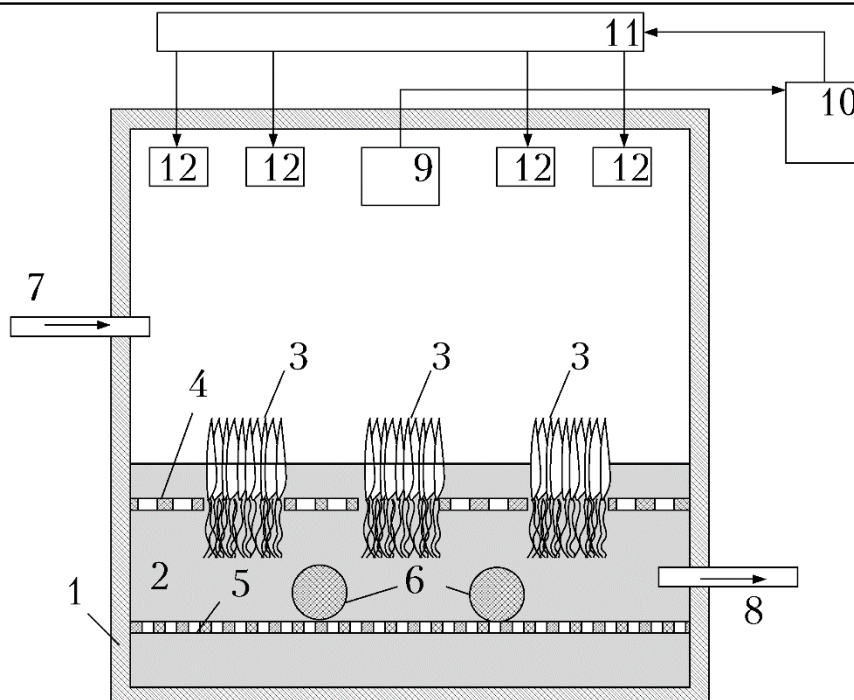


Рисунок 1 – Структурна схема штучних водно-болотних угідь для очищення сільськогосподарських дренажних вод та моніторингу параметрів забруднення

Структурна схема штучних водно-болотних угідь містить ємність 1, заповнену стічними водами 2, шар вищих водних рослин 3 закріплений до несучого елемента з перфорованим дном 4, який знаходиться нижче рівня води, сітчатий піддон 5 з повільно-розчинними елементами у вигляді глиняних колобоків 6. До ємності підведено трубопроводи подачі води на очищення 7 та відводу очищеної води 8. У пристрої розміщено ПЗЗ-камеру 9, що з'єднана з входом блоку керування та обробки мультиспектральних зображень на базі персонального комп'ютера 10, який під'єднано через мікроконтролерний пристрій 11 для перемикання світлодіодних джерел освітлення 12.

Очищення сільськогосподарських дренажних вод та моніторинг параметрів забруднення здійснюється таким чином.

1. Ємність 1 заповнюють сільськогосподарськими дренажними водами 2 через трубопровід подачі води на очищення 7, розміщений вище рівня води.

2. Очищення стічних вод з продуктів агрохімії здійснюється за допомогою шару вищих водних рослин 3, закріплений до несучого елемента з перфорованим дном 4, який знаходиться нижче рівня води. Живлення шару вищих водних рослин 3 та мікроорганізмів у їх кореневій системі здійснюється поживними речовинами, що містяться у повільно-розчинних елементах у вигляді глиняних колобоків 6, розміщених на сітчатому піддоні 5 під кореневою системою шару вищих водних рослин 3.

3. Очищена вода відводиться трубопроводом 7, розміщеним нижче рівня води.

4. Формують мультиспектральні зображення вищих водних рослин на довжинах хвиль 450, 470, 660 нм, за допомогою ПЗЗ-камери 9, блоку керування та обробки мультиспектральних зображень на базі персонального комп'ютера 10, який під'єднано через мікроконтролерний пристрій 11 для перемикання світлодіодних джерел освітлення 12.

5. Аналізують отримані мультиспектральні зображення за допомогою персонального комп'ютера 10, що дозволяє опосередковано виміряти співвідношення між каротиноїдами і загальним хлорофілом у вищих водних рослинах з використанням регресійного рівняння.

6. У випадку, якщо співвідношення між каротиноїдами і загальним хлорофілом у вищих водних рослинах відрізняється більш ніж на 30% у порівнянні з початковим значенням шар вищих водних рослин замінюється на нові рослини на стадії вегетативного росту.

7. Вилучена біомаса вищих водних рослин, що забруднена продуктами агрохімії, підсушується, брикетується та використовується у вигляді палива у котлах котельні. Очищена вода виводиться через трубопровід 8, розміщений нижче рівня води.

Для розв'язання оберненої оптичної задачі визначення біофізичних параметрів вищих водних рослин необхідно скласти регресійне рівняння [15]. При використанні множинної регресії, десяти мультиспектральних параметрів та поліномів третього порядку регресійне рівняння матиме такий вид [16]:

$$f_x = a_0 + b_{1,1}M_1 + \dots + b_{1,10}M_{10} + b_{2,1}M_1^2 + \dots + b_{2,10}M_{10}^2 + b_{3,1}M_1^3 \dots + b_{3,10}M_{10}^3. \quad (1)$$

Для n мультиспектральних параметрів та поліномів k -того порядку регресійне рівняння матиме такий вид:

$$f_x = a_0 + \sum_{i=1}^n (b_{1,i}M_i + b_{2,i}M_i^2 + b_{3,i}M_i^3 + \dots + b_{k,i}M_i^k). \quad (2)$$

У роботі [17] отримано системи регресійних рівнянь, що дозволяють визначити параметри вищих водних рослин у водно-болотних угіддях. З урахуванням конструкції штучних водно-болотних угідь, особливостей освітлення та біофізичних характеристик використаних вищих водних рослин коефіцієнти отриманих регресійних рівнянь будуть коригуватись з відповідно до вимірювань пігментних параметрів їх зразків традиційними спектрофотометричними методами. В подальшому отримані параметри вищих водних рослин використовуються для сегментації мультиспектральних зображень поверхні водно-болотних угідь [18]. Для підтримки прийняття відповідних управлінських рішень по віддаленому контролю очисних споруд на основі штучних водно-болотних угідь доцільно використати систему штучного інтелекту на основі нейромережі чи нечіткої логіки з використанням технології Інтернету речей (ІоТ).

Висновки

Проблема забруднення водних об'єктів шляхом надходження неочищених сільськогосподарських дренажних вод є особливо актуальною для України. Це спричиняє евтрофікацію водних об'єктів та зростання загроз для забезпечення населення якісною питною водою. У роботі проведено огляд сучасних підходів, щодо використання штучних водно-болотних угідь для очищення стічних вод та показано можливість вирішення проблеми з використання комплексу, що включає вищі водні рослини та відповідні мікроорганізми. Далі удосконалено метод підвищення ефективності очищення сільськогосподарських дренажних вод від продуктів агрохімії з використанням штучних водно-болотних угідь та плаваючих вищих водних рослин. При цьому стічна вода очищується в аеробних умовах мікроорганізмами на кореневій системі вищих водних рослин. Контроль параметрів штучного водно-болотного угіддя здійснюється за допомогою мультиспектральних камер та визначення біофізичних параметрів вищих водних рослин з використанням регресійних рівнянь [19]. В подальшому контролю очисних споруд на основі штучних водно-болотних угідь здійснюється з використанням технології Інтернету речей (ІоТ). Досвід експлуатації штучних водно-болотних угідь для очищення сільськогосподарських дренажних вод від продуктів агрохімії показує, що такі комплекси знаходяться на значній відстані один від одного, а тому, використовуючи технологію Інтернету речей з'являється можливість контролювати велику кількість таких очисних споруд розміщених у різних частинах країни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Rashed A. Treatment of municipal pollution through re-engineered drains: A case study, Edfina Drain, West Nile Delta. In Proceedings of the 11th ICID, International Drainage Workshop (IDW), Cairo, Egypt, 22–24 September 2012. 2012. Vol. 11. P. 1–9.
2. Illyová M., Čejka T. Crustacean Zooplankton Biodiversity in Agricultural Drainage Ditches in Danubian Lowland, Slovakia. *Acta zool. bulg.* 2018. V. 70 (3). P. 397–405.
3. Han S., Hu Q., Yang Y. et al. Characteristics and Driving Factors of Drainage Water in Irrigation Districts in Arid Areas. *Water Resour. Manage.* 2015. V. 29. P. 5323–5337.
4. Uuema E., Palliser C.C., Hughes A.O., Tanner C.C. Effectiveness of a Natural Headwater Wetland for Reducing Agricultural Nitrogen Loads. *Water.* 2018. V. 10. P. 287.
5. Weerakoon G.M.P.R., Jinadasa K.B.S.N., Herath G.B.B. et al. Applicability of Constructed Wetlands for Water Quality Improvement in a Tea Estate Catchment: The Pussellawa Case Study. *Water.* 2018. V. 10. P. 332.
6. Lavrić S., Braschi I., Anconelli S. et al. Long-Term Monitoring of a Surface Flow Constructed Wetland Treating Agricultural Drainage Water in Northern Italy. *Water.* 2018. V. 10. P. 644.
7. Zou Y., Zhang L., Wang L. et al. Effects of Aeration, Vegetation, and Iron Input on Total P Removal in a Lacustrine Wetland Receiving Agricultural Drainage. *Water.* 2018. V. 10. P. 61.
8. Kleimeier C., Liu H., Rezanezhad F., Lennartz B. Nitrate Attenuation in Degraded Peat Soil-Based Constructed Wetlands. *Water.* 2018. V. 10. P. 355.
9. Liu Y., Yang W., Shao H. et al. Development of an Integrated Modelling System for Evaluating Water Quantity and Quality Effects of Individual Wetlands in an Agricultural Watershed. *Water.* 2018. V. 10. P. 774.
10. Bassuney D., Tawfik A. Baffled duckweed pond system for treatment of agricultural drainage water containing pharmaceuticals. *International journal of phytoremediation.* 2017. V. 19, No. 8. P. 782–788

11. Oliver D. M., Clegg C. D., Haygarth P. M., Heathwaite A. L. Determining hydrological pathways for the transfer of potential pathogens from grassland soils to surface waters. Diffuse Pollution Conference Dublin. 2003. P. 36-41.
12. Balla D., Omar M., Maassen S. et al. Efficiency of Duckweed (Lemnaceae) for the Desalination and Treatment of Agricultural Drainage Water in Detention Reservoirs. In: Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham. 2014. P. 423-440.
13. Кватернюк С. М., Петрук В. Г., Кватернюк О. Є. Комплекс для очищення стічних вод та мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю інтегральних параметрів забруднення з використанням вищих водних рослин: пат. 124230 Україна. № 201711020; заявл. 10.11.2017; опубл. 26.03.2018, Бюл. № 6. 5 с.
14. Домбровський К.О., Гвоздяк П.І. Спосіб біологічного очищення забруднених стічних вод від нафтопродуктів: пат. 109098 Україна. № 201601623; заявл. 22.02.2016; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15. 9 с..
15. Кватернюк О. Є., Кватернюк С. М., Петрук В. Г. та ін. Математичне моделювання зміни координат кольору поверхневих пошкочень біотканин для цифрової колориметрії. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2016. № 3. С. 135-139.
16. Кватернюк С. М. Метод та засоби мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю стану неоднорідних біологічних середовищ. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2017. № 1. С. 15-22.
17. Kvaterniuk S., Petruk V., Kochan O., Frolov V. Multispectral ecological control of parameters of water environments using quadcopter. Sustainable Production: Novel Trends in Energy, Environment and Material Systems. Studies in Systems, Decision and Control : monograph / editors: G. Królczyk, M. Wzorek., A. Król, O. Kochan, J. Su, J. Kacprzyk. Cham : Springer, 2019. Vol. 198. P. 75-89.
18. Kvaterniuk S.M., Petruk V.G., Frolov V.F. et al. Restoration Of The Southern Bug River Ecosystem By Removing The Biomass Of Higher Water Plants. International Journal of Conservation Science. 2021. Vol. 12. Special Issue 1. P. 755-764.
19. Кватернюк С. М., Петрук В.Г., Кватернюк О.Є., Іщенко В.А., Цимбалюк Л.О. Спосіб очищення стічних вод від нафтопродуктів та контролю параметрів забруднення: пат. 147235 Україна. № u202007794; заявл. 07.12.2020; опубл. 22.04.2021, Бюл. № 16. 5 с.

REFERENCES

1. Rashed A. Ochyshchennya munitsypal'noho zabrudnennya cherez modernizovanu drenazhnu systemu: praktychne doslidzhennya, dreyn Edfina, del'ta Zakhidnoho Nilu. U materialakh 11-ho ICID, Mizhnarodnoho drenazhnoho seminaru (IDW), Kayir, Yehypet, 22-24 veresnya 2012 r. 2012. Tom. 11. S. 1-9.
2. Illová M., Čejka T. Bioriznomanittya zooplanktonu rakopodibnykh u sil's'kohospodars'kykh drenazhnykh kanavakh u Prydnays'kiy nyzovyni, Slovachchyna. Akta zool. bolh. 2018. T. 70 (3). S. 397-405.
3. Han S., Hu Q., Yang Y. ta in. Kharakterystyky ta rushiyni faktory drenazhnoyi vody v rayonakh zroshennya v posushlyvykh rayonakh. Upravlinnya vodnymy resursamy. 2015. T. 29. S. 5323-5337.
4. Uema E., Palliser C.C., Hughes A.O., Tanner C.C. Efektyvnist' pryrodnykh vodno-bolotnykh uhid' u verkhniy chastyi vody dlya zmeshennya sil's'kohospodars'koho azotnoho navantazhennya. voda 2018. T. 10. S. 287.
5. Weerakoon G.M.P.R., Jinadasa K.B.S.N., Herat G.B.B. ta in. Zastosuvannya pobudovanykh vodno-bolotnykh uhid' dlya pokrashchennya yakosti vody u vodozbori chaynoho mayetku: pryklad Pusselavy. voda 2018. T. 10. S. 332.
6. Lavric S., Braschi I., Anconelli S. et al. Dovhostrokovyy monitorynh vodno-bolotnykh uhid', stvorenykh poverkhnevym potokom, yaki ochyshchayut' sil's'kohospodars'ki drenazhni vody v Pivnichniy Italiyi. voda 2018. T. 10. S. 644.
7. Zou Y., Zhang L., Wang L. ta in. Vplyv aeratsiyi, roslynnosti ta nadkhodzheniya zaliza na zahal'ne vydalennya fosforu v ozernykh vodno-bolotnykh uhidnyakh, shcho otrymuyut' sil's'kohospodars'kyi drenazh. voda 2018. T. 10. S. 61.
8. Kleimeier C., Liu H., Rezanezhad F., Lennartz B. Attenuatsiya nitrativ u dehradovanykh torf'yanykh gruntakh, stvorenykh vodno-bolotnykh uhidnyakh. voda 2018. T. 10. S. 355.
9. Lyu YU., Yan V., Shao KH. ta in. Rozrobka intehrovanoyi systemy modelyuvannya dlya otsinky kil'kosti ta yakosti vody okremykh vodno-bolotnykh uhid' u sil's'kohospodars'komu vododili. voda 2018. T. 10. S. 774.
10. Bassuney D., Tawfik A. Baffled systema stavkiv dlya ryasky dlya ochyshchennya sil's'kohospodars'koyi drenazhnoyi vody, shcho mistyt' farmatsevtichni preparaty. Mizhnarodnyy zhurnal fitoremediatsiyi. 2017. T. 19, № 8. S. 782-788
11. Oliver D. M., Klehh K. D., Kheyhart P. M., Khitveyt A. L. Vyznachennya hidrolohichnykh shlyakhiv perenesennya potentsiynykh patoheniv iz luhovykh gruntiv u poverkhnevi vody. Konferentsiya z dyfuznoho zabrudnennya v Dublini. 2003. S. 36-41.
12. Balla D., Omar M., Maassen S. ta in. Efektyvnist' ryasky (Lemnaceae) dlya oprisnennya ta ochyshchennya sil's'kohospodars'kykh drenazhnykh vod u vodoskhovyshchakh. V: Novi instrumenty vymiryuvannya ta otsinky dlya monitorynhu ta upravlinnya zemel'nymy ta vodnymy resursamy v sil's'kohospodars'kykh landshaftakh Tsentral'noyi Aziyi. Ekolohichna nauka ta inzheneriya. Sprinher, Cham. 2014. S. 423-440.
13. Kvaternyuk S. M., Petruk V. H., Kvaternyuk O. YE. Kompleks dlya ochyshchennya stichnykh vod ta mul'tyspektral'noho televiziynoho vymiryuval'noho kontrolyu intehral'nykh parametriv zabrudnennya z vykorystanniam vyschyykh vodnykh roslyn: pat. 124230 Ukrayina. № 201711020; zayavl. 10.11.2017; opubl. 26.03.2018, Byul. № 6. 5 s.
14. Dombrov's'kyi K.O., Hvozdyak P.I. Sposib biolohichnoho ochyshchennya zabrudnennykh stichnykh vod vid naftoproduktiv: pat. 109098 Ukrayina. № 201601623; zayavl. 22.02.2016; opubl. 10.08.2016, Byul. № 15. 9 s..
15. Kvaternyuk O. YE., Kvaternyuk S. M., Petruk V. H. ta in. Matematychno modelyuvannya zmin koordynat kol'oru poverkhnevyykh poshkodzen' biotkanyn dlya tsyfrovoyi kolorymetriyi. Vymiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. 2016. № 3. S. 135-139.
16. Kvaternyuk S. M. Metod ta zasoby mul'tyspektral'noho televiziynoho vymiryuval'noho kontrolyu stanu neodnorodnykh biolohichnykh seredovyshch. Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. 2017. № 1. S. 15-22.
17. Kvaternyuk S., Petruk V., Kochan O., Frolov V. Mul'tyspektral'nyy ekolohichnyy kontrol' parametriv vodnykh seredovyshch za dopomohoyu kvadroptera. Stale vyrobnytstvo: novi tendentsiyi v enerhetytsi, navkolyshn'omu seredovyshchi ta material'nykh systemakh. Studies in Systems, Decision and Control : monohrafiya / redaktory: G. Królczyk, M. Wzorek., A. Król, O. Kochan, J. Su, J. Kacprzyk. Cham : Springer, 2019. Vyp. 198. S. 75-89.

18. Kvaternyuk S.M., Petruk V.H., Frolov V.F. ta in. Vidnovlennya ekosystemy richky Pivdennyi Buh shlyakhom vyluchennya biomasy vyshchyykh vodnykh roslin. Mizhnarodnyy zhurnal pryrodokhoronnoyi nauky. 2021. Vyp. 12. Spetsvypusk 1. S. 755-764.
19. Kvaternyuk S. M., Petruk V.H., Kvaternyuk O.YE., Ishchenko V.A., Tsymbalyuk L.O. Sposib ochyshchennya stichnykh vod vid naftoproduktiv ta kontrol' parametriv zabrudnennya: pat. 147235 Ukrainy. № u202007794; zayavl. 07.12.2020; opubl. 22.04.2021, Byul. № 16. 5 s.

Кватернюк Сергій Михайлович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, e-mail: kvaternuk@vntu.edu.ua.

Мандебура Святослав Васильович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля Вінницького національного технічного університету, викладач кафедри хімії, екології та методики їх навчання Уманського державного педагогічного університету ім. Павла Тичини, e-mail: eko14b.mandebura@gmail.com.

Латуша Дмитро Русланович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, e-mail: dima.latusha27@gmail.com.

S. M. Kvaterniuk¹
S. V. Mandebura^{1,2}
D. R. Latusha¹

IMPROVING THE EFFICIENCY OF AGRICULTURAL DRAINAGE WATER TREATMENT USING CONSTRUCTED WETLANDS

¹Vinnitsia National Technical University

²Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University

The paper has improved the method of increasing the efficiency of cleaning agricultural drainage water from agrochemical products using artificial wetlands and floating higher aquatic plants. The method of wastewater treatment and control of pollution parameters includes the use of artificial wetlands in which wastewater is treated under aerobic conditions by microorganisms on the root system of higher aquatic plants, the formation of multispectral images of higher aquatic plants, analysis of multispectral images, indirect measurement of the ratio between carotenoids and chlorophyll in higher aquatic plants using regression equations. At the same time, during the operation of an artificial wetland, a layer of floating higher aquatic plants is periodically replaced with new plants, the withdrawn contaminated biomass of higher aquatic plants is dried, briquetted and used as fuel.

Keywords: wastewater, treatment efficiency, constructed wetlands, environmental monitoring, multispectral imaging.

Kvaterniuk Serhii Mykhailovych – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, e-mail: kvaternuk@vntu.edu.ua. ORCID: 0000-0003-1296-8249

Mandebura Sviatoslav Vasylovych – Post-Graduate Student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies of Vinnitsia National Technical University, Teacher of the Department of Chemistry, Ecology and Methods of their teaching of Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, e-mail: eko14b.mandebura@gmail.com.

Latusha Dmytro Ruslanovych – Post-Graduate Student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, e-mail: dima.latusha27@gmail.com.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ, МАТЕРІАЛИ І КОНСТРУКЦІЇ В БУДІВНИЦТВІ

№ 1, 2023 (34)

Свідоцтво Міністерства юстиції України
Серія КВ № 22436-12336 Р

Підписано до друку 31.07.2023 р. Формат 29,7×42 ½,
гарнітура Times New Roman.
Папір офсетний. Друк різнографічний. Умовн. друк. арк. 22,8
Тираж 50 прим. Зам. № 2023- 022

Віддруковано в редакційно-видавничому відділі
Вінницького національного технічного університету.

Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.01.2001 р.

21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ, головний корпус, к. 114

Адреса редакції:
Україна, 21021, м. Вінниця,
вул. Воїнів інтернаціоналістів, 7
ВНТУ, к. 3237

Тел.: 0 (432) 46-52-04
Факс: 0 (432) 46-57-72
E-mail: vitalshv@i.ua
<http://stmkvb.vntu.edu.ua/>
