

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Сучасні технології  
та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 15

Луцьк – 2021

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

Призначений для науковців, фахівців проектних установ і виробничих підприємств, докторантів, аспірантів, студентів закладів вищої освіти.

**Редакційна колегія:**

Головний редактор – **Шваб'юк В.І.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ)  
Заступник редактора – **Пастернак Я.М.**, д.ф.-м.н., професор (Луцький НТУ)  
Відповідальний секретар – **Ротко С.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ)

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

Зареєстрований Державною реєстраційною службою України (свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 20340-10140Р від 31.05.2013).

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

Матеріали збірника рекомендовані до друку на засіданні Вченої ради Луцького НТУ (протокол № 11 від 27 травня 2021 р.).

**Адреса редакції:** 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, Луцький НТУ, кафедра будівництва та цивільної інженерії, e-mail: Zbirnukfbd@gmail.com,  
<http://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction>, телефон (0332) 26-24-60

**ЗАКОНОДАВЧЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ  
ТЕРИТОРІАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ В УКРАЇНІ**

**LEGISLATIVE SUPPORT OF THE URBAN PLANNING SYSTEM IN  
UKRAINE**

**Вишневський Д.С. магістр, Харківський національний  
університет міського господарства імені О.М. Бекетова**

*Стаття присвячена актуальним питанням розвитку містобудівних систем. Територіальне планування є основою розвитку містобудівних систем, адже визначає перспективи соціально-економічного, культурно-побутового, екологічного та інших процесів життєдіяльності населення території.*

*The article is devoted to topical issues of urban development systems. Spatial planning is the basis for the development of urban systems, because it determines the prospects of socio-economic, cultural, environmental and other life processes of the population of the territories. Urban systems are a complex multifactorial concept that requires systemic regulation. Regulatory activity, first of all, belongs to the priorities of authorities at different levels, so the basics of regulating activities in the system of spatial planning are reduced to national legislation. One of the tasks identified in the study was to analyze the organizational component of the urban planning regulation system. in accordance with the analysis, the central executive bodies that directly have the authority to regulate spatial planning under current legislation of Ukraine have been identified. Territorial planning regulatory processes belong to the competence of the Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine. This ministry is carrying out transformation processes regarding the transition from centralized territorial development to decentralization. Decentralization reform, which has been implemented in Ukraine since 2014, has broad prospects, as evidenced by the experience of leading European countries. The article presents an analysis of the regulatory framework for the decentralization of power in terms of territorial development. The transformations in the systems of urban planning and territorial planning related to the reform of decentralization of power are analyzed separately. The article systematizes the national regulatory framework for spatial planning. The expediency of introducing at the constitutional level the concept of "territorial community" as a new form of administrative system with the corresponding transformation of urban systems of newly formed communities is determined. The influence of the norms introduced into the State Standards of Ukraine on urban planning and territorial planning in the framework of socio-economic transformations aimed at ensuring the further development of territories and the urban planning system in Ukraine is determined.*

*Ключові слова: територіальне планування, кадастр, містобудівні системи, законодавче забезпечення містобудування.*

*Key words: spatial planning, cadastre, urban planning systems, legislative support of urban planning*

В умовах трансформаційних процесів національної системи регулювання територіального розвитку важливим аспектом є аналіз та впровадження кращого світового досвіду територіального планування з урахуванням національних особливостей територіального устрою. Планування територій є складним багатофакторним процесом, що включає ряд елементів, пов'язаних із регулюванням використання територій. Основи регуляторної діяльності закладені у нормативно-правових базах країн, що будують систему територіального планування. Отже, питання законодавчого забезпечення процесів територіального планування є актуальним та базовим для проведення аналізу процесів планування та подальшого забезпечення розвитку територій.

Враховуючи актуальність питання нормативно-правового забезпечення процесів територіального планування, його розробкою займалися багато вітчизняних та зарубіжних науковців. Зокрема, А. І. Ріпенко, О. Ю. Бобровська, В. В. Лисенко, С. Щеглюк присвятили свої наукові дослідження питанням законодавчого забезпечення містобудівної діяльності. Проте, в умовах процесів децентралізації та трансформацій національної системи регулювання відповідно до європейських стандартів, процесів цифровізації управління територіями доцільно розглянути інноваційні підходи до побудови системи територіального планування з метою забезпечення сталого розвитку регіонів.

Отже, метою дослідження є акумулювання нормативно-правового базису регулювання системи територіального планування з метою визначення перспектив її доопрацювання та розвитку.

Відповідно до поставленої мети у дослідженні вирішуються наступні завдання:

- провести аналіз організаційної складової системи регулювання містобудівної діяльності,
- систематизувати національний нормативно-правовий базис територіального планування,
- проаналізувати систему нормативно-правового забезпечення територіального планування з урахуванням реформи децентралізації в Україні.

Процеси планування територій є одним із ключових завдань органів влади різних рівнів. Регіональний розвиток є основою розвитку держави. Як свідчить практика провідних європейських країн, розширення повноважень місцевих територіальних органів влади має ряд переваг [1-4]:

- проблеми місцевого розвитку краще зрозуміти, проживаючи на певній території, а не зводити їх до центру, щоб потім розподіляти фінансування для вирішення цих проблем,

- звуження меж територій для управління підвищує його якість, адже забезпечує більшу увагу до кожної адміністративно-територіальної одиниці, незважаючи на її віддаленість від центру,

- локальне управління є більш прозорим та менше схильне до корупції, адже громадськість може наглядно перевірити та проконтролювати хід реалізації управлінських завдань та якість їх виконання на кожній окремій території.

В Україні в умовах децентралізаційних процесів основна роль центрального органу влади щодо регулювання територіального розвитку належить Міністерству розвитку громад та територій України. Міністерство було перейменоване із Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Зміна назви чітко вказує на зміну вектору регіональної політики – від регулювання галузей будівництва та забезпечення населення житлово-комунальними послугами у ієрархії «згори до територій» - до передачі повноважень щодо забезпечення розвитку територій безпосередньо самим громадам [5].

У 2014 році в Україні розпочалася реформа децентралізації влади, яка згодом була визнана Європейським Союзом як найбільш ефективна реформа у період трансформаційних перетворень національного законодавства до стандартів ЄС. У квітні 2014 року було схвалено «Концепцію реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні», яка визначила базові принципи децентралізації – передачу ряду управлінських повноважень від центральних органів влади до громад шляхом проведення добровільного об'єднання територій, що межують одна з одною та мають соціально-економічні зв'язки. Метою децентралізації стала активізація громадянського активізму населення громад для забезпечення розвитку територій, який до цього гальмувався низьким рівнем матеріально-технічної бази, фінансового забезпечення та занадто подрібненого адміністративного поділу [5].

Крім зростаючої ролі громади, реформа децентралізації передбачала суттєві зміни у системі містобудівного планування. Суттєвою проблемою розвитку територій до 2014 року був дисбаланс соціально-економічного забезпечення сільського та міського населення. Цей дисбаланс створював проблеми територіального розвитку та соціально-економічної нерівності у суспільстві. Передача повноважень та фінансування від центральних до місцевих органів влади передбачала розвиток основних містобудівних процесів:

- забезпечення економічного підґрунтя розвитку територій;
- підвищення соціальних гарантій проживання населення;
- реалізація культурно-побутових потреб населення;
- оцінка потенціалу земель та природних ресурсів з метою визначення вектору розвитку територій.

Отже, формування децентралізаційних процесів має на меті забезпечення ефективної реалізації наступного кола функцій містобудівних систем – рис. 1.



Рис. 1. Функції містобудівних систем [6]

Розвиток процесів децентралізації був закріплений на законодавчому рівні шляхом ухвалення Закону України «Про добровільне об'єднання територіальних громад» [7]. Для забезпечення повноцінної реалізації функцій містобудування у системі децентралізації необхідно було внести зміни до Конституції України, що було відображено у Проекті змін до Конституції України, зокрема:

- зміни питань утворення виконавчих органів обласних та районних рад;
- реорганізації системи місцевої влади шляхом ліквідації державних адміністрацій;
- введення поняття територіальної громади на Конституційному рівні.

Дані зміни були підтримані Венеційською комісією, проте не пройшли процедуру голосування у Верховній Раді. Відповідно питання управління територіями на сьогодні підпорядковуються лише Законом України та Кодексам, а Конституція України не відображає практичні трансформації територіального розвитку.

У 2015 році були внесені зміни до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» та затверджено Положення «Про містобудівний кадастр». Ці нормативні документи визначили зміни у системі територіального планування щодо раціоналізації містобудівної документації, в першу чергу схем планування територій [8]. Було розроблено та затверджено на законодавчому рівні «перелік класів об'єктів містобудівного кадастру» [8].

Зміни, внесені у 2015 році у нормативно-правове забезпечення територіального планування, визначили наступні переваги:

- цілісність системи містобудівного кадастру;
- спрощення процесів створення баз геопросторових даних;
- спрощення системи розробки містобудівної документації;
- цифровізація містобудівного документообігу;
- формування єдиної системи кодування баз даних містобудівного кадастру;
- спрощення (дерегуляція) процедур надання дозволів у сфері містобудівної діяльності (дозволи на будівництво, введення в експлуатацію тощо);
- удосконалення системи організації земельних відносин;
- спрощення процедур, що пов'язані із володінням та користуванням нерухомим майном та земельними ділянками як для фізичних осіб, так і для юридичних.

Відповідно до Наказу Міністерства розвитку громад та територій України (Мінрегіонбуду у 2015 році) України «Про склад та зміст містобудівної документації на державному та регіональному рівні» було удосконалено систему планування територій району, що передбачає виконання робіт у одну стадію на всій межі району [9]. Така зміна забезпечує комплексний підхід до планування територій. Важливим аспектом управління територіями є визначення адміністративних меж та розробка плану розвитку територій відповідно до визначення функціонального призначення земель, оцінки наявних ресурсів. У результаті розробки даних напрямів формуються генеральний план території, план розвитку території та стратегія розвитку території, які є дорожньою картою для подальших дій щодо соціально-економічного забезпечення населення.

У результаті трансформації національного законодавства відповідно до національного стандарту України ДСТУ-Н Б В.3.2-4:2016 «Настанова щодо виконання ремонтно-реставраційних робіт на пам'ятках архітектури та містобудування» [10] було внесено зміни та доповнення до Державних стандартів України щодо удосконалення системи територіального планування. Аналіз змін до ДСТУ зведений до табл. 1.

Таблиця 1

Зміни у ДСТУ щодо трансформації системи територіального планування

Назва стандарту	Будівельні та містобудівельні роботи	Наукове підґрунтя	Охоронні об'єкти	Інновації
ДСТУ-Н Б В.3.2-4:2016	спрощення системи дозвільної документації для проведення ремонтно-реставраційних робіт	науково-обґрунтовані вимоги до стандартів проведення робіт	охорона об'єктів (пам'яток) архітектури та містобудування	інноваційні технології у будівельних матеріалах та будівельних процесах
ДСТУ Б Б.2.2-10:2016		розробка науково-проектної документації	визначення меж і режимів використання зон охорони пам'яток архітектури та містобудування	
ДСТУ Б Б.2.2-10:2016	розробка генеральних планів		раціоналізація використання історичних територій	інвестиційно-інноваційна діяльність
ДСТУ Б Б.2.2-10:2016		регулювання антропогенних та техногенних навантажень на об'єкти культурної спадщини	збереження архітектурної, містобудівної спадщини	

Отже, проаналізувавши зміни до системи ДСТУ щодо містобудівної діяльності, визначено, що у рамках процесів децентралізації було виконано:

- спрощення системи дозвільної документації для будівництва та містобудування;
- спрощення системи розробки та затвердження генеральних планів;
- розробка наукового обґрунтування питань розвитку містобудівних об'єктів;
- розробка алгоритмів збереження історичних територій та об'єктів архітектурної спадщини;
- впровадження інноваційних містобудівельних технологій.



За результатами проведеного дослідження можна зробити наступні висновки. Система територіального планування має важливе соціально-економічне значення для розвитку країни. Збалансований сталий розвиток територій є основою комфортного проживання населення. Європейський досвід свідчить про велику роль децентралізаційних процесів, в тому числі у систем містобудівного розвитку. Основою формування містобудівної системи є нормативно-правова база щодо регулювання територіального планування. У статті проведено аналіз нормативно-правового забезпечення містобудівних процесів з урахуванням специфіки децентралізаційних трансформацій.

## **Refences**

1. Ripenko A. I. *Konceptualno-pravovi zasady vikoristannya zemel dlya mistobudivnih potreb* : avtoref. dis. ... d-ra yurid. nauk : 12.00.06 / A. I. Ripenko ; National univrsity "Odeska yuridichna akademiya". – Odesa, 2020. – 39 p.
2. *Stalij rozvitok teritorij: problemi ta shlyahi virishennya* : materialy VIII mizhnar. nauk.-prakt. konf., 20.10.2017, Dnipro / edited by O. Yu. Bobrovska. D. : DRIDU NADU, 2017, 272 p.
3. Lisenko V. V. *Osnovni napryamki normativno-pravovogo zabezpechennya mistobudivnoyi diyalnosti*. *Dynamika naukovykh badan* : materialy 205 XIV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji (07–15 lipca 2018 r.). *Przemysl : Nauka i studia*, 2018. Vol. 5. P. 33–35.
4. Sheglyuk C. *Prostorove planuvannya obyednanih teritorialnih gromad v umovah drugogo etapu decentralizaciyi* / Institut regionalnih doslidzhen im. M. I. Dolishnogo. 2019. URL: <http://ird.gov.ua/irdp/e20190302.pdf>
5. *Koncepciya reformuvannya miscevoغو samovryaduvannya ta teritorialnoyi organizaciyi vladi v Ukraini*. Digital source. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/333-2014-%D1%80#Text>
6. Official website of Ministerstvo rozvitku gromad ta teritorij Ukraini. *Golovna storinka*. Digital source. – URL: <https://www.minregion.gov.ua>
7. Law of Ukraine «Pro dobrovilne ob'yednannya teritorialnih gromad». *Vidomosti Verhovnoyi Radi (VVR)*, 2015, № 13, st. 91. Digital source. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/157-19#Text>
8. Law of Ukraine «Pro Derzhavnij zemelnij kadastr». *Vidomosti Verhovnoyi Radi Ukraini (VVR)*, 2012, № 8, st.61 Digital source. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text>
9. Order of Ministerstvo rozvitku gromad ta teritorij Ukraini from 18.11.2015 № 294 «Pro sklad ta zmist mistobudivnoyi dokumentaciyi na derzhavnomu ta regionalnomu rivni» Digital source. – URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=6298](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=6298)

**Список використаних джерел**

1. Ріпенко А. І. Концептуально-правові засади використання земель для містобудівних потреб : автореф. дис. ... д-ра юрид. наук : 12.00.06 / А. І. Ріпенко ; Нац. ун.-т "Одеська юридична академія". – Одеса, 2020. – 39 с.
2. Сталий розвиток територій: проблеми та шляхи вирішення : матеріали VIII –ої міжнар. наук.-практ. конф., 20.10.2017 р., Дніпро / за заг. ред. О. Ю. Бобровської. Д. : ДРІДУ НАДУ, 2017, 272 с
3. Лисенко В. В. Основні напрямки нормативно-правового забезпечення містобудівної діяльності. *Dynamika naukowych badan : materialy 205 XIV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji (07–15 lipca 2018 r.). Przemysl: Nauka i studia*, 2018. Vol. 5. P. 33–35.
4. Щеглюк С. Просторове планування об'єднаних територіальних громад в умовах другого етапу децентралізації / Ін-т регіональних досліджень ім. М. І. Долишнього. 2019. URL: <http://ird.gov.ua/irdp/e20190302.pdf>
5. Концепція реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні Електронний ресурс. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/333-2014-%D1%80#Text>
6. Офіційний сайт Міністерству розвитку громад та територій України. Головна сторінка. Електронний ресурс. – URL: <https://www.minregion.gov.ua>
7. Закону України «Про добровільне об'єднання територіальних громад». Відомості Верховної Ради (ВВР), 2015, № 13, ст.91. Електронний ресурс. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/157-19#Text>
8. Закон України «Про Державний земельний кадастр». Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2012, № 8, ст.61 Електронний ресурс. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3613-17#Text>
9. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 18.11.2015 № 294 «Про склад та зміст містобудівної документації на державному та регіональному рівні» Електронний ресурс. – URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=6298](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=6298)

**ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ  
ДОБАВОК НА БІОВОДОСТІЙКІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ**

**PHYSICO-CHEMICAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF  
ADDITIVES ON THE BIODIVERSITY OF STRUCTURES**

**Драпалюк М.В., к.т.н., доц. (Одеська державна академія  
будівництва та архітектури)**

**Drapaluk M.V., PhD in Engineering, associate professor (Odessa  
Academy of Civil Engineering and Architecture)**

*У статті доведено, що біопшкодження бетону каналізаційних колекторів пов'язане з діяльністю мікроорганізмів (бактерій). З'ясовано, що біостійкість бетону може бути забезпечена двома способами: запобіганням поверхневого тріщиноутворення; створенням «біоімунітету» бетону до життєдіяльності мікроорганізмів. У статті представлені результати дослідження пористості модифікованої цементної матриці. Встановлено, що в новоутвореннях модифікованої цементної матриці бетону зміст вільного гідроксиду кальцію не перевищує 5%, що є необхідною умовою для отримання матеріалу, стійкого до корозії.*

*The article proves that the biodamage of concrete to sewer collectors is due to the activity of microorganisms (bacteria). As a rule, biological production of concrete is equipped with injected products in the metabolism of microorganisms and less in small types of non-average mechanical injections of biological organisms. Bacteriodestruction is caused by representatives of almost all groups of microorganisms. The nature of the damage is determined by the operating conditions in which the concrete works. It was found that the biostability of concrete can be ensured by two complex methods: prevention of surface cracking; creating "bioimmunity" of concrete to the activity of microorganisms. The concrete of the exploited canalizing collectors is fed to the inflows of aggressive middlings. When preparing concrete pipes of a special designation, it is especially important to reduce the penetration of the surface ball to concrete. Adjustment of the exploitation characteristics of concrete can be done by adding cement systems and active components to the warehouse, chemically changing the cement with minerals. When interconnecting a complex modifier with cement pieces, the structure and power of the modifier is aware of the difference. The statistic presents the results of the advanced porosity of the modified cement matrix. It has been established that in the newly approved modified cement matrix concrete does not change 5% with calcium hydroxide, but it is necessary to wash away the corrosion-resistant material. As a result of the analysis of modern technologies, it was established that the physical modification can be seen by the way of the winter water and the reduction of the potential power of the cement for the improvement of power, concrete and waterproofness. in the process of damaging the sum.*

*Ключові слова: бетон, біопшкодження, біостійкість, тріщиноутворення, стійкість до корозії, міцність, ушільнення.*

*Keywords: concrete, biodamage, biostability, crack formation, resistance to corrosion, performance, improvement.*

Бетон каналізаційних колекторів піддається впливам різних агресивних середовищ. Найбільш складні експлуатаційні умови роботи бетону - зона змінного рівня стоків. Тут поверхня бетонних елементів періодично зволожується та висушується, на ній заселяються колонії мікроорганізмів. Їх комплексний біологічний та водний вплив на бетон часто призводить до швидкого руйнування елементів колекторів.

Як показали натурні спостереження, при розкритті мікротріщин бетону від розклинюючої дії води відбувається інтенсивний розвиток біофлори. Найбільша інтенсивність мікрофлори спостерігається в гирлах мікротріщини. На зовнішній висохлій бетонній поверхні в тріщинах зберігається вологе середовище та особливі умови біологічного розвитку різних організмів. Комплексний вплив біологічних та гігromетричних чинників призводить до інтенсивного руйнування бетону. Сітка тріщин в певних умовах зростає безперервно, досягаючи іноді 10 ... 20 см / добу. Характерно, що розвиток тріщиноутворення відбувається не тільки по поверхні, але й у глибину. Розтріскування захисного шару бетону товщиною 3 ... 5 см може відбуватися в місячний термін. Далі починає розвиватися корозія бетону, що посилює процес його руйнування.

Викладене призводить до висновку, що бетон для каналізаційних колекторів повинен володіти необхідною біологічно стійкою структурою. Певна біоводостійкість бетону повинна бути забезпечена в зоні позмінного зволоження та висихання. При цьому повинні дотримуватися як мінімум дві умови: поверхнева тріщиностійкість та біологічний опір матеріалу. Ідеальним було б отримати абсолютно тріщиностійкий бетон із бактерицидно-активною поверхнею до водної біофлори.

Слід зазначити, що рішення цієї проблеми, складної для звичайних бетонів, значно ускладнюється при використанні рухомих бетонних сумішей, які застосовуються для виготовлення трубчастих виробів за традиційною технологією. Збільшена витрата води замішування зазвичай призводить до розвитку капілярної пористості, а, отже, розвитку біокорозії та утворення тріщин.

У технічній літературі практично не приділялася увага біоводостійкості бетону. Тому рішення такої проблеми є важливим завданням для сучасного будівництва. Як показали дослідження, вирішення цієї проблеми може бути отримано шляхом застосування спеціальних добавок до бетону. Такі добавки повинні мати поліфункціональну дію на бетонну суміш та бетон.

Для забезпечення рухливості бетонної суміші добавка повинна мати властивості, які були б схожі з сучасними суперпластифікаторами. З іншого боку, добавка повинна модифікувати структуру бетону в бік підвищення його щільності та бактеріцидності до водної мікрофлори. І проблема захисту від біопшкоджень до теперішнього часу не вирішена.

Дослідженнями встановлено, що більше 50% загального обсягу біопшкоджень бетону каналізаційних колекторів пов'язано з діяльністю мікроорганізмів (бактерій). Бактеріодеструкції викликаються представниками майже всіх груп мікроорганізмів. Характер викликаних пошкоджень визначається експлуатаційними умовами, в яких працює бетон. При періодичному зволоженні та висушуванні бактеріальні процеси доповнюються розвитком грибів [1].

Біопшкодженнями, як комплексною проблемою, займалось багато фахівців. Так, роботи Е.П. Александряна, Р.А. Андріанова, Ю.М. Баженова, В.С. Басина, А.А. Берліна, С.С. Давидова, Е.М. Єлшин, Ф.М. Іванова, Л.А. Игонина, В.В. Козлова, Х.Ф. Чи, Ю.С. Ліпатова, В.А. Лисенко, В.Г. Микульського, І.А. Мощанського, Д. Менсона, С. Ньюмена, А. Пакена, В.В. Патуроева, А.П. Петрової, І.Є. Путляева, А.Н. Пшинько, І.А. Рибьева, В.І. Соломатова, Л. Сперлінга, О.Л. Фіговського, А.С. Фрейдіна, В.М. Хрулева, К.І. Черняка внесли великий вклад в розробку і розвиток теорії створення матеріалів на основі полімерних сполучників, а також способів їх модифікації. Розроблено велику кількість полімерних матеріалів на основі фуранових, фенольних, карбамідних, поліефірних, епоксидних, поліуретанових смол, поліамідів, поліакрилатів та інших органічних сполук. Але методи захисту бетону споруд спеціального призначення від біопшкоджень не досконали.

Як правило, біологічні пошкодження бетону зумовлені впливом продуктів метаболізму мікроорганізмів та лише в рідкісних випадках – безпосереднім механічним впливом біоорганізмів. При утворенні тріщин в них заселяються мікроорганізми, які виділяють агресивні компоненти в тіло бетону. В результаті деструктивних процесів відбувається руйнування цементного каменю та бетону в цілому. Отже, біостійкість бетону може бути забезпечена двома комплексно діючими способами: запобіганням поверхневого тріщиноутворення; створенням «біоімунітету» бетону до життєдіяльності мікроорганізмів.

Довговічність бетону труб каналізаційних колекторів залежить від великої кількості факторів, основними з яких є: умови експлуатації, вид і склад бетону, а також ступінь агресивності ґрунтових вод. Руйнування цементної матриці та бетону в цілому в сульфатних середовищах супроводжується утворенням кристалів двоводного гіпсу та гідросульфатомінералів кальцію. Утворення кристалів цих мінералів в тілі цементного каменю та бетону розглядається як причина сульфатної корозії [1]. Таке твердження на даний час є переважачим, але не єдиним.

Кристалізація гіпсу та гідросульфатомінералу кальцію (ГСАК) викликає руйнування цементної матриці бетону, так як утворення цих кристалів призводить до значного збільшення обсягу твердої фази. На думку [2], вже сама ця обставина є достатньою для пояснення руйнування цементної матриці бетону. Довговічність споруд спеціального призначення багато в чому визначається цілісністю його структури, яка зберігається та функціонує до певного рівня впливу різних факторів зовнішнього середовища, що не перевищує деякого критичного значення.

Як показують результати обстежень каналізаційних колекторів [3,4], в більшості випадків (близько 70%) виявлені конструкції з порушеною суцільністю бетону, у вигляді тріщин різного типу. У залізобетонних елементах таких споруд, кількість конструкцій з порушеною цілісністю ще більша, тут практично відсутні елементи, в яких не було б тріщин. Слід також зазначити, що закладення тріщин в конструкціях споруд, що експлуатуються у вологому середовищі, не відновлює суцільності бетону, тому з часом спостерігається накопичення та розвиток ушкоджень [5].

Підвищити експлуатаційні характеристики бетону можливо за рахунок введення до складу цементної системи активних компонентів, які хімічно взаємодіють з мінералами цементу. При взаємодії комплексного модифікатора (діетиленглікольаеросилату та латексу) з цементними частками, структура та властивості модифікатора зазнають якісних змін. Чим значнішими будуть ці зміни, тим меншими будуть плівки модифікатора на поверхні або між поверхнями зерен цементу та аеросилу та інтенсивними силами поліаризації.

При взаємодії молекул модифікатора з частинками цементу їх поверхня покривається тонким шаром полімеру, який утримується адсорбційними силами. Джерелом цих сил є некомпенсовані зв'язки на поверхні цементу або в міжфазному шарі.

У процесі твердіння модифікованої цементної матриці бетону відбувається зміна морфології продуктів гідратації. В процесі триваючої гідратації зерен цементу збільшується обсяг кристалогідратів внаслідок хімічної взаємодії вільного вапна з аеросилом, який супроводжується утворенням додаткової кількості гідросилікатів кальцію. У зв'язку з цим поступово зменшується обсяг капілярно-пористого простору, який оцінюється пористістю та проникністю, та формується цементною матрицею.

У зразках звичайного цементного каменю бетону значний обсяг макропір радіусами  $10^{-6}$  ...  $10^{-5}$  м та перехідних пор радіусами  $10^{-8}$  ...  $10^{-7}$  м, які теоретично проникні для води, тобто служать шляхами фільтрації при експлуатації споруд у вологих умовах. При введенні латексу до складу бетонної суміші максимум пористості цементної матриці доводиться на пори радіусом  $7 \times 10^{-8}$  м, а при модифікуванні ДЕГА -  $2 \times 10^{-8}$  м.

Експлуатація бетонних труб спеціального призначення здійснюється в умовах агресивного впливу навколишнього середовища. Для визначення впливу різних агресивних середовищ на бетон проведені дослідження поведінки зразків-балочок розмірами  $4 \times 4 \times 16$  см при витримці у воді та розчині з концентрацією сульфатів 10 г /л. Зразки формувалися в один шар.

Як випливає з результатів досліджень, в модифікованій цементній матриці бетону з часом зростає кількість низькоосновних гідросилікатних фаз, спостерігається перекристалізація гідрогранатів в низькоосновні гідросилікати кальцію. У новоутвореннях модифікованої цементної матриці бетону вміст вільного гідроксиду кальцію не перевищує 5%, що є необхідною умовою для отримання матеріалу стійкого до корозії.

При проведенні досліджень стійкості бетонних зразків у сульфатному середовищі з концентрацією  $\text{SO}_4^{2-} \times 10$  г/л контролювалась міцність зразків різної тривалості витримування в агресивному середовищі, а також вміст у них сульфатів. З урахуванням того, що поверхневий шар бетону піддається дії згинальних та розтягувальних напружень, поряд з міцністю на стиск досліджено зміну міцності при згині зразків в умовах впливу агресивних середовищ.

Встановлено, що для підвищення ефективності ущільнення вібро-ударноімпульсним пресуванням необхідно, щоб цементне тісто було середовищем, в якому розташовувалися б зерна великого та дрібного заповнювачів. При повній герметичності опалубної форми суміш ущільнюється тільки за рахунок деякого зменшення обсягу залученого повітря, тобто ефект вібро-ударноімпульсного пресування буде незначним.

Цей ефект буде збільшуватися зі збільшенням водопроникної здатності стінок форми, так як при наявності фільтраційних отворів вільна вода під дією різниці напору всередині форми та за її межами почне переміщуватись в бік фільтраційних отворів. Отже, в процесі видалення надлишкової води та залученого повітря частинки цементу почнуть зближуватися між собою, що, в свою чергу, призведе до зближення зерен крупного та дрібного заповнювачів. Нормальний тиск, що передається на воду і викликає її видалення, сприятиме зближенню частинок до тих пір, поки зовнішній тиск повністю сприйметься дисперсною фазою.

Відповідно до викладеного, ефективність ущільнення бетонної суміші вібро-ударноімпульсним пресуванням залежить від її складу, від фільтраційної здатності стінок опалубних форм, усередині яких здійснюється ущільнення, а також рівня та режиму граничного ущільнення.

В результаті аналізу сучасних технологій встановлено, що фізична модифікація можлива шляхом видалення зайвої води замішування, що додається в бетонну суміш для надання їй необхідної плинності та легкоукладальності. Видалення вільної води в процесі ущільнення суміші

збільшує використання потенційних властивостей цементу для підвищення щільності, водонепроникності та міцності бетону.

Бетон вібро-ударноімпульсного ущільнення відрізняється певною спрямованістю частинок дрібного заповнювача. Під дією імпульсного тиску відбувається спрямоване розташування зерен заповнювачів у паралельному напрямку. Частинки заповнювача, таким чином, розташовуються по лініях дії головних нормальних напружень. Отже, проявляються армуючі властивості заповнювача.

Висока міцність бетону в результаті вібро-ударноімпульсного ущільнення пояснюється також особливими умовами його структуроутворення, що добре підтверджується даними електронно-мікроскопічного аналізу.

На відміну від звичайного бетону, кількість пор в бетоні вібро-ударноімпульсного ущільнення мала. Структура даного бетону відрізняється граничною упаковкою.

Висновки:

1. Підвищити експлуатаційні характеристики бетону можливо за рахунок введення до складу цементної системи активних компонентів, що хімічно взаємодіють з мінералами цементу. При взаємодії комплексного модифікатора з цементними частками структура та властивості модифікатора зазнають якісні зміни.

2. Встановлено, що міцність модифікованої цементної матриці бетону збільшується при введенні латексу в процес синтезу діетиленгліколяеросіла, внаслідок чого, полімерні частинки латексу своїми функціональними групами взаємодіють з поверхневими органогрупами високодисперсного кримнезему, підвищуючи активність клінкерних силікатних мінералів та гідросилікатних новоутворень.

3. При фізичній модифікації та граничному ущільненню бетонної суміші з використанням вібро, зсувного та ударноімпульсного ущільнення процес структуроутворення призводить до зміни морфології гідратованого в'язучого в порівнянні зі звичайним віброваним бетоном.

4. В ході фізико-хімічних досліджень встановлені ізотропні властивості цементної матриці від поверхні заповнювача до центральних зернових прошарків, які в свою чергу зумовлюють високу міцність бетону, модифікованого вібро-ударноімпульсним способом ущільнення.

5. В результаті аналізу сучасних технологій встановлено, що фізична модифікація можлива шляхом видалення зайвої води замішування, що збільшує використання потенційних властивостей цементу для підвищення щільності, водонепроникності і міцності бетону в процесі ущільнення суміші. Також встановлено, що в новоутвореннях модифікованої цементної матриці бетону зміст вільного гідроксиду



кальцію не перевищує 5%, що є необхідною умовою для отримання матеріалу, стійкого до корозії.

### **References**

1. Sontige C.D., Hilsdorf H. Fracture Mechanism of Concrete Under Compressive Loads // Cem. and Concr. Res. / Sontige C.D., Hilsdorf H. – 1993. – V.3. – N4. – P. 363-388.
2. Glücklich J. the Strength of Concrete as a Composite Material / Glücklich J. // Mech. Beh. / Mater. Pros. Int. Conf. Mech. Behav. Mater. – Kyoto.– 1981. - Vol. 4. – P. 104-112.
3. Shah S.P., Griffith Fracture Criterion and Concrete // J. Eng. Mech. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. / Shah S.P., McGarry F.J. – 1991. – V. 97. – N 6. – P. 1663-1670.
4. Popovics S. Fracture Mechanism in Concrete: How Much Do We Know?//J. Eng. Mech. Div. Proc. Amer. Soc. Eng. / Popovics S. – 1989. – V. 95. – N3. – P. 531-544.
5. Drapaluk M.V. Doslidzenia resursosberigauchoy technologii modufikovanogo betonu s dempfuichumi komponentamu. Novi tehnologii v budivnuctvi. K.№30, 2016. P.50-53.

### **Список використаної літератури**

1. Sontige C.D., Hilsdorf H. Fracture Mechanism of Concrete Under Compressive Loads // Cem. and Concr. Res. / Sontige C.D., Hilsdorf H. – 1993. – V.3. – N4. – P. 363-388.
2. Glücklich J. the Strength of Concrete as a Composite Material / Glücklich J. // Mech. Beh. / Mater. Pros. Int. Conf. Mech. Behav. Mater. – Kyoto.– 1981. - Vol. 4. – P. 104-112.
3. Shah S.P., Griffith Fracture Criterion and Concrete // J. Eng. Mech. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. / Shah S.P., McGarry F.J. – 1991. – V. 97. – N 6. – P. 1663-1670.
4. Popovics S. Fracture Mechanism in Concrete: How Much Do We Know?//J. Eng. Mech. Div. Proc. Amer. Soc. Eng. / Popovics S. – 1989. – V. 95. – N3. – P. 531-544.
5. Драпалюк М.В. Дослідження ресурсозберігаючої технології модифікованого бетону з димпфуючими компонентами. Нові технології в будівництві. Київ. № 30, 2016. С. 50–53.

**БРАХУВАННЯ ВПЛИВУ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ МІЦНОСТІ НА  
МОРОЗОСТІЙКІСТЬ ПРИ РОЗРАХУНКУ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ**

**CONSIDERING THE INFLUENCE SAFETY FACTOR FOR FROST  
RESISTANCE WHEN CALCULATING PAVEMENT**

**Гльїн Я.В., к.т.н., м.н.с. (Харківський національний автомобільно-дорожний університет, м. Харків)**

**Ilyin Ia.V., PhD, Junior Researcher (Kharkiv national automobile and highway university, Kharkiv)**

*Встановлені в процесі досліджень закономірності показують, що коефіцієнти морозостійкості асфальтобетонів різною мірою знижуються під впливом циклічних заморожувань-відтавань. Дана робота дозволяє рекомендувати використання додаткових коефіцієнтів запасу морозостійкості при проектуванні нових автомобільних доріг з шарами нежорсткого дорожнього одягу. Для визначення необхідного показника запасу морозостійкості розглянуто дорожню конструкцію з ВБН В.2.3-218-186-2004 «Дорожній одяг нежорсткого типу». З цієї конструкції взято модулі пружності асфальтобетонів верхніх шарів та розраховано зміну коефіцієнтів запасу міцності з урахуванням зміни модулів під дією циклічних заморожувань-відтавань.*

*The regularities established in the course of researches show that coefficients of frost resistance of asphalt concretes to various extent decrease under the influence of cyclic freezes-thaws. This work allows us to recommend the use of additional coefficients of frost resistance in the design of new roads with layers of non-rigid pavement.*

*Under experimental conditions, the road surface is exposed to cyclic freezing and thawing (FTC). Today, the topic of asphalt concrete FTC is relevant. Many scientists in different countries are dealing with this problem.*

*According to the literature, the layer of asphalt concrete can lose 40 - 80% of the load-bearing capacity. This property is associated with a decrease in the modulus of elasticity of the layer over time. In order to prevent a critical effect of the layer on the load-bearing capacity of pavement, you can use the various methods described in the article.*

*To determine the required index of frost resistance, the road structure with VBN B.2.3-218-186-2004 "Non-rigid road clothing" is considered. The modulus of elasticity of asphalt concrete of the upper layers is taken from this construction and the change of strength coefficients is calculated taking into account the change of modules under the action of cyclic freezing-thawing.*

*Technical and economic calculation shows that to compensate for the loss of load-bearing capacity of pavement from FTC it is advisable to use asphalt concrete on bitumen of high consistency and proved, based on the calculation of strength factors, that the use of modified bitumen is more effective than traditional bitumen. The article*

*considers the need to use an additional coefficient of frost resistance of asphalt concrete during the design of the road on the example of the road structure with VBN B.2.3-218-186-2004 "Non-rigid road clothing"*

*Ключові слова: асфальтобетон; асфальтополімербетон; коефіцієнт морозостійкості; коефіцієнт запасу міцності*

*Keywords: asphalt concrete; asphalt polymer concrete; frost-resistance coefficient; safety factor*

В експериментальних умовах дорожнє покриття піддається дії циклічного заморожування та відтавання (ЦЗВ). Вперше стандартизований метод визначення морозостійкості матеріалу був розроблений М.А. Белелюбським у 1886 році. Сьогодні тема ЦЗВ асфальтобетону є актуальною. Багато науковців у різних країнах займаються цією проблемою [1-3].

Згідно з літературними даними, втрата несучої здатності асфальтобетону через вплив природних факторів може досягати 40 – 80% від несучої здатності. Це відбувається через зниження модуля пружності шару в часі. Існує декілька способів попередження критичного впливу шару на несучу здатність всієї конструкції дорожнього одягу. Перший спосіб – це встановлення коефіцієнта запасу міцності дорожнього одягу за рахунок збільшення його товщини на стадії проектування, другий – використання асфальтобетонів із підвищеним модулем пружності. Використання другого способу, зазвичай, досягається шляхом використання більш в'язучих з меншою пенетрацією або асфальтополімербетонів.

Для визначення необхідного показника запасу морозостійкості розглянуто дорожню конструкцію, яка складається з п'яти шарів, два з яких – незв'язні (суглинок легкий, як основа та гравійно-піщана суміш, 48 см), а інші три – шари з асфальтобетонів (високопористий 10 см, пористий 6 см та щільний 6 см).

Для прийнятого в дослідженнях асфальтобетону типу Г у відповідності з [4] величина коефіцієнта запасу міцності конструкції дорожнього одягу прийнята рівною 1,33.

За даними, наведеними в таблиці 1, зменшення коефіцієнта морозостійкості ( $K_{МРЗ}$ ) до 0,8 та 0,6 відповідно, супроводжується зменшенням коефіцієнта запасу міцності для шарів одягів з асфальтобетону на всіх трьох бітумах однаково, відповідно, в 1,25 та 1,67 разів. Це відбивається на необхідній для забезпечення мінімального коефіцієнта запасу міцності товщині шарів. Для того, щоб забезпечити прийнятий рівень  $K_{МЦ}$  асфальтобетону, що не був підданий ЦЗВ, у випадку в'язучих БНД 100/150, БНД 70/100 та БМП 40/60-57, шари, за товщиною, можуть бути відповідно 5,4 см, 4,0 см та 2,5 см (таблиця 1).

Таблиця 1

Вихідні дані та результати розрахунку впливу ЦЗВ на конструктивні показники

Дані для різних асфальтобетонів за наведених $K_{MP3}$	Модуль пружності, МПа	Товщина шару, см, за $K_{MC} = 1,33$	$K_{MC}$ за пружним прогином	Значення $K_{MP3}$ , за якого досягається $K_{MC} = 1,33$
ВБН 70/ 100	3200	4,0	2,01	0,66
ВБН 70/100 $K_{MP3} = 0,8$	3560	5,0	1,61	-
ВБН 70/100 $K_{MP3} = 0,6$	1920	6,6	1,21	-
ВБН 100/ 150	2400	5,4	1,51	0,88
ВБН 100/ 150 $K_{MP3} = 0,8$	1920	6,6	2,21	-
ВБН 100/ 150 $K_{MP3} = 0,6$	1440	8,8	0,9	-
ВБН БМП	5000	2,5	3,14	0,43
ВБН БМП $K_{MP3} = 0,8$	4000	3,2	2,51	-
ВБН БМП $K_{MP3} = 0,6$	3000	4,2	1,88	-

Під дією ЦЗВ, модуль пружності шару з асфальтобетону може знизитись до 40 %. В такому випадку, забезпечення  $K_{MC}$  буде досягнуто за товщин шарів 8,8 см (у 1,63 рази більше), 6,6 см (у 1,65 рази) та 4,2 см (у 1,68 рази). Згідно з наведеними даними, найбільшої товщини повинні набути шари на бітумі низької в'язкості.

За таких умов шари не будуть зсувостійкими в жарку пору року. Найбільш стійкими взимку та влітку в таких саме умовах буде асфальтобетон на бітумі, модифікованому полімером. Також він буде найбільш тріщиностійким за низьких температур, оскільки його температура крихкості дорівнює мінус 21,0°C, БНД 70/100 = мінус 16,5°C. Збільшення вартості асфальтобетону за рахунок використання БМП буде компенсоване його меншою конструктивною товщиною.

За даними таблиці 1 побудовано графік залежності між морозостійкістю та коефіцієнтом запасу міцності ( $K_{MC}$ ) на асфальтобетонах з різними видами в'язучих, наведений на рис. 1. Зі зниженням  $K_{MP3}$ ,  $K_{MC}$  зменшується практично прямолінійно, хоча характер зміни (темп) різний.

Вихідні значення  $K_{MC}$  максимальні для асфальтополімербетону на БМП 40/60-57. Прийнятого критичного значення  $K_{MC}$  такий асфальтобетон досягає за  $K_{MP3}$ , рівним 0,43. Асфальтобетон на бітумі БНД 70/100 – за  $K_{MP3} = 0,66$ , а на бітумі БНД 100/150 – за  $K_{MP3} = 0,88$ . Таким чином,  $K_{MP3}$  за

критерієм  $K_{мц}$  відрізняється в 1,53 та 2,05 рази. Асфальтобетон на БМП 40/60-57 забезпечує критичне зниження  $K_{мц}$  навіть за умови зниження модуля пружності на 57%, на БНД 70/100 – на 34% та на БНД 100/150 – на 12%.

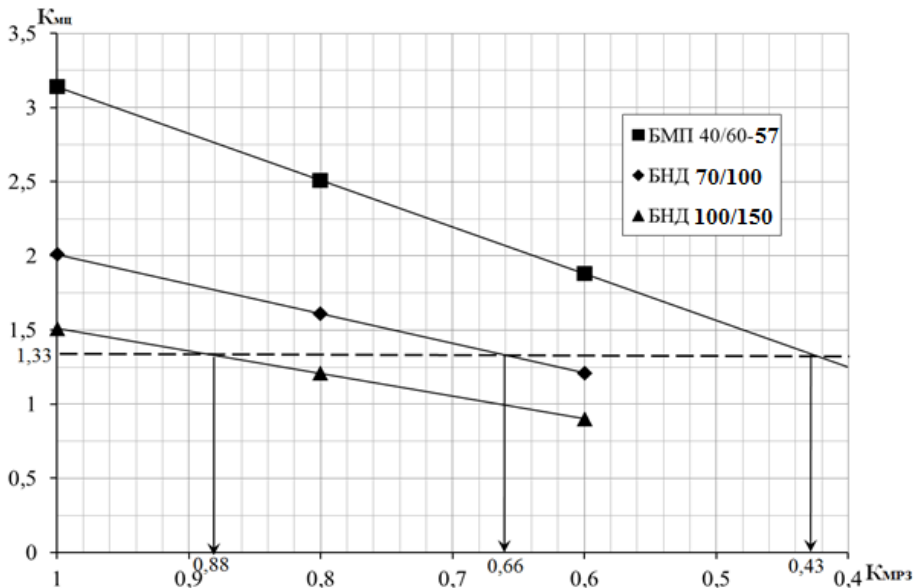


Рисунок 1. Залежність між морозостійкістю та  $K_{мц}$  на асфальтобетонах з різними видами в'язучих

Характерно, що інтенсивність зростання товщини шарів відрізняється залежно від консистенції бітумних в'язучих незначною мірою (рис. 2). При цьому, коли  $K_{мрз}$  асфальтополімербетону стає рівним 0,64, товщина шару дорівнює такій товщині, яка потрібна для забезпечення такого ж  $K_{мц}$  перед дією ЦЗВ (4 см). У свою чергу, асфальтобетон на бітумі БНД 70/100 за товщини 5,2 см (після втрати 22% модуля пружності) забезпечує той же рівень  $K_{мц}$ , що й асфальтобетон на бітумі БНД 100/150 до початку ЦЗВ.

Подібне зниження модуля пружності після ЦЗВ ( $K_{мрз} = 0,8$ ) досягається асфальтополімербетоном за товщини шару 3,2 см, асфальтобетону на БНД 70/100 – 5,2 см, асфальтобетону на БНД 100/150 – 6,6 см. При цьому для забезпечення більшої надійності в часі роботи асфальтобетону при зменшенні модуля пружності на 20% ( $K_{мрз} = 0,8$ ) необхідно збільшити товщину шарів на БМП 40/60-57 з 2,4 см до 3,2 см, на бітумі БНД 70/100 – з 4 см до 5 см, на бітумі БНД 100/150 – з 5,4 см до 6,5-7,0 см. В середньому, кожен шар у 1,25 рази більший за попередній.

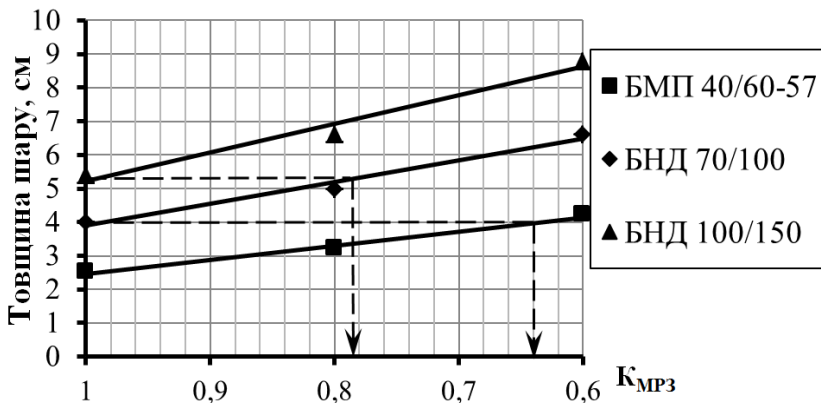


Рисунок 2. Мінімумально необхідні товщини верхнього шару асфальтобетону залежно від  $K_{МРЗ}$  для відповідності  $K_{МЦ} = 1,33$

За даними, наведеними в табл. 2, можна прийти до висновку, що використання асфальтополімербетону, не дивлячись на більшу вартість за 1 тону суміші, більш вигідне. Економічний ефект використання асфальтополімербетону на 1 км покриття порівняно з використанням асфальтобетонів на немодифікованих бітумах та загальна економічна ефективність наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Економічний ефект та економічна ефективність використання асфальтополімербетону в порівнянні з використанням асфальтобетонів на не модифікованих бітумах

Вид в'язучого в асфальтобетоні	Економічний ефект на 1 км шару асфальтобетону, тис. грн / Економічна ефективність, %		
	До ЦЗВ	Після ЦЗВ	
		При $K_{МРЗ} = 0,8$	При $K_{МРЗ} = 0,6$
БМП 40/60-57 у порівнянні з БНД 100/150	546,15 / 27,63	584,86 / 24,21	817,77 / 25,39
БМП 40/60-57 у порівнянні з БНД 70/100	252,25 / 14,99	272,39 / 12,95	373,29 / 13,44

Згідно з наведеними вище даними, було проведено економічні розрахунки щодо доцільності використання більш дорогих асфальтополімербетонних шарів у якості покриттів дорожнього одягу. Показники модулів пружності асфальтобетону внаслідок ЦЗВ краще компенсувати введенням коефіцієнту запасу на морозостійкість у межах  $1,2 \div 1,25$ .

За результатами техніко-економічного розрахунку, визначено, що для компенсації втрат несучої здатності дорожнього одягу від ЦЗВ доцільно використовувати асфальтобетони на бітумах підвищеної консистенції. За даними розрахунку коефіцієнтів запасу міцності зроблено висновок, що використання БМП більш ефективне, ніж використання традиційних бітумів. Тобто, за ступенем покращення морозостійкості, можна скласти таку схему від найменш доцільного до найбільш вигідного: асфальтобетон на бітумі з найменшою пенетрацією, зростання в'язкості в'язучого, асфальтополімербетон.

### **References**

1. Mária Trojanová, Martin Decký, Eva Remišová. The Implication of Climatic Changes to Asphalt Pavement Design. Procedia Engineering. Volume 111. 2015. P. 770-776 XXIV R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (24RSP) (TFoCE 2015)
2. Wei Si, Ning Li, Biao Ma, Junping Ren, Hainian Wang, Jian Hu Impact of freeze-thaw cycles on compressive characteristics of asphalt mixture in cold regions. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. 2015. Vol.30, Issue 4. p. 703–709
3. Mohab El-Haki, Susan Tighe. Impact of Freeze-Thaw Cycles on Mechanical Properties of Asphalt Mixes. Canada Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2014. Vol. 2444. pp. 20-27
4. VBN V.2.3-218-186-2004 «Dorozhnií odiah nezhorstkoho typu» approved by Ukravtodor from 15.10.2004 № 756 and act from 01.01.2005.

### **Список використаної літератури**

- 1.Mária Trojanová, Martin Decký, Eva Remišová. The Implication of Climatic Changes to Asphalt Pavement Design. Procedia Engineering. Volume 111. 2015. P. 770-776 XXIV R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (24RSP) (TFoCE 2015)
- 2.Wei Si, Ning Li, Biao Ma, Junping Ren, Hainian Wang, Jian Hu Impact of freeze-thaw cycles on compressive characteristics of asphalt mixture in cold regions. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. 2015. Vol.30, Issue 4. p. 703–709
- 3.Mohab El-Haki, Susan Tighe. Impact of Freeze-Thaw Cycles on Mechanical Properties of Asphalt Mixes. Canada Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2014. Vol. 2444. pp. 20-27
- 4.ВБН В.2.3-218-186-2004 «Дорожній одяг нежорсткого типу» затверджено наказом Укравтодору від 15 жовтня 2004 р. № 756 і надано чинності з 01 січня 2005 р.

**ВЕЛИКОПРОЛІТНІ ПРОСТОРОВІ КОНСТРУКТИВНІ СИСТЕМИ,  
ЗАПРОЕКТОВАНІ ЗА БІОНІЧНИМИ ПРИНЦИПАМИ**

**LARGE-SPAN SPATIAL STRUCTURAL SYSTEMS DESIGNED  
ACCORDING TO BIONIC PRINCIPLES**

**Коломійчук Г.П., к.т.н., доцент, Майстренко О.Ф., к.т.н., доцент,  
Коломійчук В.Г., аспірант, Коломійчук В.Г., студентка (Одеська  
державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса)**

**Kolomiychuk G.P., PhD., associate professor, Maistrenko O.F., PhD.,  
associate professor, Kolomiichuk V.G., postgraduate student, Kolomiichuk  
V.G., student (Odessa State Academy Civil Engineering and Architecture,  
Odessa)**

*Великопролітні просторові конструктивні системи найчастіше застосовуються в будівлях та спорудах, де одночасно перебуває велика кількість людей, тому їх проектування, зведення та експлуатація вимагає постійного вдосконалення. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є пошук надійних природних аналогів і їх використання в просторових конструктивних системах.*

*Large-span spatial structural systems are most often used in buildings and structures where a large number of people are at the same time, therefore, their design, construction and operation require constant improvement. One of the ways to solve this problem is the search for reliable natural analogs and their use in spatial structural systems. The search for reliable natural analogues and their use in spatial structural systems is one of the most urgent tasks nowadays. Currently, the development of new options for spatial coatings, which were not previously used, and there is no experience in their operation, is being developed at a high pace. Approbation by experimental studies on models is ignored, and only a numerical experiment is used. But the behavior of large-span spatial structures under load is non-linear and difficult to predict, so the use of natural analogs is a guarantee of reliable operation.*

*The article analyzes new research on the use of bionic principles in large-span buildings and structures. Based on the study of the structure of constructive analogues of living nature, the principle of resilience in constructive systems has been established. Due to the use of resilience in the structure, its bearing capacity is restored without increasing the mass. Based on the principle of resilience, transformed coating designs have been developed.*

*According to the principle of heterogeneous material placement in structural systems, the combination of the geometry of polygonal cells with layering and their strong walls provide compactness, high strength and rigidity to structures with minimal material consumption. The use of layers with different properties makes it possible to obtain a sandwich type structure with high strength, rigidity and relatively low weight.*

*The principle of tight packing allows you to get the maximum usable volume with a*



*minimum fence surface. In nature, it manifests itself in the optimization of biological forms in the case when the cells in the structure have constant geometric characteristics. So, bees building honeycombs form a dense pack of circles, which, under the action of capillary forces exceeding the pressure from the inside of the bee bodies, turn into the described hexagons. Splitting a plane into equal hexagonal elements has a minimum length.*

*The principle of the directional form of buckling makes it possible to avoid bifurcation of stable forms of equilibrium states in the design of structural systems, as well as to exclude the uncertainty of their further behavior under loads. Nature, creating constructive systems, deliberately tries to avoid possible transitions of initial deformations into other types, that is, excludes the loss of stability of the first kind.*

*According to the principle of the trajectory structure of structural systems, elements in the structures of living nature are placed in accordance with the geometry of the displacement field along the trajectories of principal stresses. The nature of the force field is determined by the type of external action and kinematic boundary conditions. Trajectory structures provide the required strength in relation to the given forces with an extremely limited amount of material. The orientation of the elements along the lines of force increases the strength and stiffness properties with a minimum amount of material used to create them.*

*Thus, large-span spatial structural systems designed using modern bionic principles are presented.*

*Ключові слова: великопротінні конструкції, інженерно-будівельна біоніка, природні аналоги будівель, біонічні принципи, конструктивні системи.*

*Keywords: large-span structures, engineering and construction bionics, natural analogs of buildings, bionic principles, structural systems.*

**Вступ.** Використання чисельних методів та ЕОМ дозволило розширити знання і розробку принципів впровадження в практику проектування будівель і споруд природних аналогів, особливо в архітектурі, де розглядаються питання формоутворення об'єктів і їх адаптація в навколишнє середовище. Однак, архітектурна біоніка потребує нових ефективних конструктивних систем з використанням природних аналогів, їх розрахунок, конструювання і впровадження в будівництво.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Пошук надійних природних аналогів і їх використання в просторових конструктивних системах – одна з найбільш актуальних задач сьогодення. В наш час великими темпами ведеться розробка нових варіантів просторових покриттів, які раніше не використовувалися, і немає досвіду в їх експлуатації. Апробація експериментальними дослідженнями на моделях ігнорується, а використовується лише чисельний експеримент.

В основному дослідження із цієї теми проводилися природознавцями та архітекторами [1 - 5]. Серед робіт, що вивчають конструктивні аналоги живої природи, слід відзначити [6 - 9].

На рис. 1,б наведено багатоцільовий міст в Сеулі довжиною 1080 м. Природним аналогом мосту послужила водомірка (рис. 1,а).



Рис. 1. *а* – водомірка на воді; *б* – проект багатоцільового мосту в Сеулі

Радіолярій налічується близько 6000 видів (рис. 2,*а*), можна сказати: вони являють собою таке розмаїття форм, що їх з надлишком вистачить на створення тисяч нових архітектурних шедеврів.

«Три Грації» - проект голландської студії NOX, який складається з трьох веж, з'єднаних мостом (рис. 2,*б*). Форма мосту з вежами запозичена у радіолярій. Три унікальні вежі мають практично однакову висоту та форму і створюють чудовий архітектурний ансамбль.

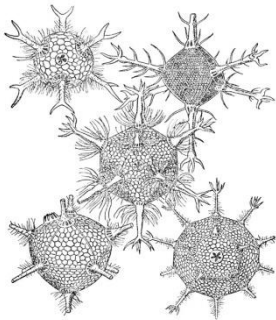


Рис. 2. *а* – структури радіолярій; *б* – «Три Грації» - проект в Дубаї

**Цілі і завдання.** Виконати аналіз нових досліджень по застосуванню у великопролітних будівлях і спорудах біонічних принципів.

**Основна частина.** Проектні рішення великопролітних конструкцій постійно вдосконалюються. Ця необхідність викликана збільшенням габаритних розмірів будівель і споруд, а також отриманням нових експериментально-теоретичних результатів і впровадженням у будівництво нових надміцних матеріалів.

Отримати нові рішення великопролітних споруд можливо і на основі вивчення біоаналогів.

На основі вивчення будови конструктивних аналогів живої природи встановлено принцип резильянсу [8] в конструктивних системах (*resilience* – пружність, еластичність, здатність швидко відновлювати внутрішні сили). За рахунок використання резильянсу в конструкції відновлюється її несуча здатність без збільшення маси. Виходячи з принципу резильянсу, були розроблені трансформовані конструкції покриттів.

На рис. 3 наведено музей творчості в Мілуокі (Вісконсін, США) архітектора Сантьяго Калатрави. Головний елемент будівлі музею – крила птаха, що рухаються. Кожне крило павільона складається з 36 ребер довжиною від 8 до 32 м. Ця величезна кінетична конструкція білих крил в розкритому стані складає більше 60 м. Час, необхідний для повного закриття/розкриття крил, складає 3 хвилини. Загальна маса конструкції – 115 т. Якщо швидкість вітру перевищує 64 км/год, автоматична система закриває ці жалюзі.



Рис. 3. *a* – динаміка крил; *б* – крила в розкритому стані

Проте в найближчому майбутньому в будівництві необхідно зробити так, щоб конструкції мали живий рух, гнучкість і, крім того, інтелект. Зокрема, конструкція змінюється в форму, гармонізовану з навколишнім середовищем, і зміна форми реалізує більш універсальну функцію. В одному з механізмів, який робить можливим складний рух, є ферма зі змінною геометрією, яка названа VGT [10]. Як показано на рис. 4, *a* VGT – це просторова конструкція, яка складається з пружних елементів і шарнірів. Контролюючи довжину пружних елементів, можна створити різні форми просторової конструкції. Приклад зміни форми, що поєднує два розміри VGT послідовно, показані на рис. 4, *б*.

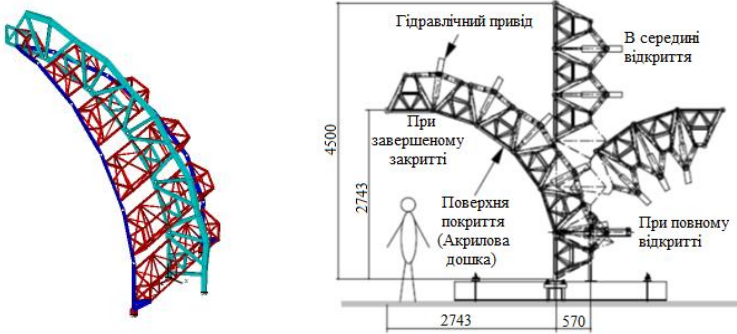


Рис. 4. а – ферма VGT; б – зміни форми ферми

Згідно з принципом гетерогенного розміщення матеріалу в конструктивних системах, поєднання геометрії полігональних осередків зі слоїстістю і їх міцних стінок забезпечують компактність, високу міцність і жорсткість структурам при мінімальній витраті матеріалу. Використання шарів з різними властивостями дозволяє отримати конструкцію типу «сендвіч» з високою міцністю, жорсткістю і відносно малою вагою. Загальна стійкість конструкції з гетерогенним розміщенням матеріалу в багато разів перевищує стійкість окремих її шарів, завдяки чому зовнішні шари з більш щільного матеріалу мають значно меншу товщину в порівнянні з внутрішнім шаром пористої структури. Останній виконує роль заповнювача, що утворює практично безперервну опору для зовнішніх шарів, тим самим оберігаючи їх від втрати стійкості при навантаженні.

Виставковий павільйон прольотом 216 м уздовж однієї сторони і висотою 48,8 м (рис. 5). Оболонка – двошарова, товщина кожного шару – 65 мм у вершині і 120 мм на лініях перетину. Обидва залізобетонних шари розділені між собою на висоту від 1,8 до 3 м поздовжніми і поперечними ребрами.



Рис. 5. а – складчасте, жорстке листя тропічної рослини куркуліго відігнутого; б – виставковий павільйон у Парижі

Принцип щільної упаковки дозволяє отримувати максимально корисний об'єм при мінімальній поверхні огородження. У природі він проявляється при оптимізації біологічних форм в тому випадку, коли осередки в структурі мають постійні геометричні характеристики. Так бджоли, будуючи стільники, утворюють щільну упаковку з кіл, які під дією капілярних сил, що перевищують тиск зсередини від бджолиних тіл, перетворюються в описані шестикутники. Розбиття площини на рівновеликі шестикутні елементи має мінімум довжини.

Метрополь Парасоль в Севільї – конструкція з дерева та залізобетону (рис. 6). Будівництво завершено в 2011 році. Об'єкт висотою 28 метрів займає площу 150 на 75 метрів і претендує на звання найбільшої конструкції з дерева в світі. Фігурні елементи зонтів в кількості 3400 штук скріплені 3000 несучими вузлами. Розміри елементів досягають до 16,5 м в довжину, а ширина змінюється від 68 до 311 см.



Рис. 6. Метрополь Парасоль – севільські гриби

Принцип спрямованої форми втрати стійкості дозволяє уникнути при проектуванні конструктивних систем біфуркації стійких форм рівноважних станів, а також виключити невизначеність їх подальшої поведінки під навантаженнями. Природа, створюючи конструктивні системи, свідомо намагається уникнути можливих переходів початкових деформацій в інші види, тобто виключає втрату стійкості першого роду. І це відбувається не шляхом посилення конструкцій живих організмів за рахунок збільшення маси, а кожній конструкції надається обрис відповідно до спрямованої форми втрати стійкості, що приймається за граничну стійкість з усіх можливих форм рівноваги. В результаті цього при статичній роботі виникає постійний вид деформацій.

На рис.7 [11] у вигляді горизонталей показано поле прогинів залізобетонної квадратної моделі - оболонки додатньої кривини, жорстко затисненої по контуру, побудоване на основі результатів експерименту. Місцеве збільшення прогинів при рівномірному розподіленому навантаженні

отримано в місцях найбільших недосконалостей поверхні оболонки, виміряних до початку завантаження.

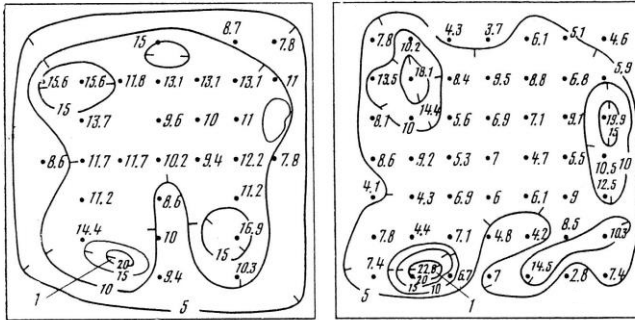


Рис.7. Поле прогинів: початкове (зліва); після навантаження (справа)

У природі простежуються способи боротьби з втратою стійкості: ребра підкріплення; гофри; гетерогенність – шарувата будова. Гетерогенна будова елементів біологічних конструкцій не тільки гальмує розвиток поверхневих тріщин, а й гасить коливання, викликані динамічними впливами, являючись свого роду демпфером.

Згідно з принципом траєкторіальної будови конструктивних систем елементи в конструкціях живої природи розміщуються відповідно до геометрії поля переміщень по траєкторіях головних напружень. Характер силового поля визначається видом зовнішнього впливу і кінематичними граничними умовами. Траєкторіальні структури забезпечують гранично обмеженим обсягом матеріалу вимоги необхідної міцності щодо заданих сил. Орієнтація елементів уздовж силових ліній підвищує міцність і жорсткісні властивості при мінімальному обсязі матеріалу, що йде на їх створення.

Взявши за основу жилкування листа Вікторії регії, що розміщено по траєкторіях головних напружень, італійський архітектор П. Нерві сконструював ребристе покриття фабрики Гатті в Римі (рис.8б).



Рис. 8. а – лист Вікторії регії; б – ребристе покриття фабрики Гатті

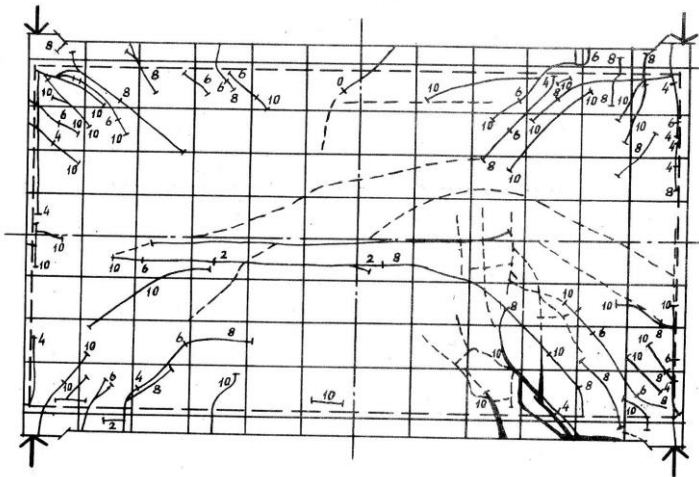


Рис. 9. Утворення тріщин по майданчиках головних напружень в моделі циліндричної відкритої оболонки середньої довжини під дією рівномірно розподіленого навантаження по плиті оболонки ( $q_2$ , Н/м<sup>2</sup>) і по поздовжніх бортових елементах ( $q_0$ , Н/м), а саме по ступенях завантаження: №1 (500; 62), №2 (1000; 123), №3 (1500; 185), №4 (2000; 247), №5 (2500; 308), №6 (3000; 369), №7 (3500; 431), №8 (4000; 492), №9 (4500; 554), №10 (5000; 615), де перша цифра в дужках  $q_2$ , друга -  $q_0$

Великий обсяг досліджень на моделях залізобетонних оболонок можна використати для визначення орієнтації головних майданчиків. Експериментами встановлено початок утворення тріщин в бетоні оболонок при навантаженнях:  $0,3q_p$  циліндричних відкритих;  $0,4q_p$  додатної кривизни;  $0,5q_p$  від'ємної кривизни ( $q_p$  - навантаження руйнування).

Слабкість бетону сприймати зусилля розтягу веде до утворення тріщин по головних майданчиках [11]. Картина тріщин вказує, як найкраще розміщувати матеріал в конструкції (рис. 9).

**Висновки і перспективи досліджень.** Наведено великопролітні просторові конструктивні системи, запроєктовані з використанням сучасних біонічних принципів.

Можна зробити висновок, що розглянута досить складна проблема, яка є актуальною і потребує подальшого вивчення.

## **References**

1. Sadri M. Bionic architecture, forms and constructions / M. Sadri, M. Kavandi, A. Jozepiri, S. Teimouri, F. Abbasi // *Research Journal of Recent Sciences*, 2014. – Vol. 3(3). – P. 93-98.
2. Saber R.H. Architectural Constructions Inspired by Nature / R. H. Saber, B. Daryayelaal // *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2013. – Vol. 3(2). – P. 1037-1044.
3. Sugár V. Bionics in architecture / V. Sugár, P. Leczovics, A. Horkai // *YBL Journal of built environment*, 2017. – Vol. 5. – Issue 1. – P. 31-42.
4. Lebedev YU.S. Arkhitekturnaya bionika / YU.S. Lebedev, V.I. Rabinovich, Ye.D. Polozhay. – M.: Stroyizdat, 1990. – 269 p.
5. Megahed N.A. Towards a bionic architecture in the context of sustainability / N.A. Megahed // *Port-Said Engineering Research Journal*, 2020. – Vol.16. – No. 2. – P. 181-189. <https://www.researchgate.net/publication/344435727>
6. Temnov V.G. Ekologiya i arkhitekturnaya tektonika stroitel'nykh ob"yektov gorodskoy sredy obitaniya / V.G. Temnov, G.Ye. Rusanov, S.A. Bolotin, A.L. Gel'fond // *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*, 2017. – №4 (72) – P.95-102. doi:10.23968/2305–3488.2017.22.4.95–102
7. Byuttner O. Sooruzheniye – nesushchaya konstruktsiya – nesushchaya struktura: Analiz zhivoy prirody i gradoobrazuyushchey sredy / O. Byuttner, E. Khampe. – M.: Stroyizdat, 1983. – 340 p.
8. Temnov V.G. Avtomatizirovannyi sintez optimal'nykh uprugikh konstruktivnykh sistem na osnove bionicheskikh printsipov: avtoref. diss. ... dokt. tekhn. nauk: 05.13.12 / V.G. Temnov. – M.: MISI, 1991. – 48 p.
9. Khazin V.Y. Mekhanichni pryntsypy arkhitektoniky roslyn v inzhenerno-budivel'niy bionitsi / V.Y. Khazin, D.V. Serdyuk // *Zbirnyk naukovykh prats' (haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo)*. – Poltava: PoltNTU, 2011. – Vyp. 2 (30). – P. 227-233.
10. Kolomiychuk H.P. Prostorova transformatsiya konstruktyvnykh elementiv suchasnykh obolonok pokryt' / H.P. Kolomiychuk, V.H. Kolomiychuk // *Suchasni budivel'ni konstruktsiyi z metalu ta derevyny*. – Odesa: ODABA, 2020. – Vypusk №24. – P. 71-80. doi:10.31650/2707-3068-2020-24-71-80
11. Kolomiychuk G.P. Tekhnicheskaya otsenka zhelezobonnykh oblochek pokrytiya / G.P. Kolomiychuk // *Visnyk ODABA*, Odesa: ODABA, 2009. – Vyp. 34. – Chastyna 2. – P. 428-435.

## **Список використаних джерел**

1. Sadri M. Bionic architecture, forms and constructions / M. Sadri, M. Kavandi, A. Jozepiri, S. Teimouri, F. Abbasi // *Research Journal of Recent Sciences*, 2014. – Vol. 3(3). – P. 93-98.



2. Saber R.H. Architectural Constructions Inspired by Nature / R. H. Saber, B. Daryayelaal // Journal of Basic and Applied Scientific Research, 2013. – Vol. 3(2). – P. 1037-1044.
3. Sugár V. Bionics in architecture / V. Sugár, P. Leczovics, A. Horkai // YBL Journal of built environment, 2017. – Vol. 5. – Issue 1. – P. 31-42.
4. Лебедев Ю.С. Архитектурная бионика / Ю.С. Лебедев, В.И. Рабинович, Е.Д. Положай. – М.: Стройиздат, 1990. – 269 с.
5. Megahed N.A. Towards a bionic architecture in the context of sustainability / N.A. Megahed // Port-Said Engineering Research Journal, 2020. – Vol.16. – No. 2. – P. 181-189. <https://www.researchgate.net/publication/344435727>
6. Темнов В.Г. Экология и архитектурная тектоника строительных объектов городской среды обитания / В.Г. Темнов, Г.Е. Русанов, С.А. Болотин, А.Л. Гельфонд // Вода и экология: проблемы и решения, 2017. – №4 (72) – С.95-102. doi:10.23968/2305-3488.2017.22.4.95-102
7. Бюттнер О. Сооружение – несущая конструкция – несущая структура: Анализ живой природы и градообразующей среды / О. Бюттнер, Э. Хампе. – М.: Стройиздат, 1983. – 340 с.
8. Темнов В.Г. Автоматизированный синтез оптимальных упругих конструктивных систем на основе бионических принципов: автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.13.12 / В.Г. Темнов. – М.: МИСИ, 1991. – 48 с.
9. Хазін В.Й. Механічні принципи архітектоніки рослин в інженерно-будівельній біоніці / В.Й. Хазін, Д.В. Сердюк // Збірник наукових праць (галузево-машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – Вип. 2 (30). – С. 227-233.
10. Коломійчук Г.П. Просторова трансформація конструктивних елементів сучасних оболонок покриття / Г.П. Коломійчук, В.Г. Коломійчук // Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини. – Одеса: ОДАБА, 2020. – Випуск №24. – С. 71-80. doi:10.31650/2707-3068-2020-24-71-80
11. Коломійчук Г.П. Техническая оценка железобетонных оболочек покрытия / Г.П. Коломійчук // Вісник ОДАБА, Одеса: ОДАБА, 2009. – Вип. 34. – Частина 2. – С. 428-435.

**ФОРМУВАННЯ МІСТОБУДІВНИХ ОБ'ЄКТІВ ВІДНОВЛЕННЯ  
З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**FORMATION OF URBAN DEVELOPMENT OBJECTS WITH THE  
USE OF NATURAL MATERIALS**

**Мельник Ю.А., к.т.н., доцент, Верешко О.В., ст. викл., Парфентьева І.О., к.т.н., доцент, Білоус Д.Ю., студентка (Луцький національний технічний університет), Мельник О.В. к.т.н., доцент, (Волинський національний університет імені Лесі Українки)**

**Melnyk Yu.A., Ph.D., associate professor, Vereshko O.V., senior lecturer, Parfentjeva I. O., Ph.D., associate professor, Bilous D.Yu., student (Lutsk National Technical University), Melnyk O.V. Ph.D., associate professor (Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk)**

*Концепція функціонування реабілітаційних центрів передбачає комплексний підхід. Одним із варіантів прискорення одужання та реабілітації пацієнтів є гармонійний психо-емоційний стан, який досягається завдяки зануренню в природне середовище. В роботі запропоновано концепцію створення містобудівного об'єкту відновлення з використанням природних матеріалів на прикладі проєкту центру реабілітації на території військової частини у м. Володимир-Волинський.*

*In today's conditions, the presence in the social structure of society of a significant number of citizens in need of physical or psychological rehabilitation is determined. Thus, according to UN experts, people with disabilities make up 10 percent of the world's population. The social essence of people determines the need for a diverse developed infrastructure aimed at meeting the biosocial needs of people with disabilities and other low-mobility groups.*

*The concept of functioning of rehabilitation centers provides a comprehensive approach. One of the options for accelerating the recovery and rehabilitation of patients is a harmonious psycho-emotional state, which is achieved through immersion in the natural environment. In our work, we analyzed the state of the rehabilitation industry in Ukraine. At present, the field of health rehabilitation is underdeveloped in Ukraine. Rehabilitation and rehabilitation centers are isolated objects that do not meet modern functional and aesthetic standards and require total modernization.*

*The concept of creation of town-planning object of restoration with use of natural materials is offered. The building material is based on wood, stone, water, greenery and grass, which harmoniously fits into the functional purpose of the work and gives the opportunity to recover, recover in harmony with nature.*

*The main buildings are made of trunks of felled trees, which fits well with the garden paths made of wood, houses for recreation and accommodation made of eco materials, have a triangular shape and their main decoration is a "green roof". Green*

*roof - the roof is completely covered with soil and planted with greenery, in this case - grass. Small architectural forms in the center are made of gabion in combination with greenery and benches made of trees.*

*The whole area is planted with greenery, mostly coniferous, to look like a forest. Along the perimeter there is a fence with an eco fence and greenery.*

*Ключові слова: об'єкт реабілітації, еко-матеріали, природні матеріали габіонні конструкції, зелені дахи .*

*Keywords: rehabilitation object, eco-materials, natural materials gabion structures, green roofs.*

**Аналіз останніх досліджень та постановка задачі.** Одним із актуальних завдань сучасного містобудування є створення комфортного і здорового простору для реабілітації населення. Реабілітаційним центром або відділенням називають заклади, які надають повний спектр реабілітаційних заходів: медичних, психологічних, професійних і соціальних.

Враховуючи ДБН В.2.2-18:2007 "Будинки і споруди. Заклади соціального захисту населення" [1], у процесі формування реабілітаційних центрів виокремлюють наступні зони: житлова; відпочинкова; фізкультурно-оздоровча; лікувально-виробнича – для психоневрологічних інтернатів [2,3].

У цій системі важлива роль відводиться благоустрою території. Особливо актуальним є формування зони відпочинку (зелена зона з прогулянковими алеями, майданчиками для відпочинку; тіньовими навісами, альтанками тощо). Крім того, згідно з пунктом 5.8 [1], площа зелених насаджень та території благоустрою повинна становити: не менше ніж 50% площі ділянки будинку-інтернату для громадян похилого віку та інвалідів або психоневрологічного інтернату; не менше ніж 35% площі ділянки територіального центру та закладів соціального захисту населення. Шляхом пасивної і активної взаємодії з природою буде досягнуто підвищення ефективності реабілітації пацієнтів реабілітаційних центрів, "занурених в еко-середовище".

Тобто, ми можемо спостерігати, що розуміння обов'язкового доповнення ділянок реабілітаційних центрів елементами природи є відображенням і розвиненням у будівельних нормах.

На нашу думку, реабілітаційним центрам для повноцінного виконання їх функцій, необхідні оптимальні природні умови, що включають:

- значний розмір цієї ділянки, необхідний для прогулянок та перебування на свіжому повітрі його пацієнтів;

- вдало поєднане використання природних матеріалів у будівлях та спорудах і штучних ландшафтів задля забезпечення щонайбільшого душевного затишку для клієнтів реабілітаційних центрів.

Проаналізувавши вітчизняні джерела [1,4-6] ми зробили висновок, що центри оздоровлення та реабілітації в Україні є поодинокими об'єктами, що не відповідають сучасним функціональним та естетичним нормам та вимагають тотальної модернізації [7,9].

### **Виклад основного матеріалу**

В роботі нами запропоновано концепцію створення містобудівного об'єкту реабілітації на прикладі проекту реконструкції військової частини під центр реабілітації із використанням природних матеріалів. Такий заклад, де пацієнти зможуть відчутти єднання з природою, позитивно впливає на психо-емоційний стан людей та значно пришвидшує одужання.

Цілком зрозуміло, що реабілітація потребує передусім спокою, відпочинку та посилення відчуття єднання з природою. Тому дуже актуальним є застосування природних матеріалів, «зелених дахів», малих архітектурних форм з еко-матеріалів, елементів озеленення та благоустрою, що значно пришвидшить психо-емоційне відновлення пацієнтів [2,3].

Важливим напрямком комплексного підходу до формування реабілітаційного центру є взаємодія середовища і простору буття людини, а саме – системи споруд реабілітаційних центрів з ландшафтом природним і штучним. Використання екологічних матеріалів (дерева, очерету, трави) при проектуванні споруд реабілітаційного центру не тільки створює гармонійний ансамбль із навколишнім середовищем, а й сприяє швидкому одужанню пацієнтів даних закладів.

Проектована ділянка розташована у м. Володимир-Волинський, на території колишньої військової частини. Дана ділянка знаходиться в досить занедбаному стані та ніяк не використовується Збройними Силами України. Об'єкт реконструкції розташований у досить тихому місці, що чудово поєднується з проектними рішеннями та посприяє його функціональному призначенню. Існуючий стан території потребує відновлення та догляду.

Здійснено функціональний розподіл території на окремі зони [9,10]. Оздоровчо-реабілітаційний центр обслуговує різні вікові групи населення, і в ньому повинні бути організовані відповідно різні форми відпочинку. Ми розділили їх на дві основні групи: активного й пасивного відпочинку.

В групу заходів активного відпочинку включаються масові ігри і розваги, заняття спортом, реабілітаційні вправи та заняття.

Загалом на території запроєктованого реабілітаційного центру ми виокремили такі зони:

- оздоровча зона – зона, у якій знаходяться будівлі лазні, в ній будуть проводитись процедури для покращення стану здоров'я та будівля самого реабілітаційного центру, у якій будуть здійснюватися процедури з відновлення фізичного та психологічно стану людини;
- громадська зона – до громадської зони віднесено адміністративний корпус центру та їдальню, яка знаходиться в цій будівлі;
- зона активного відпочинку – до цієї зони належить басейн, в якому можна буде як просто відпочити, так і провести відновлюючі процедури; мультифункціональне поле – поле, яке поєднує в собі футбольне поле, волейбольне, при необхідності натягується або прибирається сітка, та баскетбольне поле, кільце якого розміщено над футбольними воротами; також до зони активного відпочинку можна віднести вуличні тренажери, на яких будуть проводитись реабілітаційні процедури та буде можливість позайматись просто охочим.
- зона пасивного відпочинку - ця зона передбачена для масового перегляду фільмів під відкритим небом та проведення часу навколо ставка;
- житлова зона – являє собою власне житлові будинки, в яких будуть тимчасово проживати пацієнти та їх сім'ї.









Найменування		
	Оздоровча зона	проект.
	Громадська зона	проект.
	Зона активного відпочинку	проект.
	Зона пасивного відпочинку	проект.
	Дитячий майданчик	проект.
	Житлова зона	проект.

Рис1. Схема функціонального зонування

За основу будівельного матеріалу взято дерево, камінь, вода, зелені насадження та трава, що гармонійно вписується у функціональне

призначення реабілітаційного центру і дає можливість оздоровитись, відновитись у гармонії з природою.

Основні будівлі виконані зі стовбурів зрубаних дерев, що вдало вписується у поєднання з садовими доріжками із дерева, будиночки для відпочинку та проживання гостей виконанні із еко-матеріалів, мають трикутну форму та їх основною прикрасою слугує «зелений дах».

Лавки на території центру виконані з габіону в поєднанні з зеленими насадженнями та із колод дерев. Альтанки зроблені із дерева, автостоянка вимощена щербом, що є також екологічно безпечно.

На усій вільній від забудови території висаджені зелені насадження, переважно хвойні, для імітації вигляду природного лісу. По периметру територія огорожена еко-парканом та зеленими насадженнями.

Малі архітектурні форми, які розміщені на території, являють собою еко-матеріали.

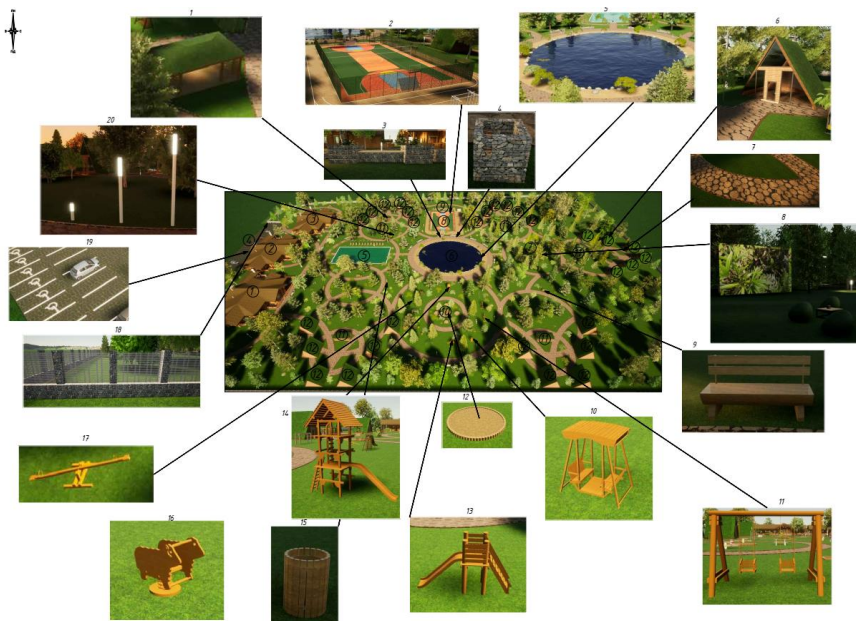


Рис.2. Візуалізація елементів благоустрою центру реабілітації

**Висновок.** Вважаємо, що використання природних матеріалів є доцільним при проектуванні реабілітаційних закладів, оскільки позитивний вплив оточуючого середовища найкраще впливає на психоемоційне відновлення.

## **References**

1. DBN V.2.2-18:2007 "Budynty i sporudy. Zaklady sotsialnoho zakhystu naselennia". Kyiv. Minbud Ukrainy. 2007. 81 p.
2. Blinov M. O. Ohliad shliakhiv rozvytku tsestriv reabilitatsii dlia osib z obmezhenoiu pratsездatnistiu / M. O. Blinov, Yu. O. Kharaborska // Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia. - 2018. - Vyp. 52. - P. 9-14. - Access: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Spam\\_2018\\_52\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Spam_2018_52_6)
3. Baiev A. A. Mistse landshaftnoi arkhitektury ta sadovo-parkovoho mystetstva v kontseptsii tvorennia reabilitatsiinykh tsestriv/A.A. Baiev//Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. – 2013. – Vyp. 23.9. - P. 34-39.
4. Bismak O. V. Osoblyvosti orhanizatsii diialnosti reabilitatsiinykh zakladiv v Ukraini / O. V. Bismak // Osvitolohichnihnyh dyskurs. - 2015. - № 4. - P. 1-12. - Access: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/osdys\\_2015\\_4\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/osdys_2015_4_3)
5. Dorokhina H.I. Arkhitekturno-planuvalna orhanizatsiia fizykulturno-ozdorovchykh zakladiv dlia liudei z obmezhenymy fizychnymy mozhlyvostiamy: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. arkhit. n: spets. 18.00.02 «Arkhitektura budivel ta sporud» / H.I. Dorokhina. – K., 2013. - 21 p.
6. Miller-Keane Encyclopedia: rehabilitation center. (n.d.) Miller-Keane Encyclopedia and Dictionary of Medicine, Nursing, and Allied Health, Seventh Edition. (2003). Retrieved May 17 2021 Access: <https://medical-dictionary.thefreedictionary.com/rehabilitation+center>
7. Sarancha I. H. Rol tsestriv sotsialnoi reabilitatsii u protsesi sotsializatsii osib z vadamy oporno-rukhovoho aparatu / I. H. Sarancha // Visn. Kamianets-Podil. nats. un-tu im. I. Ohienka. Korekts. pedahohika i psykholohiia. - 2011. - Vyp. 3. - P. 167-172
8. Pro reabilitatsiiu invalidiv v Ukraini: Zakon Ukrainy vid 06.10.2005 № 2961-IV [Digital source]. – Access: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2961-15>.
9. Osnovy landshaftnoi arkhitektury ta dyzainu: pidruchnyk / N.Ia.Kryzhanovska, M.A.Votinov, O.V.Smirmova ; Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-vaim. O.M.Beketova. –Kharkiv : KhNUMHim. O. M. Becketova, 2019. –348p.
10. DBN B.2.2.–5:2011 «Blahoustrii terytorii». Kyiv. Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy. 2012. 64p.

## **Список використаної літератури**

1. ДБН В.2.2-18:2007 "Будинки і споруди. Заклади соціального захисту населення". Київ. Мінбуд України. 2007. 81 с.
2. Блінов М. О. Огляд шляхів розвитку центрів реабілітації для осіб з обмеженою працездатністю / М. О. Блінов, Ю. О. Хараборська // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. - 2018. - Вип. 52. - С. 9-14. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Spam\\_2018\\_52\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Spam_2018_52_6)

3. Баєв А. А. Місце ландшафтної архітектури та садово-паркового мистецтва в концепції творення реабілітаційних центрів/А.А. Баєв//Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.9. - С. 34-39.

4. Бісмак О. В. Особливості організації діяльності реабілітаційних закладів в Україні / О. В. Бісмак // Освітнологічний дискурс. - 2015. - № 4. - С. 1-12. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/osdys\\_2015\\_4\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/osdys_2015_4_3)

5. Дорохіна Г.І. Архітектурно-планувальна організація фізкультурно-оздоровчих закладів для людей з обмеженими фізичними можливостями: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. архіт. н: спец. 18.00.02 «Архітектура будівель та споруд» / Г.І. Дорохіна. – К., 2013. - 21 с.

6. Miller-Keane Encyclopedia: rehabilitation center. (n.d.) Miller-Keane Encyclopedia and Dictionary of Medicine, Nursing, and Allied Health, Seventh Edition. (2003). Retrieved May 17 2021 Режим доступу: <https://medical-dictionary.thefreedictionary.com/rehabilitation+center>

7. Саранча І. Г. Роль центрів соціальної реабілітації у процесі соціалізації осіб з вадами опорно-рухового апарату / І. Г. Саранча // Вісн. Кам'янець-Поділ. нац. ун-ту ім. І. Огієнка. Корекц. педагогіка і психологія. - 2011. - Вип. 3. - С. 167-172

8. Про реабілітацію інвалідів в Україні: Закон України від 06.10.2005 № 2961-IV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2961-15>.

9. Основи ландшафтної архітектури та дизайну: підручник / Н.Я.Крижановська, М.А.Вотінов, О.В.Смірнова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ваім. О.М.Бекетова. –Харків : ХНУМГім. О. М. Бекетова, 2019. –348с.

10. ДБН Б.2.2.–5:2011 «Благоустрій територій». Київ. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2012. 64с.



**ВПЛИВ BIM-ТЕХНОЛОГІЙ НА РОЗРОБКУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
КАРТ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ**

**THE INFLUENCE OF BIM-TECHNOLOGIES ON THE  
DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL MAPS OF CONSTRUCTION  
PROCESSES**

**Мудрий І.Б. к.т.н., доцент каф. БВ (Національний університет  
"Львівська політехніка", м. Львів)**

**Mudryj I.B., Ph.D., senior lecturer (National University of Lviv  
Polytechnic, Lviv)**

*Запропоновано основні вимоги до формування організаційно-технологічної документації з врахуванням технології інформаційного моделювання, з розробкою нормативної бази та відповідним підвищення кваліфікації інженерно-технічних працівників, з можливістю їх навчання. Визначено причини низького рівня застосування інформаційних технологій для розробки технологічних карт будівельних процесів та їх зальний вплив на створення інформаційних моделей.*

*The main requirements for the formation of organizational and technological documentation with regard to information modeling technology are proposed. The reasons for the low level of application of information technologies for the development of technological maps of construction processes and their general impact on the creation of information models are identified. Works to expand the information modeling technology, taking into account the technological and organizational solutions of construction, will cause the emergence of new requirements for the development of technological maps: the construction master plan should be developed based on a three-dimensional model of the construction site and other factors that affect construction; dynamics of changes in dangerous areas of the construction site when changing the number of floors (installation horizon) and height characteristics of the machines; the location of warehouse sites (their areas), the direction of movement of construction equipment and workers, depending on the accepted organizational and technological scheme of construction at a certain time; establishing of dynamic restrictions on the performance of works, the location of divisions (zones of work) in space and time (especially when organizing construction in the zones of existing enterprises); reconciliation of necessary engineering resources according to the stages of construction.*

*Ключові слова: технологічна карта, проект виконання робіт; проект організації будівництва; технологія інформаційного моделювання; організаційно-технологічна документація.*

*Keywords: technological map; work production project; construction organization project; information modeling technology; organizational and technological documentation.*

Технологічні карти (ТК) є складовою частиною проекту виконання робіт (ПВР) [1], а процес їх розробки (особливо нетипової ТК) трудомісткий та затратний за часом, оскільки така задача часто є багатоваріантною. Спростити процес розробки ТК, з підвищенням їх якості та скороченням термінів, можливо на основі використання сучасних технологій інформаційного моделювання (ТІМ) [2]. Однак основний організаційно-технологічний документ (ДБН А.3.1-5:2016) не визначає та не регламентує порядок формування інформаційних моделей для технологічної документації.

Аналіз вимог [2, 3] до формування загальних інформаційних моделей показує, що такі рішення для технологічних карт повинні ґрунтуватись на трьох основних принципах:

1. Систематизація та структуризація цільової задачі зведення;
2. Наявність розвиненої нормативної бази, яка повинна мати нормативний та довідково-методичний апарат, необхідний для формування вхідних та вихідних даних;
3. Автоматизація рішень конкретних задач, які розділяються на блоки: календарний план виконання робіт; технологія та організація виконання робіт; охорона праці; техніка безпеки та ін.

Використання інформаційних технологій, зокрема комплексів BIM (Building Information Modelling), у практиці будівництва, дозволяє на [3]: 10% знизити вартість проектної документації; 7-15% скоротити термін реалізації проєктів; 3% підвищити точність кошторисної документації; 80% скоротити час розробки проектної документації; 30% зменшити відходи та брак будівельного виробництва.

Безпосередньо для технологічних карт впровадження технологій інформаційного моделювання – складна задача, оскільки її розробка повинна ґрунтуватися на принципах «зворотнього зв'язку» – від розробників технологічних карт до виконавців проекту організації будівництва (ПОБ). Відповідно, чим складніший об'єкт, тим більше складових (ТК) буде вимагати загальна організаційно-технологічна документація. Це створює умови для розвитку ринку, коли зовнішні спеціалізовані сервіси (компанії) будуть надавати свої масштабовані інформаційні ресурси для загальної інформаційної моделі проєкту [4]. Створення таких масштабованих технологічних карт – трудомісткий процес, однак перспективний для субпідрядних компаній, в плані просування своїх послуг. Такий процес буде вимагати формування реалістичних образів моделей виконуваних видів робіт, використання баз даних (машин, механізмів, інструментів, обладнання та ін.) [5].

На практиці слід відзначити низький рівень впровадження інформаційного моделювання в частину організаційно-технологічної

документації (ОТД), на відміну від конструктивних та інженерних (мережі) частин проекту. Основними причинами такого стану є:

- відсутність затвердженої державної нормативної бази, яка б регламентувала роботу над технологією інформаційного моделювання в цілому і в частині ОТД зокрема [6];
- розірваність між різними етапами розробки організаційно-технологічної документації;
- обмеженість ринку фахівців, направлених на розробку інформаційних моделей для технологій зведення.

Для більшості компаній основна мета практичного використання BIM-технології полягає у підвищенні якості проектної документації (уникнення помилок) та використання інформаційного моделювання в розрахункових модулях та візуалізації. Створення технологічних карт, як складової частини ПВР, є задачею підрядників, для яких виконання їх в комплексах BIM є ускладнене через відсутність в штаті відповідних фахівців. Залучення зовнішніх виконавців не завжди виправдане через недостатність технологічного досвіду, неврахування технічних можливостей компаній, наявності та стану відповідного обладнання та ін.

**Метою роботи** є розглянути стан впровадження технологій інформаційного моделювання в практику розробки технологічних карт для процесів виконання робіт.

#### **Виклад основного матеріалу**

Перехід до BIM не завжди призводить до значного прискорення процесу проектування (рис. 1), радше – до перерозподілу пріоритетів: зменшується частка зусиль, що витрачаються на рутинні операції, в той час як вивільнені ресурси можуть бути направлені на більш інтелектуальну та технологічну діяльність, зосереджуючись на якості проектних рішень, інформаційних моделей, аналітичних вишукувань, управлінні проектом тощо [6].

Додаткове введення у такий розподіл варіантності розробки організаційно-технологічної документації, збільшить зусилля на проектування, але визначення оптимальних організаційно-технологічних рішень на цьому етапі дозволить знизити загальні затрати на зведення до 40% [7].

На вітчизняному ринку для створення інформаційних моделей в основному використовуються програмні комплекси Autodesk Revit, Tekla Structures, Allplan, Bentley Building Designer (переважно для розділів проекту АР; КБ; ОБ). Для ОТД використовують комплекси для роботи з окремими частинами ПОВ та ПВР – «СПДС СТРОЙПЛОЩАДКА», Microsoft Project; PlanWIZARD; Spider Project; GanttProject та ін. Ці програми значно спрощують роботу і над ТК, дозволяючи: створювати та виводити ряд розрахункових табличних звітів, календарних графіків, відомостей робіт, ресурсів; здійснити підбір та оцінку рівня застосування

комплектів механізації, крім того спрощують роботу в частині графічних даних – дають можливість побудувати на вивести зони впливу машин, обмеження на роботу, динаміку зміни зон обмеження, напрямків переміщення вантажів та ін.

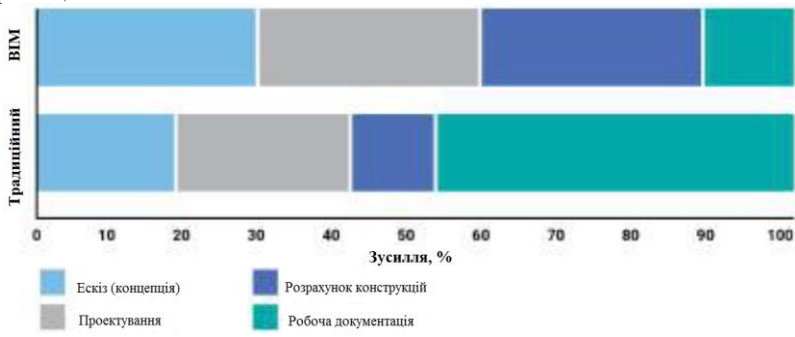


Рис. 1. Орієнтовний перерозподіл зусиль у процесі проектування [6]

Але повністю автоматизувати процес розробки ТК на сучасному етапі складно, через обмежену можливість уніфікації прийнятих рішень на загальному рівні. Сьогодні існують автоматизовані рішення на рівні окремих процесів, наприклад, розкладка опалубки, розташування блочних елементів риштувань, підбір технологічних параметрів машин та ін. Такі системи, як правило, є закриті, розроблені під певний ресурс, і їх складно використати для загально-майданчикової інформаційної моделі. Поряд з комплексами, які дозволяють здійснювати підбір варіантів ефективних комплектів механізації [8, 9], відсутні програми, що можуть поєднувати в ІМ роботи декількох машин у спільній зоні впливу. При роботі з двома та більше машинами виникає необхідність застосування окремих неінтегрованих підпрограм для пошуку раціонального варіанту зведення. Разом з тим, на ринку спостерігається розширення банку технологічних даних (моделей) будівельної техніки, обладнання, пристосувань, інструменту тощо.

Задача створення інформаційних моделей для ТК, крім раціонального прийняття технологічного порядку зведення, буде вимагати врахування великого масиву даних: фактичного стану майданчика; умов вхідного та приймального контролю; фактичний стан машини, технологічного оснащення та інструменту; умов з техніки безпеки та охорони праці; вимог з охорони навколишнього середовища; вимог щодо транспортування, складування та зберігання; пожежної безпеки та ін. Фактично інформаційна модель для створення технологічних карт повинна поєднувати три групи даних: 1) вхідні (проектні рішення); 2) фактичні умови та обмеження; 3) нормативні вимоги.

Відповідно до створення інформаційної моделі на рівні ТК, будуть висуватися ряд вимог щодо її змісту:

- інформаційна модель будівельного майданчика (з поділом на ділянки (деталізацією) та обсягами робіт між підрядниками з врахуванням напрямку розвитку виробництва, можливих шляхів руху техніки, робітників, постачання). Технологічна схема зони виконання робіт повинна бути розроблена на основі фактичної тривимірної моделі майданчика та навколишньої території, із зонами обмеження, які впливають на зведення. Обов'язковим є ув'язка з календарним графіком для відображення поточної зміни ситуації на ділянці.

- інформаційна модель технологічних процесів – календарний графік виконання. Такий графік повинен бути створений у вигляді динамічної моделі, яка коригує роботу технологічних машин відповідно до планових та фактичних часових параметрів виконання робіт;

- моделювання окремих робочих операцій, з урахуванням необхідного додаткового обладнання та обмежень на роботу. Крім того, важливим буде рівень проробки (деталізації) інформаційної моделі (кількість включених операцій, робочих переміщень, атрибутивна та просторово-геометрична інформація тощо). Модель повинна містити дані, які враховують умови виконання робіт - температурний та часовий режим (зимовий-літній період, денний-нічний час, стан технологічного обладнання та ін.);

- рішення з організації контролю виконання операцій, з варіантами можливого автоматизованого контролю;

- відомість (журнал), яка дозволяє відслідковувати поточний стан виконання процесів (БМР) на об'єкті та їх контролю.

**Висновки.** Розширення технологій інформаційного моделювання з врахуванням технологічних та організаційних рішень зведення створить нові вимоги до розробки технологічних карт:

- розробка ТК повинна ґрунтуватися на принципах «зворотнього зв'язку» технологічна карта - проект виконання робіт - проект організації будівництва;

- створення масштабованих типових технологічних карт на основі ВІМ технологій, з можливістю оперативної адаптації під проектні рішення та умови будівельного майданчика;

- створення відкритих модулів (які дозволяють розширення) підпрограм;

- застосування окремих відкритих модулів відкриє умови для варіантної проробки проектних рішень, що дозволить виконувати пошук оптимальних варіантів зведення.

**Список використаної літератури**

1. ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва. К.: Украхбудінформ, 2016. 46 с.
2. Талапов В.В. Технология BIM: Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. М.: ДМК Пресс, 2015. 410 с
3. Трофимов Л.А., Трофимов В.В, Информационное моделирование и инжиниринговые системы организации управления как основа инновационного развития строительной отрасли. Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2016. №3 С.77-82.
4. Мудрий І. Б. Перспективи використання технології інформаційного моделювання при розробці проектів організації будівництва // Науковий вісник будівництва. – 2020. – Т. 100, № 2. – С. 132–137.
5. Колесников Е.Б., Синенко С.А. Технологии виртуальной реальности в отображении строительного генерального плана при возведении объекта. Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 11. С. 44-46.
6. Лист № 62-01-659 Київ, МОНУ № 1-9-197 Концепція BIM – Будівельно Інформаційного Моделювання в Україні. Додаток
7. Гусаков А.А. Системотехника / А.А. Гусаков, В.О. Чулков, Н.И. Ильин – М.: Новое тысячелетие, 2002, – 768 с
8. Мудрий І.Б. Порядок та реалізація принципів формування ефективного комплексу стрілових кранів. Збірник наукових праць «Управління розвитком складних систем». Київ, 2017. № 30. С. 156-162.
9. Іванейко І.Д., Мудрий І.Б., Олексів Ю.М. Формування та ефективність технологічних конструктивних рішень стрічкових фундаментів зведених із-за меж котловану. //Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Зб. наук. праць. - Луцьк: ЛНТУ, 2015.-вип.3.- С. 79-92.

**References**

1. DBN A. 3.1-5: 2016. Organization of construction production. 2016.
2. Talapov V.V. BIM technology: The essence and features of building information modeling implementation. 2015. 410 p.
3. Trofymov L.A., Trofymov V.V. Information modeling and engineering systems of management organization as the basis of innovative development of the construction industry. Series "Economy". 2016. No. 3. pp. 77-82.
4. Mudryi I. B. Perspektvyvy vykorystannia tekhnolohii informatsiinoho modeliuvannia pry rozrobtsi proektiv orhanizatsii budivnytstva // Naukovyi visnyk budivnytstva. – 2020. – T. 100, № 2. – P. 132–137
5. Kolesnikov E.B., Sinenko S.A. Virtual reality technologies in displaying the construction mas-ter plan during the construction of an object. 2012. №11. pp. 44-46.
6. Letter no. 62-01-659 Kyiv, MONU No.1-9-197 Concept of BIM - Construction Information Modeling in Ukraine. Appendix.
7. Gusakov A.A., Chulkov V.O., Ilyin N.I. Systems Engineering. 2002.
8. Mudryi I.B. Procedure and implementation of the principles of forming an effective set of jib cranes. Collection of scientific papers "Managing the development of complex systems". 2007. No. 30. pp. 156-162.
9. Ivaneiko I.D., Mudryi I.B., Oleksiv Y.M. Formuvannia ta efektyvnist tekhnolohichnykh konstruktivnykh rishen strichkovykh fundamentiv zvedenykh iz-za mezh kotlovanu. //Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Zb. nauk. prats. -Lutsk: LNTU, 2015.- Issue 3.- P. 79-92.

**ВПЛИВ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ НА ВЕЛИЧИНУ  
СТРУКТУРУЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ МІНЕРАЛЬНИХ ПОРОШКІВ**

**INFLUENCE OF METHOD OF DETERMINATION ON THE VALUE  
OF STRUCTURING ABILITY OF FILLER AGGREGATES**

**Оксак С.В., к.т.н, доц. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків)**

**Oksak Serhii, Ph.D. (Eng.), Assoc. Prof. (Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkiv)**

*Визначено структуруючу здатність мінеральних порошків із сировини різного походження за методиками, наведеними в ДСТУ 8772:2018 та EN 13179-1:2013. Оцінено вплив дійсної густини мінеральних порошків на величину їх структуруючої здатності. Порівняно результати структуруючої здатності мінеральних порошків, визначеної за різними методиками.*

*Interaction between filler aggregates and bitumen results in a structuring process that appears in a thin bitumen film on a mineral surface which turns a part of bitumen into a structural state. As a consequence the viscosity and strength of bitumen films increases which leads to an increase in strength of filled bitumen. The same process increases asphalt concrete strength when fine filler aggregates are included. In frames of presented research the different methods of finding the structuring ability of filler aggregates are analyzed. For various filler aggregates the comparative research of structuring ability is made with DSTU 8772 and EN 13179-1 methods. As a research material it is taken filler aggregates from various sources: the fly ash from CHP of Krivoy Rog, the fly ash from CHP of Burshtyn, powder obtained from grinding of silica sand, gray granite, and basalt, also lame mineral filler, low active Portland cement M300, and slaked lime. For bitumen mixture obtaining pavement bitumen BND 70/100 is used. The bitumen mixture for structuring ability finding is obtained with mixing of heated bitumen BND 60/90 (40 % by weight) with mineral powder particle size less than 0.071 mm (60 % by weight) according DSTU 8772 requirements. Method in EN 13179-1 standard prescribes mixing of components by volume concentrations: 37.5 % is for mineral powder and 62.5 % is for bitumen. Mineral powders can significantly vary in particle density. Through this avoidance of particle density finding in obtaining structuring ability can result in distortion of result values. This is why for the mineral powder with a low particle density its volume concentration is inflated in values in a fact. The increase in a particle density of a mineral powder leads to a decrease in a volume concentration of a mineral powder in a bitumen mixture. For the all tested mineral powders with exception of slaked lime the structural ability is in a range from 10 to 20 °C according to the DSTU 8772 standard, which is in required limits. To increase the accuracy of obtained values of structuring ability of filler aggregates it is necessary to take into account the particle density at bitumen mixture preparation following the EN 13179-1:2013 method.*

*Ключові слова: бітум, мінеральний порошок, дійсна густина, асфальтов'язуча речовина, температура розм'якшеності, структуруюча здатність.*

*Keywords: bitumen, filler aggregate, particle density, asphalt binding binder, softening point temperature, structuring ability.*

**Вступ.** Мінеральний порошок – одна з найбільш важливих складових асфальтобетонних сумішей для влаштування нежорстких асфальтобетонних шарів дорожніх одягів, що зумовлює в значній мірі їх міцність та щільність. Тому оцінка властивостей мінерального порошку за допомогою об'єктивних методик випробувань є важливою задачею.

В Україні властивості мінерального порошку регламентуються вимогами ДСТУ Б В.2.7-121:2014 [1] та ДСТУ Б EN 13043:2013 [2].

У відповідності з [1] визначаються наступні властивості мінерального порошку: зерновий склад, пористість при ущільненні, набрякання зразків із суміші порошку з бітумом, ступінь гідрофобності, структуруючу здатність, число пластичності, вологість, кількість глинистих домішок та суми оксидів  $Al_2O_3$  та  $Fe_2O_3$ .

У відповідності з [2] якість мінерального порошку оцінюється за наступними показниками: гранулометричний склад, вміст шкідливих тонких часток, вологість, дійсна густина, пустотність сухого ущільненого наповнювача за Рігденом, структуруюча здатність, розчинність у воді, набрякання у воді, вміст карбонату кальцію в наповнювачі з вапняку, вміст гідроксиду кальцію, бітумоемність, втрати при прожарюванні золи виносу, питома поверхня за Блейном.

Для визначення структуруючої здатності мінерального порошку використовуються методики, що мають значні відмінності. Це, в свою чергу, може призводити до отримання результатів, що значно відрізняються.

**Аналіз останніх досліджень.** В даний час існує два підходи до оцінки ролі мінерального порошку в складі асфальтобетону [3]. Згідно з американським підходом мінеральний порошок розглядається як наповнювач асфальтобетонної суміші, що використовується для підвищення жорсткості і зменшення повзучості, збільшення щільності [4, 5]. При цьому не розглядається можливість хімічної взаємодії між мінеральним порошком і в'язучим.

Підхід до вивчення ролі мінерального порошку в складі асфальтобетону, прийнятий в Україні та країнах колишнього СРСР, передбачає наявність комплексу процесів, що протікають при довготривалому контакті в'язучого з кам'яними матеріалами: фізичних, хемосорбційних і фільтраційних [6, 7]. Всі ці процеси призводять до зміцнення нафтового бітуму у складі асфальтобетону. Активність



мінерального порошку по відношенню до бітуму можна характеризувати його структуруючою здатністю.

Структуруюча здатність мінерального порошку є одним з важливих показників його якості, оскільки побічно характеризує пористість і ступінь розвиненості внутрішньої поверхні мінеральних зерен.

**Постановка мети і задач досліджень.** Метою виконаної роботи було встановлення відповідності оцінки результатів визначення структуруючої здатності мінеральних порошоків для виготовлення асфальтобетонних сумішей за методиками, встановленими у ДСТУ 8772 [8] та у EN 13179-1 [9], що регламентується ДСТУ Б EN 13043:2013 [2].

**Методи та об'єкти дослідження.** Структуруюча здатність мінерального порошку згідно з вимогами [1] визначається як різниця між температурою розм'якшеності асфальтов'язучої речовини та вихідного нафтового бітуму БНД 60/90. Асфальтов'язуча речовина виготовляється шляхом суміщення розігрітих бітуму БНД 60/90 (40% за масою) та мінерального порошку дрібніше 0,071 мм (60% за масою).

Європейські норми [9] на визначення структуруючої здатності мінерального порошку передбачають використання для цього випробування мінерального порошку дрібніше 0,125 мм та дорожнього бітуму марки 70/100. Дозування компонентів здійснюється за об'ємом у співвідношенні: 37,5% мінерального порошку та 62,5% бітуму. Необхідну кількість мінерального порошку згідно з [9] визначають за формулою (1):

$$m_f = 0,6m_b \times \rho_f / \rho_b \quad (1)$$

де  $m_b$  – маса нафтового бітуму, г;

$\rho_f$  – дійсна густина мінерального порошку, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_b$  – дійсна густина бітуму, г/см<sup>3</sup> (дозволяється приймати 1,025 г/см<sup>3</sup>).

В якості об'єктів дослідження прийнято мінеральні порошки з сировини різного походження: зола виносу Криворізької ТЕС, зола виносу Бурштинської ТЕС, мелений кварцовий пісок (смт. Безлюдівка, Харківська обл.), мелений сірий граніт (с. Петрівське, Дніпропетровська обл.), вапняковий мінеральний порошок (смт. Скала-Подільська, Тернопільська обл.), мелений базальт (с. Янова Долина, Рівненська обл.), портландцемент низької активності М 300 (м. Балаклія Харківська обл.) та гашене вапно (м. Харків).

Для проведення досліджень використовували в'язкий бітум марки БНД 70/100 (Кременчуцького НПЗ Україна). Результати випробувань

основних властивостей бітуму наведені у табл. 1. Властивості нафтового бітуму повністю відповідають встановленим вимогам ДСТУ 4044 [10].

Дійсну густину мінеральних порошків визначали пікнометричним методом згідно з [8].

Таблиця 1

Технічні властивості бітуму БНД 70/100

№	Назва показника	Норма за ДСТУ 4044 [10]	Фактичні значення
1	Глибина проникнення голки, 0,1 мм, за 25°C	71-100	77
2	Температура розм'якшеності, °C	45-51	47,9
3	Розтяжність, см за 25 °C	не менше 60	80
4	Зміна властивостей після прогріву - зміна ваги, % - залишкова пенетрація, % - зміна температури розм'якшеності, °C	не більше 0,9 не менше 59 не більше 6,0	0,28 66,2 3,1
5	Температура крихкості, °C	не вище -13,0	-20
6	Температура спалаху, °C	не нижче 230	302
7	Зчеплюваність із поверхнею скла, %	не менше 18,0	27,9
8	Індекс пенетрації	від -2,0 до +1,0	-0,68

**Результати досліджень.** Для проведення дослідження використовували мінеральні порошки фракції дрібніше 0,071 мм. Для прийнятих об'єктів дослідження попередньо визначали дійсну густину. Результати визначення дійсної густини мінеральних порошків наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Дійсна густина мінеральних порошків

№ з/п	Найменування об'єкту	Дійсна густина, г/см <sup>3</sup>
1	Зола виносу Криворізької ТЕС	2,38
2	Зола виносу Бурштинської ТЕС	2,40
3	Мелений кварц	2,68
4	Мелений сірий граніт	2,73
5	Вапняковий мінеральний порошок	2,80
6	Мелений базальт	2,96
7	Портландцемент низької активності М 300	3,08
8	Гашене вапно	2,82

Дійсна густина прийнятих об'єктів значно розрізняється (від 2,38 до 3,08 г/см<sup>3</sup>), що впливає на необхідну кількість мінерального порошку у складі асфальтов'язучої речовини для визначення структуруючої здатності згідно з [9].

Асфальтов'язучу речовину виготовляли шляхом ретельного перемішування розігрітих до температури 150–155 °С компонентів: мінерального порошку та нафтового бітуму.

Результати визначення структуруючої здатності мінеральних порошоків за різними методиками наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Порівняння структуруючої здатності мінеральних порошоків, що визначена за методиками ДСТУ 8772:2018 [8] та EN 13179-1:2013 [9]

№ з/п	Найменування об'єкту	ДСТУ 8772			EN 13179-1		
		Маса, г		ΔТр, °С	Маса, г		ΔТр, °С
		МП	БНД 70/100		МП	БНД 70/100	
1	Зола виносу Криворізької ТЕС	12	8	14,3	11,2	8	13,2
2	Зола виносу Бурштинської ТЕС	12	8	12,4	11,2	8	11,3
3	Мелений кварц	12	8	10,5	12,6	8	11,9
4	Мелений сірий граніт	12	8	12,1	12,8	8	14,0
5	Вапняковий мінеральний порошок	12	8	13,5	13,1	8	16,2
6	Мелений базальт	12	8	11,4	13,9	8	16,6
7	Портландцемент низької активності М 300	12	8	15,0	14,4	8	21,0
8	Гашене вапно	12	8	23,1	13,2	8	32,0

Структуруюча здатність, визначена згідно з [8], всіх мінеральних порошоків, окрім гашеного вапна, знаходиться в межах 10-20 °С, що відповідає вимогам [1]. Надмірна структуруюча здатність гашеного вапна зумовлена високою адсорбуючою здатністю, пористістю та розвиненою поверхнею часток вапна.

Використання методики [9] для визначення структуруючої здатності мінеральних порошоків призводить до збільшення кількості порошку (за масою) у порівнянні з методикою [8], за винятком золи виносу. Кількість золи виносу, навпаки, зменшується через низьку дійсну густина цього матеріалу.

Дозування компонентів асфальтов'язучої речовини (бітуму та мінерального порошку) за об'ємом є більш оптимальним, ніж дозування за масою, тому що дозволяє виключити вплив товщини бітумних плівок на показник стуктурууючої здатності. В цьому випадку показник стуктурууючої здатності залежить від розвиненості поверхні часток, внутрішньої пористості та взаємодії між мінеральною поверхнею та бітумом.

Мінеральний порошок при взаємодії з бітумом стуктурує його [7], тобто переводить частину бітуму у тонкоплівковий стуктурований стан, тому збільшення його вмісту зменшує товщину бітумної плівки і, відповідно, призводить до підвищення в'язкості бітуму, підвищення міцності його плівок. В свою чергу це забезпечить міцність бітумомінеральних систем, в тому числі міцність асфальтобетону при застосуванні мінерального порошку.

Таким чином, методики випробування мінерального порошку, що використовуються в Україні, вимагають вдосконалення, а технічні норми – уточнення.

### **Висновки**

1. Стуктуруюча здатність є одним з найважливіших показників мінерального порошку. Саме стуктуруюча здатність характеризує спроможність мінерального порошку забезпечити необхідну міцність та теплостійкість асфальтобетону.
2. Методика визначення стуктурууючої здатності, що прийнята в ДСТУ 8772:2018, призводить до отримання завищених показників для мінеральних порошоків з низькою дійсною густиною (менше 2,56 г/см<sup>3</sup>) та занижених показників при високій дійсній густині (більше 2,56 г/см<sup>3</sup>) мінеральних порошоків.
3. Для підвищення об'єктивності отриманих величин стуктурууючої здатності мінеральних порошоків необхідно враховувати дійсну густину матеріалу при виготовленні асфальтов'язучої речовини аналогічно методиці, прийнятій в EN 13179-1:2013.

### **References**

1. DSTU B V.2.7-121:2014. Budivelni materialy. Poroshok mineralnyj dlya asfaltbetonnyh sumishej. Tehnichni umovy (Zmina # 1). Acting from 2015-01-01. Issue Kyiv: Minregion Ukrainy, 2014. 28 p.
2. DSTU B EN 13043:2013. Zapovnyuvachi dlya bitumomineralnyh sumishej i poverhnevyyh obrobok dorog, aerodromnyh pokryttiv ta stoyanok dlya avtomobilnogo transportu. Chynnyj vid 2014-10-01. Issue Kyiv: Minregion Ukrainy, 2014. 44 p.
3. Pyirig, Ya.I. O strukturiruyushey sposobnosti mineralnyh poroshkov. Visnyk Narkivskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universytetu. 2014. Issue 67. P. 89–93.
4. Radovskiy B.S. Sovremennyye trebovaniya k kamennyim materialam dlya asfaltbetonnyh smesey v SShA. Dorozhnaya tehnika. – 2009. – P. 74–85.

5. Taylor R. Surface interactions between bitumen and mineral fillers and their effects on the rheology of bitumen-filler mastics. Nottingham: The University of Nottingham, 2007. 238 p.
6. Volkov M.I., Borsch I.M. Issledovanie mineralnykh poroshkov dlya asfaltovykh smesey. Trudy HADI. 1956. Vyip. 18. P. 73–83.
7. Borsch I.M. Strukuroobrazuyuschaya rol mineralnykh poroshkov v asfaltovykh smesyah. Trudy HADI. 1954. Vyip. 17. P. 10–15.
8. DSTU 8772:2018. Poroshok mineralnyj dlya asfaltobetonnykh sumishej. Metody vyprobuvannya. Acting from 2019-01-01. Issue Kyiv: DP «UkrNDNCz». 2018. 42 p.
9. BS EN 13179-1:2013. Tests for filler aggregate used in bituminous mixtures - Part 1: Delta ring and ball test. 30 May 2013. BSI Standards Publication. 2013. 12 p.
10. DSTU 4044:2019. Bitumy naftovi dorozhni v'язki. Tehnichni umovy. Chynnyj vid 2020-05-01. Issue Kyiv: DP «UkrNDNCz». 2020. 15 p.

### **Список використаних джерел**

1. ДСТУ Б В.2.7-121:2014. Будівельні матеріали. Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови (Зміна № 1). Чинний від 2015-01-01. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 28 с.
2. ДСТУ Б EN 13043:2013. Заповнювачі для бітумомінеральних сумішей і поверхневих обробок доріг, аеродромних покриттів та стоянок для автомобільного транспорту. Чинний від 2014-10-01. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 44 с.
3. Пыриг, Я.И. О структурирующей способности минеральных порошков. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2014. Вип. 67. С. 89–93.
4. Радовский Б.С. Современные требования к каменным материалам для асфальтобетонных смесей в США. *Дорожная техника*. 2009. С. 74–85.
5. Taylor R. Surface interactions between bitumen and mineral fillers and their effects on the rheology of bitumen-filler mastics. Nottingham: The University of Nottingham, 2007. 238 p.
6. Волков М.И., Борщ И.М. Исследование минеральных порошков для асфальтовых смесей. *Труды ХАДИ*. 1956. Вып. 18. С. 73–83.
7. Борщ И.М. Структурообразующая роль минеральных порошков в асфальтовых смесях. *Труды ХАДИ*. 1954. Вып. 17. С. 10–15.
8. ДСТУ 8772:2018. Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Методи випробування. Чинний від 2019-01-01. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2018. 42 с.
9. BS EN 13179-1:2013. Tests for filler aggregate used in bituminous mixtures - Part 1: Delta ring and ball test. 30 May 2013. BSI Standards Publication. 2013. 12 p.
10. ДСТУ 4044:2019. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. Чинний від 2020-05-01. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2020. 15 с.

**RESEARCH OF THE BRIDGE STRUCTURE BY IMPACT-ECHO  
METHOD**

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МОСТА МЕТОДОМ ІМПАКТ-ЕХО**

**Orešković Matija, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Cvitković Ivan, mag. ing. traff., Brlek Predrag, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, (University North, Varazdin, Croatia), Klymenko Ievgenii, Doctor of Engineering, Professor (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine), Kučina Lucija, bacc. ing. aedif. (University North, Varazdin, Croatia), Krantovska Olena, Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine)**

**Орешкович Матія, к.т.н., доц., Цвіткович Іван, магістр, Брлек Предраг, к.т.н., доц. (Північний університет, Вараздін, Хорватія), Клименко Євгеній, д.т.н., проф. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна), Кучіна Луція, бакалавр (Північний університет, Вараздін, Хорватія), Крантовська Олена, к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, Україна)**

*This article reflects the results of studies of the operated bridge on the river Mozdernyak in the municipality of Kneginek (Croatia), which was subject to expert analysis of the needs of reconstruction.*

*In the process of field research of the structures of the considered bridge, the Impact-Echo method was used and at the same time the peculiarities of the method of this method were investigated. In particular, on the basis of the Impact-Echo method, the construction of the old part of the studied bridge was checked, as well as the connection of this old part with the new part of the bridge was checked.*

*Also, studies on the example of the construction of this bridge found that the acoustic properties of the wall components (brick, block and mortar) are quite similar, that in most cases masonry building elements respond to Echo-Impact as a solid block and this should be taken into account. This method allows you to detect cavities in several walls and assess their scale and impact on the strength of structures.*

*The use of research equipment provided by the Impact-Echo method allowed to investigate the deposition of concrete in the lower and upper reinforcing zones of the bridge, as well as to determine the existing boundary between the layer of concrete and asphalt.*

*Thus, the results of the research presented in the article allow to improve the methodology of research of bridge structures by the Impact-Echo method. In addition, expert opinions were made on the condition and prospects of operation of the bridge considered in this article - the bridge structure is in a satisfactory condition, which*

*allows its operation. However, after some time it is recommended to repeat the research of the bridge using the method of the Beat-Echo method, with the continuation of the research areas to a new section of the bridge.*

*У даній статті відображено результати досліджень експлуатованого моста на річці Моздерняк в общині Кнегінек (Хорватія), який підлягав експертному аналізу щодо потреб проведення реконструкції.*

*У процесі виконання натурних досліджень конструкцій розглядуваного моста використовувався метод Удар-Ехо та одночасно досліджувалися особливості методики даного методу. Зокрема, на основі методу Удар-Ехо проводилась перевірка конструкції старої частини досліджуваного моста, а також здійснювалась перевірка зв'язку цієї старої частини із новою частиною моста. Також дослідженнями на прикладі конструкції даного моста встановлено, що акустичні властивості компонентів стіни (цегла, блок та розчин) досить подібні, що в більшості випадків муровані будівельні елементи реагують на Ехо-Удар як суцільний блок і це потрібно враховувати у методиці досліджень конструкцій за даним методом. Даний метод дозволяє виявити порожнини у декількох стінах та оцінити їх масштаби і вплив на міцність конструкцій.*

*Використання обладнання для досліджень, передбаченого методикою методу Удар-Ехо, дозволило дослідити відкладення бетону на ділянках нижньої та верхньої арматурних зон конструкції даного моста, а також визначити існуючу межу між шаром бетону та асфальту.*

*Таким чином, наведені у статті результати проведених досліджень дозволяють удосконалити методику досліджень конструкцій мостів методом Удар-Ехо. Крім того, зроблено експертні висновки про стан та перспективи експлуатації розглядуваного у даній статті моста – конструкції моста є у задовільному стані, що дозволяє проводити його експлуатацію. Однак, через деякий час рекомендується повторити досліджень моста з використанням методики методу Удар-Ехо, із продовженням ділянок досліджень на нову секцію моста.*

*Keywords: Impact-Echo method, bridge, armature, non-destructive testing, delimitations, shock waves, dot raster, frequency.*

*Ключові слова: метод Удар-Ехо, міст, арматура, неруйнівне випробування, розмежування, ударні хвилі, точковий растр, частота.*

## **1. Introduction**

### **1.1. Impact-echo method**

Impact-Echo is a method for non-destructive testing (NDT) of concrete and masonry structures [1-8 et al.]. The basic researches of a technical condition of various reinforced concrete structures, recommendations on diagnostics are given in our works [4, 5, 9-13, etc.]. Impact-Echo method is based on the use of shock waves that propagate through the medium and are reflected on internal cracks and exterior surfaces [1-3 et al.]. It is used to determine the position and extent of cracks, delamination, cavities, honeycomb-like structures, and separation in flat, reinforced, and subsequent concrete structures. It used for

slabs, concrete asphalt pavements, columns and beams, hollow cylinders. It provides thickness measurement of concrete slabs with an error of less than 3 % and can locate cavities in the substrate directly from the slab and pavement. The method is most successfully used to identify and quantify suspected problems within the structure, to control quality, such as measuring the thickness of concrete slabs, and in preventative maintenance programs, such as routine evaluation of a bridge deck [3-7 et al.]. In all these situations, Impact-Echo testing has a goal, such as locating cracks, gaps or detachment, measuring thickness, or checking post-fabricated structures for gaps in joint tendons. The Impact-Echo method is very successful in fieldwork [3, 6, 7, etc.]. Impact-Echo testing relies on three basic components: a mechanical impact element capable of producing short-term shocks, the duration of which may change ; surface response receiver/amplifier; a signal analysis system for collecting data for recording, processing and storing wave signals [1-3, 7, etc.].

Impact-Echo is based on the transient shock waves generated by elastic action. The short-term mechanical impact, produced by slamming a small steel ball onto a concrete or masonry surface, is used to create low impact frequencies that propagate into the structure and are reflected in defects and/or external surfaces [1-3, 5-7, etc.]. The surface displacements caused by reflections of these waves are recorded by the probe, located near the impact [1, 2]. The resulting time-shift, signals are converted to the frequency domain. Frequency-amplitude diagrams (spectra) are obtained with the help of measuring equipment [7, 8].

## **2. Testing of the bridge structure by Impact-Echo method**

In Impact-echo testing, the number of samples,  $n$ , recorded in each test is usually selected as the potential of 2 (512, 1024, 2048, etc.) The product of the number of samples,  $n$ , and the sampling interval,  $\Delta t$ , is the length of the record, resp. the total length of time during which the waveform is recorded. The units of the transducer are tightly clamped on the dividing bar, which holds them at a fixed distance,  $L$ , separately (usually 300 mm), and the aim is to measure as accurately as possible the arrival time of the spherical P – wave at the two transducers.

If we have time  $t_1$  and  $t_2$  then the velocity  $P$  of the wave  $C_p$  is given by equation (1).

$$C_p = \frac{L}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

Is determined by the P-wave speed, to provide a frequency  $f$  measured at the same site as the speed:

$$f = \frac{0,96 C_p}{2T} \rightarrow T = \frac{0,96 C_p}{2f} \quad (2)$$



$L = 300 \text{ mm}$  is taken as an example:

$$t_2 - t_1 = 75 \mu\text{s} \quad (3)$$

$$C_p = \frac{L}{t_2 - t_1} = \frac{0,3}{0,000075} = 4000 \text{ m/s} \quad (4)$$

After reading  $f_T(\text{reading}) = 10,3 \text{ kHz}$  we get:

$$T = \frac{0,96C_p}{2f} = 186 \text{ mm} \quad (5)$$

In June 2017, the bridge under study was expanded [14]. After the visible damage in advance for two years, it was asked to do Impact-Echo test (Fig. 1, [4, 5]).



Fig. 1. Preparation for testing by the Impact-Echa method

The bridge is laterally widened and its dimensions are 5.0 m and 6.0 m (Fig. 2).

The Impact-Echo method made a check of the construction of the old part of the bridge, as well as of the connection of the old part with the new part [4, 5]. The survey is divided into two sides of the bridge, where the grid of points is 4 x 24 (Fig. 3).

After plotting the point grid, the Impact-Echa settings are set before placing the device on the test surface. The assumed thickness of the asphalt and concrete layer is defined in the program. The wave velocity of the slab is set, and the frequency is 6.3 kHz as the frequency of the concrete layer. The frequencies between the two lines (green and blue), which define the boundaries

of the layers according to the preset parameters at 6.3 kHz and 12.7 kHz, are observed (Fig. 4).

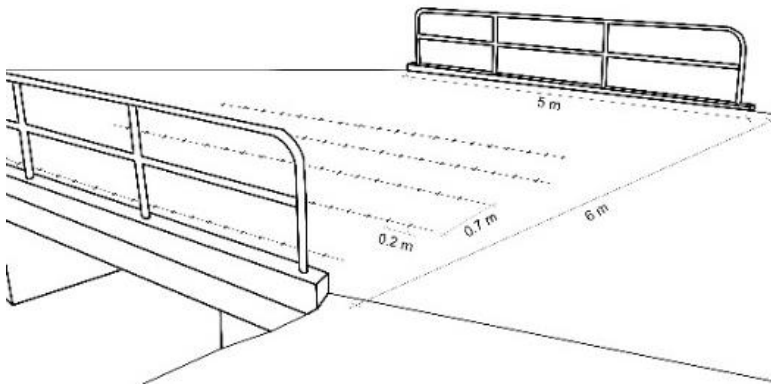


Fig. 2. Bridge dimensions and sketch

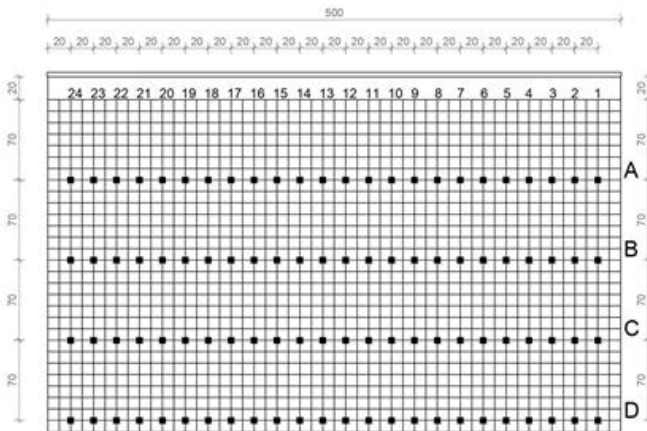


Fig. 3. Point grid

The red line in Fig. 4 indicates the dominant peak. The frequencies between these two lines represent the reflection of the P-wave in the concrete layer. The frequencies to the right represent the reflection of the P-wave within the asphalt layer of the green line.

A frequency of 6.3 kHz is set as the frequency of the concrete layer. The same frequency is at 286 mm thick, while 315 mm is the intended thickness. There are two options. At a thickness of 286 mm, there is a crack or

delamination, while the other possibility is that the thickness of the layer is at that point of the raster (Fig. 5).

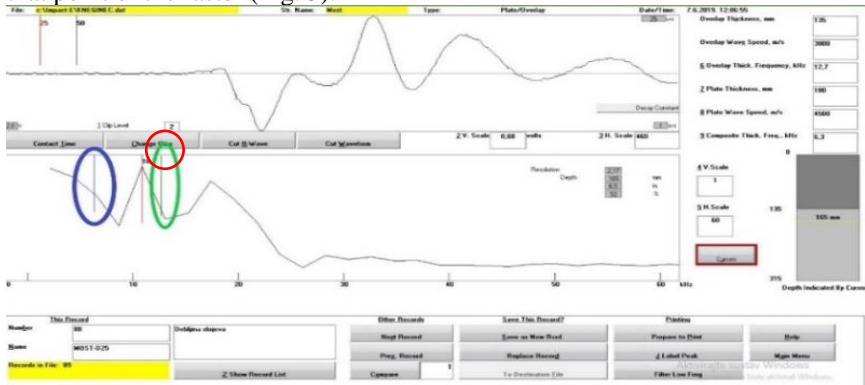


Fig. 4. Impact-echo program (D25)

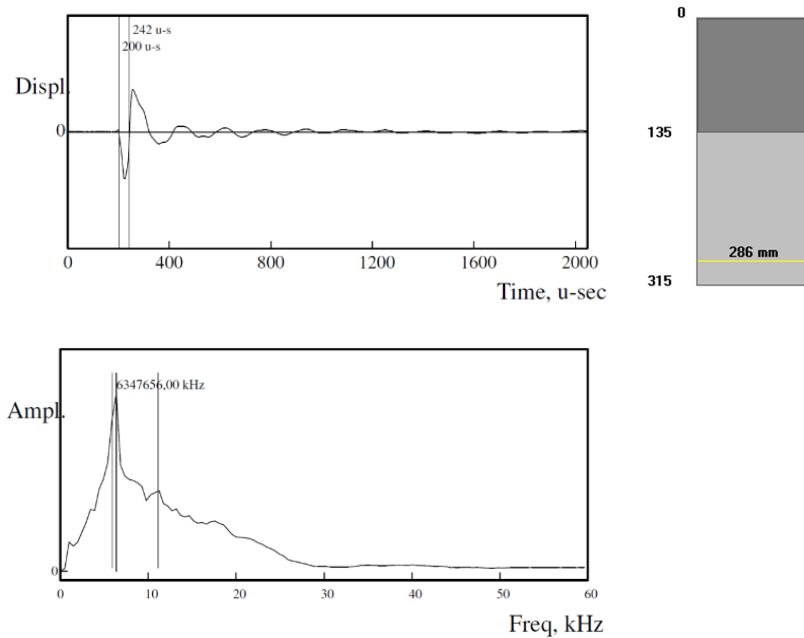


Fig. 5. Test at raster point A3

The read frequency of 9.8 kHz at the point of raster B12 (Fig. 6) is its dominant peak. A P-wave reflection occurs at a depth of 162 mm, approximately 27 mm below the junction of the layers, which is approximately the position of the upper reinforcement. Delamination of concrete is indicated indicating any damage or deterioration. The sharp tip of the P-wave reflection from delimitation confirms the original depth.

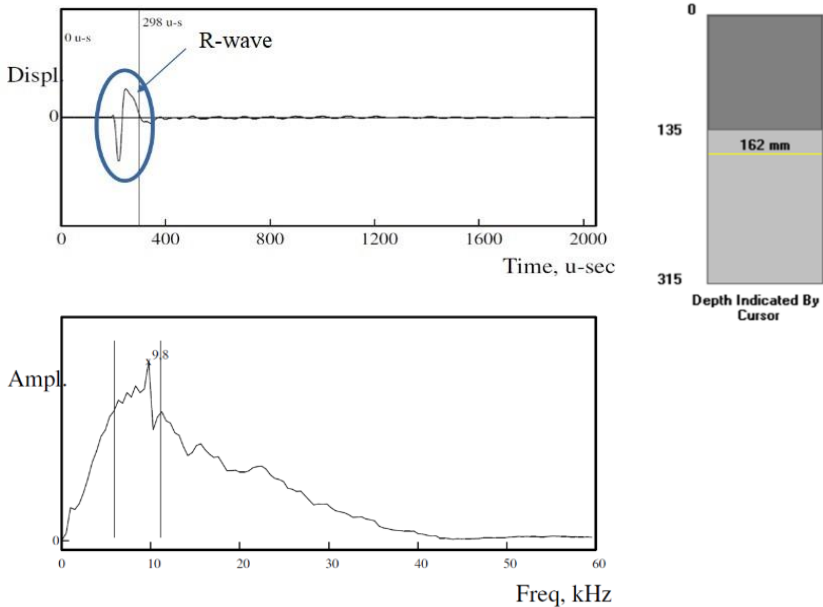


Fig. 6. Test at raster point B12

For the tabular results (Table 1) it was selected an 8-point grid of 89 (Fig. 7), which are located at mutual intervals of 1 m.

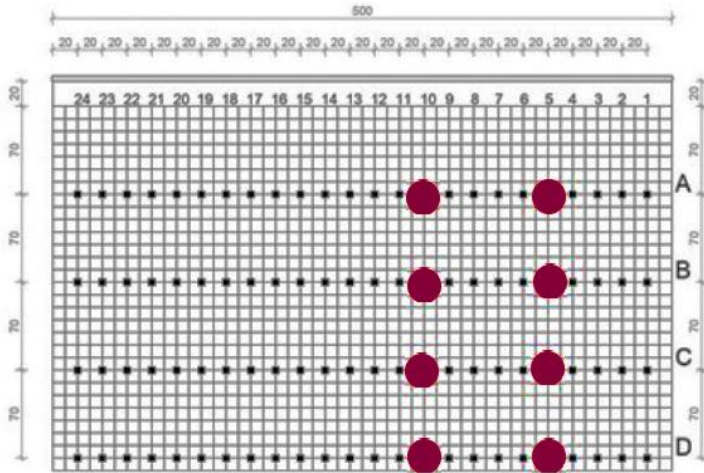


Fig. 7. View of selected 8 raster points

Table 1. Test analysis

The raster point number	Estimated thickness of asphalt layer [mm]	Estimated thickness of concrete layer [mm]	Estimated total thickness [mm]	Dominant peak [kHz]	Reflection. P-wave at a certain depth [mm]	Distance from junction of layers	Consideration of possibilities
A5	135	180	315	11,7	150	approx. 15 mm below the junction of the layers	Possible placement of upper reinforcement / delimitation of concrete
A10	135	180	315	3,9	/	/	Inability to get concrete layer information because P-waves are not transmitted through the joint
						approx. 68 mm below	Delimitation of concrete / reinforcement area

B5	135	180	315	8,7	203	the junction of the layers	
B10	135	180	315	4,3	/	/	Inability to get concrete layer information because P-waves are not transmitted through the joint
C5	135	180	315	4,3	/	/	Inability to get concrete layer information because P-waves are not transmitted through the joint
C10	135	180	315	6,5	303	approx. 168 mm below the junction of the layers	A crack or delimitation / thickness of a layer at that point of the raster
D5	135	180	315	13,0	131	approx. 4 mm above the junction of the layers	Delimitation of concrete / joint of two layers
D10	135	180	315	10,9	165	approx. 30 mm below the junction of the layers	Possibility of positioning the upper armature

After the table analysis (data Table 1 et [4, 5]), a graphical analysis was performed (Fig. 8), which included the data of 17 raster points, the depth of P-wave reflection as well as the distance from the junction of the layers. The green line indicates the critical depths of P-wave reflection, while the blue line indicates the depths that follow the asphalt layer. We can conclude that at critical depths the reflection of the P-wave is due to damage in the reinforcement.

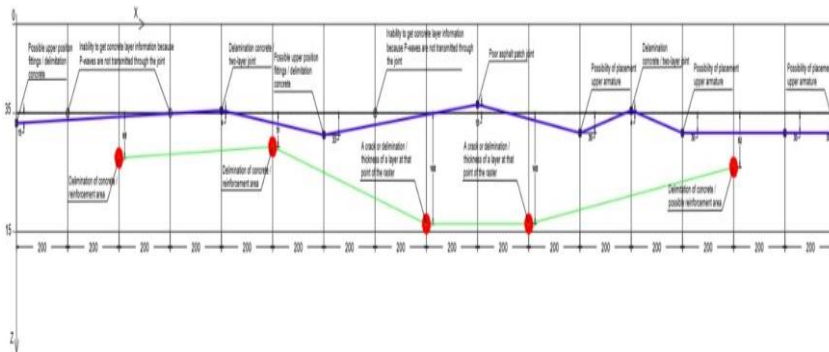


Fig. 8. Longitudinal cross-section of the bridge with the concrete delamination and possible damage to the reinforcement (red dots) and a realistic concrete-asphalt joint line (blue line)

### 3. Conclusion

By analyzing the Impact-Echo method, and examining it using the same method, we can come to several important conclusions. The acoustic properties of the wall components (brick, block, and mortar) are similar enough that in most cases the masonry building elements respond to the Impact-Echo as a continuous unit. For example, a single brick wall made up of brick and mortar can be treated as a slab for the purpose of Impact-echo testing. The cracks that appear in the joints have no effect on the brick response effect. The cracks that appear in the joints of the bearing can disrupt reaction, but the effects of this response are highly localized and resemble those of a panel. They can reveal gaps in the joints of the walls that are filled with mortar. It can be injected into voids cells block wall brick or mortar. They can detect cavities in the joints collar multiple walls. By selecting a longer time (more than 30  $\mu\text{s}$ ), core walls (where the core area is less than 25 % of the brick surface) can be successfully tested by the Impact-Echo method. The cores cause a measurable shift with respect to the thickness of the brick but do not prevent the detection of cavities in multiple walls. On the example of the Mozdernjak bridge extension, delaminations in concrete were found in the areas of the lower and upper reinforcement zones and a real boundary between the concrete and the asphalt layer was detected. Delaminations indicate extensions of the area around the reinforcement, suggesting rusting of the steel and thus internal damage to the structure. Generally speaking, the situation on the bridge in question is not alarming and as such, it is still usable for normal exploitation. After a while, it is recommended to repeat the bridge test, this time with the extension to a new section with relative control of the old already tested section.

## References

1. ASTM C1383-15. Standard Test Method for Measuring the P-Wave Speed and the Thickness of Concrete Plates Using the Impact-Echo Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015. URL: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?C1383-15>
2. Sansalone M. J., Streett W. B. Impact-Echo: Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry. - Bullbrier Press, 1997. - 339 pp.
3. Schubert F., Köhler B. Ten Lectures on Impact-Echo // Journal of Nondestructive Evaluation. – 2008, 27 (1), pp. 5-21. DOI: 10.1007/s10921-008-0036-2.
4. Orešković M., Cvitković I., Brlek P., Klymenko Ie., Kučina L., Krantovska O. Examination of the bridge on the Mozdernjak stream in the municipality of Kneginec (Croatia) // Problems of integrated city development: Collection of abstracts International scientific and practical conference of scientists and students. Lutsk, Ukraine, 29-31.01.2020. [Electronic resource] – Lutsk: Lutsk NTU – KNUCA, 2020. – pp. 57-60. URL: <https://konf-mbg.wixsite.com/Intu-bci-mbg-2020>.
5. Orešković M., Krpan L., Brlek P., Maršanić R., Kaniški G. Eksploatacija konstrukcije; Ispitivanje mosta na potoku Mozdernjak u općini Kneginec // Ceste 2020. Rovinj, Hrvatska, 10-13.03.2020. - Rovinj, Hrvatska, 2020. - p. 131-142.
6. Muhammad Tariq A. Chaudhary. Effectiveness of Impact Echo testing in detecting flaws in prestressed concrete slabs. - Construction and Building Materials. 2013, 47. - pp. 753-759. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.05.021.
7. Otero R., Sulbarán G., Moreno E. Impact-Echo Technique to Assess Concrete Structures. – NDT.net Journal. 2016, 21 (5). - pp. 1-12. URL: <https://www.ndt.net/search/docs.php?id=19109>
8. Impact-Echo Instruments. Field Instruments for Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry. – LLC, Ithaca, New York, USA. URL: <https://www.indiamart.com/proddetail/impact-echo-systems-9804497291.html>
9. Orešković M., Klymenko I., Aniskin A., Kozina G: Analysis of Damaged Concrete Columns of Circular Cross-Section. - Tehnički vjesnik. 2018, 25 (2). – pp. 337-343.
10. Volchuk V., Klymenko I., Kroviakov S., Orešković M. Method of material quality estimation with usage of multifractal formalism. - Technical Journal. 2018, 12 (2). - pp. 93-97.
11. Krantovska O., Petrov M., Ksonshkevych L., Orešković M., Synii S., Ismailova N. Numerical simulation of the stress-strain state of complex-reinforced elements. - Technical Journal. 2019, 13 (2). - pp. 110-115.
12. Orešković M., Zadravec V., Kos Ž., Klimenko E.V. Structural reliability and evaluation of current state of construction. - Technical Journal. 2015, 9 (4). - pp. 426-431.
13. Orešković M. Stress-strain state and strength of damaged compressed reinforced-concrete elements of circular cross section. Dis.... cand. tech. sc. Speciality 05.23.01 - building constructions, building and structure. - OSACE. - Odesa, 2015, 214 pp.
14. Proširenje mosta na potoku Mozdernjak [Electronic resource]. URL: <http://www.kneginec.hr/vijesti/gospodarstvo/838-prosirenje-mosta-na-potoku-mozdernjak.html>



**ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКІВ**

**THERMAL MODERNIZATION OF APARTMENT BUILDINGS**

**Пахолук О.А., к.т.н., доц., Самчук В.П., к.т.н., доц., Чапук О.С., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет), Зорук С.О., інженер (Ерланген, Німеччина)**

**Pakholiuk O.A., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Samchuk V.P., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Chapiuk O.S., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University), Zoruk S.O., engineer (Erlangen, Bundesrepublik Deutschland)**

*Проаналізовано стан житлового фонду в Україні та програми підвищення їх енергоефективності. Розглянуто заходи з підвищення енергоефективності у пакетах Фонду енергоефективності.*

*The energy intensity of Ukraine's economy is significant. In such conditions, the potential for energy saving measures is great and should be implemented in all types of economic activity.*

*There were 45,500 old and 16,800 emergency homes in Ukraine. The vast majority of such buildings have three to five floors. They are prefabricated or brick, built in the postwar years in large cities until the mid-70s of the twentieth century. Today, these houses have critical indicators of physical wear.*

*The housing sector is second only to industry in terms of energy consumption. It was in it that the significant potential for energy savings was concentrated. This condition of buildings leads to significant energy costs for their maintenance.*

*To realize the potential of energy saving in the residential sector, laws were adopted regulating housing and communal services, commercial energy accounting, property rights in apartment buildings and energy efficiency of buildings. In 2018, the Energy Efficiency Fund began its work. Its purpose is to provide tools for thermal renovation of apartment buildings with condominiums. Until recently, the state program "Warm Loans" and the donor program IQ Energy also operated. In addition to state programs, there are local programs to support energy efficiency. Today, the Energy Efficiency Fund is the only government program that works to improve the energy efficiency of apartment buildings with condominiums.*

*In 2017, the Law of Ukraine on Energy Efficiency of Buildings was adopted. The certificate is produced within the framework of the energy audit and is a prerequisite for obtaining compensation for energy efficiency measures. Until December 2020, the database of energy efficiency certificates was maintained by the State Agency for Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine. At the moment, all certificates are registered by energy auditors and stored on the Portal of the state electronic system in the field of construction.*

In addition to the energy efficiency certificate, a reference report to the building's energy certificate is required to apply to the Energy Efficiency Fund. The annexes additionally provide more detailed information, including information on the cost-effectiveness of recommendations for improving the energy efficiency of the building, as well as data on the characteristics of enclosing structures, engineering systems of the building and recommendations for improving energy efficiency, including a list of measures.

Ключові слова: енергоаудит, термомодернізація, Фонд енергоефективності, програма «Енергодім»

Keywords: energy audit, thermal modernization, Energy Efficiency Fund, «Energodim» program

За даними Міжнародного енергетичного агентства [1] станом на 2017 рік енергоємність, виміряна в перерахунку на первинну енергію та ВВП, в Україні складала 0,27 кг нафтового еквіваленту. При цьому середній показник у країнах, що розвиваються, склав 0,123, у світі – 0,119, в Європі – 0,109 кг нафтового еквіваленту (рис. 1). Це свідчить про значну енергомісткість нашої економіки. У таких умовах потенціал заходів з енергозбереження є значним і повинен реалізовуватись у всіх видах економічної діяльності.

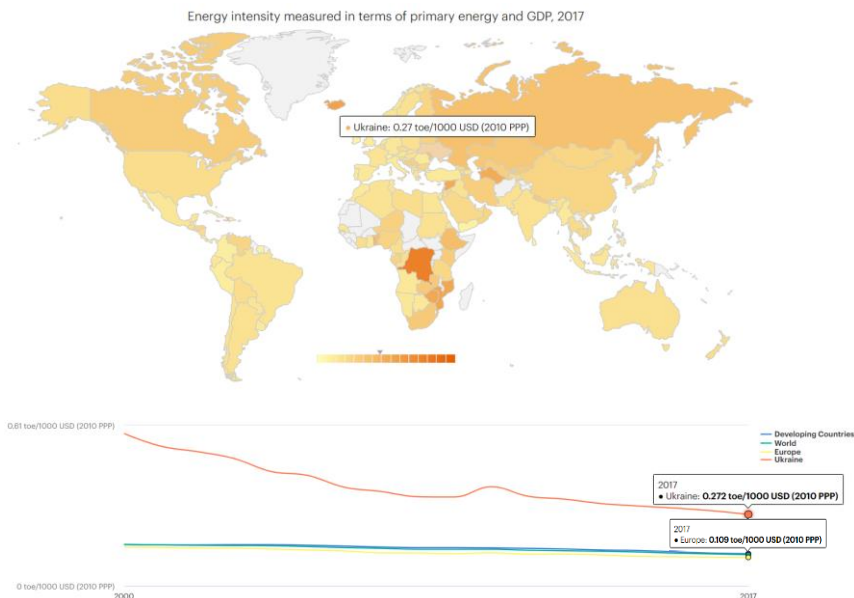


Рис. 1. Енергоємність, виміряна в перерахунку на первинну енергію та ВВП, 2017 рік [1]

«За даними Державної служби статистики, на 1 січня 2019 р. в Україні нараховувалося 45,5 тис. старих і 16,8 тис. аварійних будинків. Переважна більшість таких будівель трьох-п'яти поверхів, панельні або цегляні, споруджені у післявоєнні роки у великих містах включно до середини 70-х рр. минулого сторіччя і на сьогодні мають критичні показники фізичного зносу. За інформацією Державної служби статистики, станом на 1 січня 2020 р. в Україні з 200 тис. багатоквартирних будинків майже 12% було зведено в 1919–1945 рр., кожен четвертий будинок – у 1946–1960 рр., ще майже чверть – у 60-х рр. Понад 67 тис. будинків збудовані протягом 1960–1980 рр.» [2].

Житловий сектор є другим, після промисловості, за обсягами споживання енергоресурсів. Саме в ньому був зосереджений значний потенціал енергозбереження. Такий стан будівель призводить до значних витрат енергії на їх обслуговування.

Для реалізації потенціалу енергозбереження у житловому секторі було прийнято закони, що регламентують житлово-комунальні послуги, комерційний облік енергоносіїв, права власності у багатоквартирних будинках та енергетичну ефективність будівель. У 2018 році розпочав свою роботу Фонд енергоефективності, метою якого є надання інструментів для термомодернізації багатоквартирних будинків з ОСББ. Також до недавнього часу діяли державна програма «Теплі кредити» і донорська програма IQ Energy. Крім державних, існують місцеві програми підтримки енергоефективності. На сьогодні Фонд енергоефективності є єдиною державною програмою, яка працює з підвищенням енергоефективності багатоквартирних будівель, у яких створено ОСББ.

Базово у роботі фонду закладено правильну концепцію проведення комплексної термомодернізації будівель, оскільки тільки у такому випадку можна очікувати реального ефекту від впровадження енергоефективних заходів. Стартовою точкою у процесі термомодернізації є прийняття правильних рішень із впровадження тих чи інших заходів. Для цього однією з обов'язкових умов є проведення енергетичного аудиту. Лише проведення такого аудиту дасть можливість комплексно оцінити стан будівлі (її конструктивних елементів, інженерних мереж), особливості експлуатації, енергоспоживання. При детальному підході до обстеження об'єкту стають зрозумілими системні помилки та можливості їх виправлення. Процедура енергетичного аудиту може бути проведена протягом усього року, однак додаткові обстеження (тепловізійне, температури теплоносіїв, якість утеплення інженерних мереж та ін.) є можливим провести лише під час опалювального періоду. Це не обмежує енергоаудиторів, оскільки такі обстеження лише доповнюють процедуру енергоаудиту, а не є його основними інструментами.

Із прийняттям у 2017 році Закону України Про енергетичну ефективність будівель для «будівель, в яких здійснюється

термомодернізація, на яку надається державна підтримка та яка має наслідком досягнення класу енергетичної ефективності будівлі не нижче мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівлі» [3] обов'язковою є сертифікація енергетичної ефективності. Виготовлення сертифікату відбувається в межах енергоаудиту і є обов'язковою умовою для отримання компенсації за проведення енергоефективних заходів. До грудня 2020 р. базу сертифікатів енергетичної ефективності вело Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. На даний момент усі сертифікати реєструються енергоаудиторами та зберігаються на Порталі державної електронної системи у сфері будівництва. Портал інтенсивно вдосконалюється, враховуються побажання та зауваження аудиторів до його роботи.

Крім сертифікату енергетичної ефективності обов'язковим для подачі заявки до Фонду енергоефективності є рекомендаційний звіт до енергетичного сертифікату будівлі. У додатках до нього зазначаються детальніші відомості, включаючи інформацію про економічну ефективність рекомендацій щодо підвищення рівня енергетичної ефективності будівлі, а також наведено дані про характеристики огорожувальних конструкцій, інженерних систем будівлі та рекомендації щодо підвищення рівня енергетичної ефективності, включаючи перелік заходів та інформацію щодо їх вартості.

Для проведення енергоефективних заходів Фонд пропонує пакети «А» та «Б». Кожен з пакетів містить обов'язкові та додаткові заходи. Із повним переліком заходів можна ознайомитись у додатку 2 до Програми підтримки енергомодернізації багатоквартирних будинків «ЕНЕРГОДІМ» <https://energodim.org/wp-content/uploads/2020/12/Perelik-zakhodiv-z-enerhoefektyvnosti-paket-A-paket-B.pdf>.

Значна вартість проведення заходів дозволяє розділити їх за значенням та важливістю на пакети і типи заходів. У межах кожного пакету є заходи, обов'язкові до впровадження у межах даного пакету, якщо відсутні підстави для їх виключення з цього переліку, а також додаткові, впровадження яких є рекомендованим, але не обов'язковим.

Логіка пакетів полягає у першочерговому впровадженні заходів, що відразу суттєво впливають на споживання енергоносіїв, а отже їх вартість у платіжках мешканців. Першочерговим є встановлення вузлів комерційного обліку теплової енергії, без яких будь яка мова про чисельне визначення витрат чи ефективності є неможливою.

Система опалення та гарячого водопостачання, особливо у будинках з централізованим їх забезпеченням, є основною витратною частиною. Тому в першу чергу проводяться заходи з їх модернізації, особливо у неопалювальних приміщеннях. Базовим є встановлення індивідуального теплового пункту із забезпеченням погодного регулювання та балансування системи опалення з допомогою автоматичних

балансувальних клапанів. Утеплення чи заміна з нормованим утепленням трубопроводів системи опалення та гарячого водопостачання в неопалювальних приміщеннях довершують цей комплекс заходів. Впровадження заходів з пакету «А» дозволить суттєво знизити витрати за порівняно невеликий кошт. Окупність заходів по цьому пакету залежно від типу та стану будинку складає, як правило, 1-2 роки. Прогнозований ефект від пакету – 25-35% економії енергоносіїв. Зазвичай у межах пакету «А» стараються також провести заміну вікон та зовнішніх дверей у місцях загального користування чи облаштувати тамбури зовнішнього входу. Це дозволить підвищити температуру на сходовій клітині на 3-5 градусів, що підвищить комфорт у квартирах.

Пакет «Б» носить назву «Комплексний» і може впроваджуватись як продовження термомодернізаційних заходів пакету «А» або як самостійний пакет. Він містить усі обов'язкові заходи пакету «А», а також розширений заходами з утеплення основних зовнішніх огорожувальних конструкцій: стін, горищ і дахів, перекриття підвалу. Заміна вікон та зовнішніх дверей у місцях загального користування чи облаштування тамбурів зовнішнього входу разом із утепленням огорожувальних конструкцій дозволяють створити нерозривний утеплений контур, який є однією з базових вимог до утеплення будівель. Це також дозволить змінити налаштування теплового пункту, що додатково зменшить втрати. Додаткові заходи пакету «Б» дозволять мешканцям утеплити та зашкрити балкони, замінити вікна у квартирах, модернізувати систему опалення, гарячого водопостачання, освітлення та вентиляції. Особливої уваги заслуговують заходи із встановлення вузлів розподільного обліку теплової енергії на потреби опалення або розподільвачів теплової енергії у квартирах. Цей захід разом із встановленням автоматичних регуляторів температури повітря на опалювальних приладах завершує заходи з модернізації системи опалення і дає безпрецедентні можливості індивідуального регулювання умов комфортності та індивідуального обліку спожитої енергії.

Окупність заходів пакету «Б» та їх вартість є значно вищими у порівнянні з пакетом «А», однак вони дозволяють значно скоротити витрати і привести будівлю до нормованих значень класу енергоефективності, визначених ДБН В.2.6-31:2016 та наказом №260 Міністерства розвитку громад та територій України.

Після проведення енергоаудиту та складання рекомендаційного звіту з описом проекту у відповідності до пакету заходів «А» чи «Б» оформляється перша заявка до Фонду енергоефективності. Після цього проводиться компенсація 70% від вартості енергоаудиту. Така процедура дозволяє максимально здешевити для мешканців процедуру аудиту та прискорити прийняття рішень про початок робіт з термомодернізації.

Для допомоги об'єднанням співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ) у підготовці документації, роботі з мешканцями та підрядниками, впровадженні заходів Фондом енергоефективності було запроваджено інститут проектних менеджерів та проведено ряд навчальних заходів для їх підготовки. На даний момент компенсація від фонду за роботу проектних менеджерів тимчасово призупинена, однак їх робота вкрай необхідна більшості ОСББ для якісного та швидкого просування шляхом термомодернізації їх будинків.

З огляду на вищевказане можна зробити висновки, що хоча житловий фонд знаходиться у не найкращому стані, та є дієві механізми його термомодернізації з компенсацією частини коштів від державного фонду. Це дозволить зменшити енергоспоживання житлових багатоквартирних будинків, покращити умови проживання та продовжити термін їх експлуатації.

### **Список використаної літератури**

1. Report extract. Energy intensity. URL: <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/energy-intensity> (дата звернення: 10.05.2021).
2. Беззуб І. Комплексна реконструкція застарілого житлового фонду: українські реалії та зарубіжний досвід. Громадська думка про правотворення. 2021. № 1 (206). С. 14–25. URL: <http://nbuviap.gov.ua/images/dumka/2021/1.pdf>. (дата звернення: 10.05.2021).
3. Закон України Про енергетичну ефективність будівель. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>. (дата звернення: 10.05.2021).

### **References**

1. Report extract. Energy intensity. URL: <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/energy-intensity> (date of application: 10.05.2021).
2. Bezzub I. Kompleksna rekonstruktsiia zastariloho zhytlovoho fondu: ukraïnski realii ta zarubizhnyi dosvid. Hromadska dumka pro pravotvorennia. 2021. № 1 (206). P. 14–25. URL: <http://nbuviap.gov.ua/images/dumka/2021/1.pdf>. (date of application: 10.05.2021).
3. Zakon Ukrainy Pro enerhetychnu efektyvnist budivel. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>. (date of application: 10.05.2021).

**АНАЛІЗ АДГЕЗІЙНИХ ДОБАВОК КАРБОЗАЛІН  
ANALYSIS OF ADHESIVE PROMOTERS KARBOZALINE**

**Пиріг Я.І., к.т.н., с.н.с. (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків), Галкін А.В., к.т.н., (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків)**

**Pyrig Y.I., Ph.D. in Engineering, S. Researcher (Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov), Galkin A.V., Ph.D. in Engineering (Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov)**

*Розглянуто вплив на стандартні показники якості нафтового дорожнього в'язкого бітуму різних видів поверхнево-активної добавки Карбозалін. В дослідженні особливу увагу приділено термостійкості адгезійних добавок, що визначалась згідно нормованих методик, наведених в ДСТУ Б EN 12607-1 та ДСТУ EN 12607-2.*

*The quality and durability of asphalt pavement generally is a matter of strength of bond between bitumen binder and mineral aggregate surface that are presented in the asphalt. The most common way to increase the bitumen adhesion to mineral surface is adhesive promoters using. Nowadays the numerous adhesive promoters are presented on the Ukrainian market. They include production of both foreign and domestic producers, but in most cases the data on efficiency of proposed adhesive promoters are limited or absent. The aim of this research work is the estimating of the efficiency of the domestic adhesive promoter's line "Karbozaline" in increasing the bitumen binder's adhesion. With this original pavement bitumen is modified with the minimal and maximal amount (following the producer instructions) of "Karbozaline" line additives. The common quality indexes according actual standards DSTU 4044 and SOU 45.2-00018112-067 are found for the obtained binders. The special attention is paid for finding resistance to stripping of the additives and their thermal stability. The last one is defined as a change of binder's adhesion to the glass surface after heating with the RTFOT method and modified TFOT method presented here. On the gained data it was found that common bitumen indexes stay merely unchanged under "Karbozaline" modification with only one exception for ductility that slightly increases. "Karbozaline" additives are improving bitumen adhesion reaching and exceeding the required minimum according SOU 45.2-00018112-067. With this "Karbozaline" additives decrease the rate of bitumen hardening, especially after the long term heating, which leads to residual penetration increasing. Meanwhile the "Karbozaline" additives have a low thermal stability. The adhesion of modified bitumen sharply decreases after heating, long term especially. Due to this the "Karbozaline" additives it is reasonable to add them directly in the bitumen line that leads to the asphalt mixer at the plant. This can save the efficiency of these additives in binder adhesion increasing.*

*Ключові слова: бітум, penetрація, поверхнево-активна добавка, зчеплюваність, термостабільність.*

*Keywords: bitumen, penetration, resistance to stripping, adhesive promoters, thermal stability.*

**Вступ.** Одним із факторів отримання якісного та довговічного асфальтобетонного покриття автомобільних доріг є забезпечення високого зчеплення бітумних в'язучих із поверхнею кам'яних матеріалів, що входять до складу асфальтобетонних сумішей. В Україні переважна кількість кам'яних матеріалів, що використовується в дорожній галузі, зокрема, для приготування асфальтобетонних сумішей, відносяться за вмістом кремнезему до кислих гірських порід. Враховуючи, що для взаємодії нафтових дорожніх бітумів з кислими гірськими породами є характерною слабка зчеплюваність [1, 2], проблема забезпечення високої якості асфальтобетонних покриттів для дорожньої галузі України є актуальною.

**Аналіз публікацій.** Одним з найпоширеніших шляхів підвищення зчеплюваності бітумів із поверхнею кам'яних матеріалів є застосування адгезійних добавок, що представляють собою поверхнево-активні речовини, які при введенні їх в малих концентраціях в дорожній бітум знижують поверхневий натяг та умови взаємодії на межі бітум – кам'яний матеріал [1, 2]. Адгезійні добавки широко використовуються в дорожніх галузях різних країн світу, про що свідчить їх широка номенклатура [3-5]. В Україні до певного часу застосовувались головним чином імпортні адгезійні добавки - SECABASE (Франція), TERAMIN (Польща), Iterchimica (Італія), Wetfix BE, Diamine (Швеція) [6-8], які показали високу ефективність у підвищенні адгезійних властивостей бітумних в'язучих, але мали високу вартість, що позначалось на загальній вартості виготовлення асфальтобетонних сумішей. Наприкінці минулого століття в Україні було розроблено та розпочато використання вітчизняної адгезійної добавки УДОМ, а в подальшому її модифікацій УДОМ-2 ... УДОМ-4 [9]. Ця адгезійна добавка показала високу ефективність підвищення адгезійної здатності як вітчизняних окислених, так і імпортних залишкових бітумів при приготуванні асфальтобетонних сумішей на вітчизняних кам'яних матеріалах [10, 11], а враховуючи її меншу вартість, стала рівноправним конкурентом імпортним аналогам.

Зараз в Україні поряд з імпортними широко використовуються й вітчизняні адгезійні добавки, такі як Адбіт та iDOP-PH, які, враховуючи їх ефективність, вартість та поширеність, не гірше за імпортні підвищують адгезійні властивості використовуваних у дорожній галузі України бітумних в'язучих і тим самим покращують якість та довговічність асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг [10, 12].



**Мета і задача дослідження.** Метою виконаної роботи була оцінка ефективності роботи вітчизняних адгезійних добавок серії Карбозалін, які останнім часом почали використовуватися у дорожній галузі України. Особливу увагу при оцінюванні ефективності добавок серії Карбозалін приділено їх термостабільності.

**Методи та об'єкти дослідження.** В якості об'єктів дослідження в роботі були прийняті бітум марки 70/100 виробництва Мозирського НПЗ (Республіка Білорусь) та адгезійні добавки серії Карбозалін, властивості яких, згідно даних виробника, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Вимоги до адгезійних добавок серії Карбозалін

Показники	Значення для добавок		
	Карбозалін АК	Карбозалін АК-Е	Карбозалін АК-Д
Зовнішній вигляд за 20 °С	В'язка рідина від жовтого до коричневого кольору	В'язка рідина коричневого кольору	В'язка рідина коричневого кольору
Температура плавлення, °С	≤ 4	≤ мінус 7	≤ 4
Динамічна в'язкість за 20 °С, Па×с	≤ 5	≤ 0,4	≤ 2
Загальне аміне число, мг НСІ / г	120	≥ 330	≥ 30
Кислотне число, мг КОН / г	≤ 10	≤ 10	≤ 35
Рекомендована концентрація, %	0,2 – 0,3	0,3	0,3 – 0,5
Термостабільність	зберігання в'язучого до 5 суток за робочих температур без втрати активності		

Введення адгезійних добавок у вихідний бітум здійснювалось шляхом їх змішування в лабораторній мішалці зі швидкістю близько 1000 об/хв. Температура суміщення складала  $(145 \pm 5)$  °С, а час змішування – 15 хв. Вихідний бітум модифікувався мінімальною та максимальною концентрацією добавок, згідно рекомендацій їх виробника (табл. 1).

Для отриманих бітумних в'язучих визначені стандартні показники якості згідно стандартів ДСТУ 4044 [13] та СОУ 45.2-00018112-067 [14]. Адгезійні властивості визначались за показником зчеплюваності із поверхнею скла за температури 85 °С. Термостабільність бітумів, модифікованих адгезійними добавками Карбозалін, оцінювалась за зміною зчеплюваності з поверхнею скла після старіння в'язучих за методом RTFOT та наведеною в ДСТУ 4044 модифікованою методикою TFOT (аналог методу старіння за ГОСТ 18180).

**Результати дослідження.** Властивості вихідного бітуму та бітумів, модифікованих адгезійними добавками Карбозалін, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Стандартні властивості бітумних в'язучих

Показники якості	БНД 70/100	БНД 70/100 + Карбозалін					Норми за [13] та [14] для БНД 70/100	
		АК	АК-Д	АК-Е				
Вміст добавки, %	-	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	-	
П <sub>25</sub> , 0,1 мм	79	82	78	86	87	76	71...100	
Тр, °С	48,6	47,4	47,4	47,6	48	47,9	45...51	
Ткр, °С	-19,5	-19	-18	-18,5	-19,5	-20,5	≤ -13	
Д <sub>25</sub> , см	116	140	138	114	108	146	≥ 60	
ІР	-0,42	-0,66	-0,80	-0,46	-0,31	-0,73	-2,0...+1,0	
С <sub>85</sub> , %	34,9	73,8	76,4	79,6	84,1	88,4	≥ 18* / ≥ 75**	
Старіння за ТФОТ	Пзал, %	67,1	62,2	70,5	67,4	71,3	84,2	≥ 59
	Δ Тр, °С	3,1	3,7	4,1	3,6	3,4	3,9	≤ 6
	Δ М, %	-0,05	-0,27	-0,02	-0,05	0,41	0,43	≤ 0,9
	Д <sub>25</sub> , см	95	67	90	86	84	85	-
	С <sub>85</sub> , %	37,8	35,0	53,7	25,5	46,4	34,4	≥ 65 **
Старіння за РТФОТ	Пзал, %	82,3	74,4	78,2	72,1	73,6	81,6	-
	Δ Тр, °С	3,1	2,4	2,5	3,2	3	3,5	-
	Δ М, %	-0,21	-0,06	-0,26	0,1	0,2	0,26	-
	Д <sub>25</sub> , см	95	88	89	85	82	68	-
	С <sub>85</sub> , %	40,0	61,1	64,5	64,8	90,2	45,3	≥ 60 **

**Примітка:** П<sub>25</sub> – пенетрація за температури 25 °С; Тр – температура розм'якшеності; Ткр – температура крихкості; Д<sub>25</sub> – розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С; ІР – індекс пенетрації; С<sub>85</sub> – зчеплюваність з поверхнею скла за температури 85 °С; Пзал – залишкова пенетрація; Δ Тр – зміна температури розм'якшеності; ΔМ – втрата маси; \* - норми за ДСТУ 4044 [13]; \*\* - норми за СОУ 45.2-00018112-067 [14].

Згідно отриманих даних прийняті в роботі адгезійні добавки дещо розріджують вихідний бітум, що проявляється у збільшенні значень пенетрації за температури 25 °С (особливо для добавки Карбозалін АК-Д ≈ на 10%, незалежно від концентрації добавки) та зниженні значень температури розм'якшеності (особливо для добавки Карбозалін АК – на 1,2%, незалежно від концентрації добавки). В той же час добавки серії Карбозалін майже не впливають на значення температури крихкості бітумів (зміна не перевищує 1°С, що є нижчою навіть за регламентоване значення збіжності, яке складає 3°С.

Добавка Карбозалін АК-Д практично не впливає на значення розтяжності вихідного бітуму за температури 25°С. Інші добавки, навпаки,

значно підвищують розтяжність бітуму – в середньому на 23 см при використанні Карбозалін АК та на 30 см – за модифікації вихідного бітуму добавкою Карбозалін АК-Е.

Згідно вищенаведених даних, введення добавок Карбозалін АК та Карбозалін АК-Е призводить до незначної зміни структурно-реологічного типу вихідного бітуму, шляхом наближення до типу «золь».

Основним призначенням адгезійних добавок є вплив на адгезійну здатність бітумів. Введення у вихідний бітум різної концентрації добавок Карбозалін призводить до підвищення значень зчеплюваності із поверхнею скла (рис. 1).

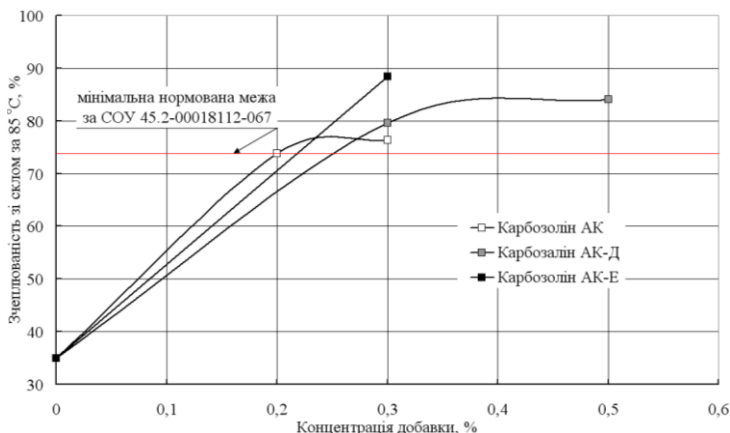


Рис. 2. Вплив добавок серії Карбозалін на зчеплюваність бітуму

Найбільше підвищення зчеплюваності спостерігається при модифікації бітуму добавкою Карбозалін АК-Е та сягає майже 85%. Інші добавки підвищують зчеплюваність дещо нижче, при цьому характерним є те, що зі збільшенням концентрації адгезійної добавки з мінімально рекомендованої до максимально рекомендованої виробником, підвищення значень зчеплюваності є мінімальним та складає 2,6% для добавки Карбозалін АК та 4,5% для Карбозалін АК-Д. За даними, наведеним на рис. 1, збільшення в бітумі концентрації добавок Карбозалін АК та Карбозалін АК-Д вище за максимальну, рекомендовану виробником, не буде сприяти підвищенню зчеплюваності. Таким чином, для виробничого застосування доцільним є використання добавок в мінімально рекомендованих виробником концентраціях (Карбозалін АК – 0,2% та Карбозалін АК-Д – 0,3%).

При використанні адгезійних добавок вони можуть зменшувати інтенсивність старіння бітумів [1, 2, 5]. У виконаній роботі старіння бітумів з добавками серії Карбозалін виконувалось за стандартними

методами TFOT та RTFOT, при цьому отримані дані значно відрізняються. Після старіння за методом TFOT спостерігається зменшення інтенсивності старіння бітумів, що підтверджується збільшенням значень залишкової пенетрації з 67,1% у вихідного бітуму до 84,2% у бітуму з добавкою Карбозалін АК-Е. В той же час після старіння за методом RTFOT, для якого є характерним примусова подача повітря у в'язуче, залишкова пенетрація модифікованих в'язучих (крім модифікації добавкою Карбозалін АК-Е) знизилась (до 10%) відносно вихідного бітуму. При цьому зміна температури розм'якшеності та зміна розтяжності бітумів з адгезійними добавками після старіння за обома методами знаходяться майже на одному рівні.

Значний вплив старіння надає на зчеплюваність в'язучих. В той час, як у вихідного бітуму після старіння за обома методами значення зчеплюваності підвищується, практично для всіх в'язучих з адгезійними добавками спостерігається падіння значень зчеплюваності (рис. 2).

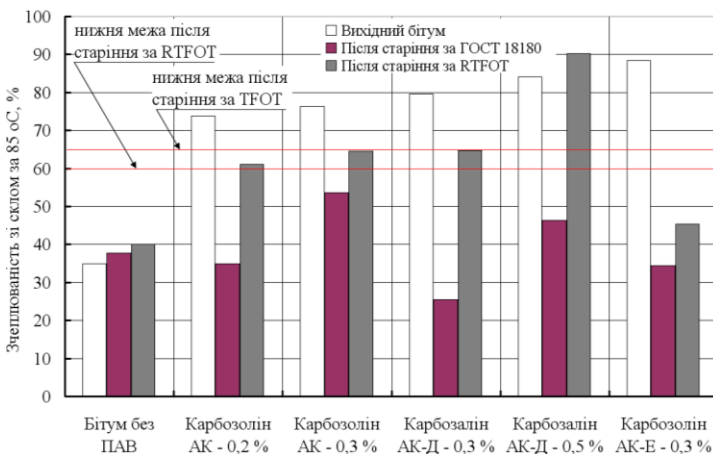


Рис. 2. Зміна зчеплюваності бітумів, модифікованих добавками Карбозалін, після старіння

Найбільше зменшення зчеплюваності спостерігається після старіння шляхом тривалого витримування (протягом 5 год. за температури 163°C) в'язучих за методом TFOT. Зчеплюваність бітумів, модифікованих всіма адгезійними добавками серії Карбозалін після старіння за методом TFOT є меншими, ніж встановлена в СОУ 45.2-00018112-067 [14] норма в 65%. При цьому зчеплюваність бітумів, модифікованих мінімальними концентраціями добавок Карбозалін є меншими, ніж зчеплюваність бітуму без добавок, зістареного за таким же методом.

Після старіння за методом RTFOT лише значення зчеплюваності

бітуму з добавкою Карбозалін АК-Е зменшилось майже до рівня зістареного бітуму без добавки. Зчеплюваність бітумів, модифікованих добавками Карбозалін АК та Карбозалін АК-Д після старіння за методом RTFOT знизилась в незначній мірі, порівняно зі зчеплюваністю цих в'язучих до старіння.

З вищевикладеного можна зробити наступні висновки: добавки практично не впливають на основні стандартні показники якості бітуму, крім розтяжності, яка дещо підвищується; використання адгезійних добавок серії Карбозалін дозволяє підвищити зчеплюваність бітуму; адгезійні добавки є не термостабільними, тому при використанні на виробництві цих добавок доцільним є введення їх безпосередньо в бітумопровід лінії подачі в'язучого в асфальтозмішувач. Отримані в роботі дані характеризують вплив добавок лише на прийнятий в роботі бітум і при зміні в'язучого можуть мати місце інші тенденції.

### **References**

1. Lisykhyna A.Y. Poverkhnostno-aktyvnie dobavky dlia povisheniya vodoustoichyvosti dorozhnikh pokrytiy s pryumeneniyem byumov y dehtei. Moskva: Avtotransyzdat, 1959. 232 p.
2. Kolbanovskaya A. S., Myhajlov V. V. Dorozhnye bitumy. Moskva: Transport, 1973. 264 p.
3. State of the art: Effect of water on bitumen - aggregate mixtures. Special report 98. Highway research board, 1968. 88 p.
4. Oliviero Rossi C., Teltayev B., Angelico R. Adhesion promoters in bituminous road materials: A review. Applied Sciences. 2017. T.7. №.5. 524. 10 p.
5. Valentin J., Vavricka J., Valentova T. Influence of Various Adhesion Promoters on Asphalt Behavior by Assessment of Water Sensitivity. Proceedings of the international conferences on the bearing capacity of roads, railways and airfields. 2013. pp. 735-744.
6. Rozrobka pokaznykiv otsinky efektyvnosti zastosuvannya kationnykh poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn v asfaltobetonі: Avtoref. dys... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. A.O. Pysanko; Khark. derzh. tekhn. un-t bud-va i arkhіt. Kharkiv, 2001. 18 p.
7. Zolotarov V.O., Aheieva O.M., Pyrih Ya.I., Yefremov S.V. Vplyv adheziinoi dobavky Wetfix BE na vlastyvosti bitumu ta asfaltobetonu. Avtoshliakhovyy Ukrainy. 2002. №. 1. P. 29-31.
8. Kudriavtseva Valdes S.V. Vlyianye poverkhnostno-aktyvnykh veshchestv na stsepljenje okyslennikh y ostatochnikh byumov s tverdoi podlozhkoi. Vestnyk KhNADU, vip. 71, 2015. P. 50-53.
9. Vyrobnnytstvo bitumu, shcho mistyt adheziinu dobavku UDOM-3: TR 218-03450778- 381:2007. DerzhdorNDI, 16.04.2007. 18 p.
10. Vyrozhemskyy V.K. ta in. Vplyv tekhnolohichnykh temperatur na zcheplyuvanist bitumiv, modyfikovanykh adheziinymy dobavkamy, z mineralnym materialom. Avtoshliakhovyy Ukrainy. № 2(254). 2018. P. 28-33.
11. Zolotarov V.O., Pyrih Ya.I., Halkin A.V., Kudriavtseva Valdes S.V. Porivnialne doslidzhennia vlastyvostei okyslennykh i zalyshkovykh bitumiv. Avtoshliakhovyy Ukrainy. 2010. №. 4. P. 32-37.

12. Zhdaniuk V.K., Shurupova A.A. Porivnialni doslidzhennia vplyvu poverkhnevo-aktyvnykh rečovyn na pokaznyk zcheplennia bitumiv z mineralnoiu poverkhneiu. Naukovi notatky. 2014. №. 45. P. 188-192.

13. DSTU 4044:2019. Bitumy naftovi dorozhni v'язki. Tehnichni umovy. [Acting from 2020-05-01]. Vyd. oficz. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 2019. 15 p.

14. SOU 45.2-00018112-067:2011 Bitumy dorozhni v'язki, modifikovani dobavkamy adheziinymy. Tehnichni umovy. [Acting from 2011-01-09]. Vyd. ofits. Kyiv: Ukravtodor. 2017. 17 p.

#### **Список використаної літератури**

1. Лысихина А.И. Поверхностно-активные добавки для повышения водоустойчивости дорожных покрытий с применением битумов и дегтей. Москва: Автотрансиздат, 1959. 232 с.

2. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. М.: Транспорт, 1973. 264 с.

3. State of the art: Effect of water on bitumen - aggregate mixtures. Special report 98. Highway research board, 1968. 88 p.

4. Oliviero Rossi C., Teltayev B., Angelico R. Adhesion promoters in bituminous road materials: A review. Applied Sciences. 2017. Т.7. №5. 524. 10p.

5. Valentin J., Vavricka J., Valentova T. Influence of Various Adhesion Promoters on Asphalt Behavior by Assessment of Water Sensitivity. Proceedings of the international conferences on the bearing capacity of roads, railways and airfields. 2013. pp. 735-744.

6. Розробка показників оцінки ефективності застосування катіонних поверхнево-активних речовин в асфальтобетоні: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.05. А.О. Писанко; Харк. держ. техн. ун-т буд-ва і архіт. Харків, 2001. 18 с.

7. Золотарьов В.О., Агеева О.М., Пиріг Я.І., Єфремов С.В. Вплив адгезійної добавки Wetfix VE на властивості бітуму та асфальтобетону. *Автошляховик України*. 2002. №. 1. С. 29-31.

8. Кудрявцева Вальдес С.В. Влияние поверхностно-активных веществ на сцепление окисленных и остаточных битумов с твердой подложкой. *Вестник ХНАДУ*, вып. 71, 2015. С. 50-53.

9. Виробництво бітуму, що містить адгезійну добавку УДОМ-3: ТР 218-03450778- 381:2007. ДерждорНДІ, 16.04.2007. 18 с.

10. Вирожемський В.К. та ін. Вплив технологічних температур на зчеплюваність бітумів, модифікованих адгезійними добавками, з мінеральним матеріалом. *Автошляховик України*. № 2(254). 2018. С. 28-33.

11. Золотарьов В.О., Пиріг Я.І., Галкін А.В., Кудрявцева Вальдес С.В. Порівняльне дослідження властивостей окислених і залишкових бітумів. *Автошляховик України*. 2010. №. 4. С. 32-37.

12. Жданюк В.К., Шурупова А.А. Порівняльні дослідження впливу поверхнево-активних речовин на показник зчеплення бітумів з мінеральною поверхнею. *Наукові нотатки*. 2014. №. 45. С. 188-192.

13. ДСТУ 4044:2019. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Чинний від 2020-05-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2019. 15 с.

14. СОУ 45.2-00018112-067:2011 Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками адгезійними. Технічні умови. [Чинний від 2011-01-09]. Вид. офіц. Київ: Укравтodor. 2017. 17 с.

**ОСОБЛИВОСТІ ВЛАШТУВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ  
ВІТРОДВИГУНІВ, ЩО СПРИЙМАЮТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНІ І  
КРУТИЛЬНІ НАВАНТАЖЕННЯ**

**CONSTRUCTION FEATURES OF WIND TURBINES' FOUNDATIONS,  
WITHSTANDING HORIZONTAL AND TORSIONAL LOADS**

**Плахотний Г.Н., к.т.н., доц., Чернецьва О.С., к.т.н., доц., Чорна Л.В.,  
к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та архітектури)**

**Plahotny G.N., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Chernieva  
O.S., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Chorna L.V. Ph.D. in  
Engineering, Associate Professor (Odesa State Academy of Civil  
Engineering and Architecture)**

*У статті викладені варіанти фундаментів для вітрогенераторів різної потужності та висоти, які здатні сприймати значні горизонтальні і крутильні навантаження. Конструктивно установки можуть бути моновітрорухливими (лопати розташовуються у стовбурі щогли) і полівітрорухливими (лопати або їх комплекс знаходяться перпендикулярно напрямку щогли). Підземна частина споруди повинна забезпечити стабілізаційну стійкість.*

*В якості фундаментів можуть застосовуватися монолітні стовпчасті плитні; пальові з пірамідальних або козлових паль, що самозакриваються при забиванні; бурові комбіновані.*

*In the article the variants of foundations for wind engines of different capacity and height, able to withstand considerable horizontal and torsional loads, are stated. Wind power plants for homes have been widely used on country plots and other sites that are remote from the main power grid. The height of the mast is 4-6m with a wind speed of 2.5 to 35m/s. The wind direction is determined by the side from which it blows. Meteorological data about wind direction is laid out in the form of a wind rose, which indicates its average speed in different directions.*

*Structurally, installations can be mono-wind (blades are located in the mast alignment) and multi-wind (blades or their complex are located perpendicular to the mast direction). Structurally, the mast can be one-piece tubular. At higher heights, lattice-space masts with strakes are used.*

*The underground part of the structure should provide stability. The loads which affect the foundations are as follows: permanent (its own weight, vertical load), temporary, temperature, and seismic.*

*Monolithic columnar slab foundations, piles made of pyramidal or batter piles, self-closing when driven, and drill-combined foundations can be used.*

*The construction of combined drilled-injection foundations is divided into several steps:*

- *drilling a hole  $\phi$ 250-350mm to a depth of 2.5 to 4.0m (image 1a);*
- *installation of a metal embedded pipe  $\phi$ 217mm with slots (4-8 pieces), in which the blades are embedded, attached to the pipe with special bolts (image 1b);*
- *lay the pipe in the drilled hole, and then with an anchor to crush the blades so that they through slots entered into the ground (image 1c);*
- *fill in the tube with anchor with concrete C15/20 with layer-by-layer compaction;*
- *ready-made combined drill-injection foundation can be used at installation of wind turbine with mast height 4.0-6.0m.*

*The main conclusions of the article are:*

- *wind turbines with a horizontal arrangement of the generator and the blades found wide application in suburban areas and other objects, which are remote from the main power grids.*
- *features of their work is the independence of the action of different wind direction from the wind rose, and the value of the load is transferred through the mast to the underground part of the structure.*
- *the joint operation of soil base with foundations on horizontal and torsional loads depends on the physical and mechanical characteristics of soils (density of dry soil, moisture, friction, etc.)*
- *from the considered variants of foundations, the most effective are foundations of driven seal piles (pyramidal batter), as well as combined drilled-injection foundations that allow to increase the resistance of piles to external loads due to compaction of soil during pile driving.*

*Ключові слова: вітродвигун, щогла, трубчасті щогли, решітчасті щогли, фундаменти монолітні стовпчасті плитні, пальові з пірамідальних або козлових паль, бурові комбіновані.*

*Keywords: wind turbine, mast, tubular masts, lattice masts, foundations monolithic columnar plate foundations, pyramidal or batter pile foundations, drill-combined foundations.*

Актуальність питання вітроенергетики в умовах дефіциту енергоресурсів в Україні не має сумнівів і доведена в праці Гайдаєнко [1].

Споруди вітродвигунів сприймають значні горизонтальні і крутильні навантаження. Причиною виникнення вітрів є поглинання земною атмосферою сонячного випромінювання, що призводить до розпарення повітря і появи конвекторних течій. Метеодані про напрям вітру відображають у вигляді троянди вітрів, що вказує на його середню швидкість у різних напрямках.

Застосування вітродвигунів поширюється для будинків і заміських ділянок, які віддалені від основних електричних мереж. Різноманітність вітродвигунів дозволяє застосовувати їх при різному розташуванні робочих лопатей. Моновітродвигуни мають 2-3 робочих лопаті, які знаходяться в стовбурі щогли, полівітродвигуни застосовуються з перпендикулярним розташуванням лопатей по відношенню до робочої щогли.



Висота щогли буває 4-6м зі швидкістю вітру 2.5-35 м/с. Конструктивно щогли можуть бути трубчастого і гратчастого просторового перетину. При необхідності щогли додатково підсилюють відтяжками (рис.1), особливо при верхньому розташуванні генератора.

Особливістю горизонтального розташування робочих лопатей є можливість різного напрямку вітру. Крутильні навантаження при цьому можуть мати різнознакові напрямки. Подібні навантаження передаються через щоглу на підземну частину споруди.

У будівельній практиці застосовуються різні конструкції фундаментів. На їхню спільну роботу з основою впливають особливості фізико-механічних характеристик ґрунтів (щільність складання сухого ґрунту, вологість, тертя тощо). Ґрунти можуть бути як в природному стані, так і ущільнені при забиванні паль і зануренні окремих елементів.

#### **Аналіз попередніх досліджень**

У літературі широко обговорювались питання проектування башт вітрогенераторів з точки зору параметрів фундаменту. Для визначення параметрів фундаменту запропоновано аналітичний, а також новий експериментальний підхід [1].

Ерік Нім (Nim 2007) [2] запропонував і запатентував новий плавучий фундамент для вітрогенераторів, де фундамент, по суті, складається щонайменше з трьох занурених тіл плавучості, з'єднаних з нижнім кінцем башти вітрогенератора у спільному вузлі, розташованому далеко над поверхнею моря. Завдяки конструкції фундаменту, у відповідності до цього винаходу, зменшуються концентрації напружень і моменти в елементі вузла, завдяки чому стає можливим застосування відносно легкого і, отже, дешевого вузла.

Чисельні та експериментальні дослідження поведінки при короткочасному та довгостроковому циклічному навантаженні пальових фундаментів для морських вітрогенераторів обговорював Куеллар (Cuéllar 2011) [3] у своїй дисертації. Свенссон (Svensson 2010) [4] досліджував основи наземних вітрогенераторів, де досліджується як більш конвенціональний метод з великою бетонною плитою, так і альтернативні методи фундаменту, переважно пальові фундаменти. Бірн та Хаулсбі (Burne 2003) [5] досліджували проблеми цивільного будівництва, що виникають у морських вітрогенераторах, та вивчали недоліки сучасних підходів до проектування. Рукопис Домініка Роддіє та інших (Roddier 2010) [6] узагальнює техніко-економічне обґрунтування, проведене для технології WindFloat.

Ще один новий тип пальового фундаменту був розроблений Самохваловим (Samokhvalov 2017) [7]. Статичні дослідження палі, що мають на своєму кінці розширення у вигляді мембранної чашки, показали, що контрольоване розширення на кінці палі в середньому викликає двократне збільшення несучої здатності масиву ґрунту в районі

розширення. Пронозін (Pronozin 2018) [8] також вивчав конструкцію буроін'єкційних паль, виготовлених за технологією чашки, з нагнітанням розчину в режимі утворення "гідравлічних руйнувань" з утворенням контрольованого розширення в кінці палі.

### **Різновиди фундаментів**

Розглядаються різні види фундаментів:

- Окремо розташовані монолітні залізобетонні плитні фундаменти, маса яких значно перевищує величину різнознакових крутильних моментів. Рационально застосовувати такі фундаменти в середньозернистих піщаних ґрунтах і щільних глинистих, при  $\rho_d \geq 1.45 \text{ г/см}^3$ . Щогла жорстко пов'язана з тілом фундаменту.

- Фундаменти з похилих призматичних паль, голови яких жорстко з'єднані бетонним ростверком. Палі своїми вістрями спираються на практично нестискувані ґрунти.

- Фундаменти з пірамідальних паль. Навантаження від щогли передаються через бетонний ростверк, жорстко пов'язаний з головами паль, на бічні грані. Ґрунт вздовж граней палі попередньо ущільнений при забиванні і його щільність збільшена в 1.15-1.2 рази в порівнянні з природним ґрунтом.

- Фундаменти з козлових паль, що розкриваються самостійно при забиванні. Особливості їх спільної роботи з ґрунтами основи полягають у влаштуванні при забиванні ущільненого ґрунтового ядра з  $\rho_d \geq 1.75 \text{ г/см}^3$  і зовнішньої зони ущільнення з  $\rho_d \geq 1.65 \text{ г/см}^3$ , які сприймають діючі навантаження через ростверк.

- Комбіновані буроін'єкційні фундаменти (рис.1). Рациональним є застосування цих фундаментів в глинистих ґрунтах середньої щільності.

### **Технологія**

Влаштування цих фундаментів розділене на кілька етапів:

- буріння свердловини  $\phi 250-350 \text{ мм}$  на глибину від 2.5 до 4.0м (Рис.1б);

- влаштування металевої закладної труби  $\phi 217 \text{ мм}$  з прорізами (4-8шт), в які закладені лопаті, прикріплені до труби спеціальними болтами (Рис.1в);

- в пробурену свердловину закласти трубу, а потім за допомогою анкера задавити лопаті так, щоб вони через прорізи увійшли в ґрунт (Рис.1г);

- трубу з анкером заповнити бетоном С15/20 з покровим ущільненням;

- готовий комбінований буроін'єкційні фундамент може бути використаний при монтажі установки вітродвигунів з висотою щогли 4.0-6.0м.

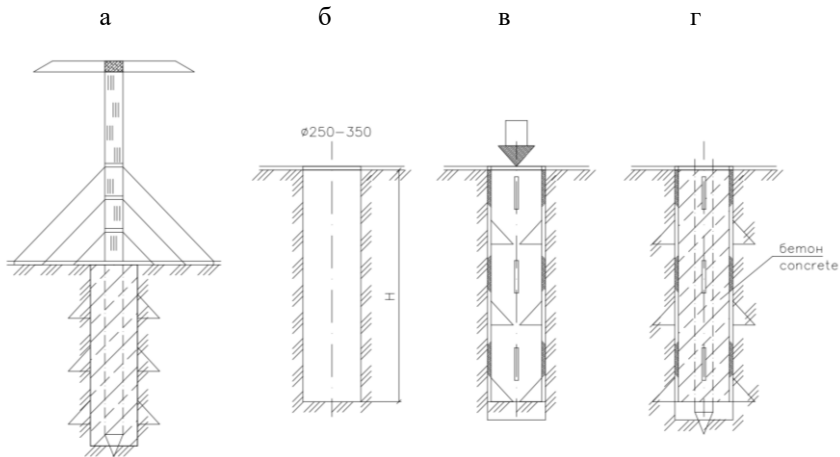


Рис. 1. Комбінований бурин'екційний фундамент: а - загальний вигляд з підсиленням відтяжками, б - буріння свердловини, в – встановлення металеві труби, г – розкриття лопатей

Опір горизонтальним і обертальним навантаженням здійснюється за допомогою випускних лопатей і вертикальної труби.

### Висновки

1. Вітродвигуни з горизонтальним розташуванням генератора і лопатей знайшли широке застосування на заміських ділянках і інших об'єктах, які віддалені від основних електромереж.

2. Особливості їх роботи полягають в незалежності дії різнознакового напрямку вітру від рози вітрів, а величина навантаження передається через щоглу на підземну частину споруди.

3. Спільна робота ґрунтів основи з фундаментами на горизонтальні і круті навантаження залежить від фізико-механічних характеристик ґрунтів (щільності сухого ґрунту, вологості, тертя тощо).

4. Із запропонованих варіантів фундаментів найбільш ефективними можна вважати фундаменти із забивних паль ущільнення (пірамідальних, козлових), а також комбіновані бурин'екційні, що дозволяють підвищити опір паль дії зовнішніх навантажень за рахунок ущільнення ґрунту при забиванні.

### References

1. Haydayenko Ihor. Vitroenerhetyka na terenakh Ukrayiny v XIX - pershiy polovyni XX st.: Istorychna retrospektyva. *Naukovi zapysky: Seriya "Istoriya"*, 2014. CH3. P.114-118.

2. Adhikari, S., Bhattacharya, S. Dynamic analysis of wind turbine towers on flexible foundations. *Shock and Vibration* 19, no. 1 (2012)., P. 37-56.

3. Nim, E. Wind turbine with floating foundation. Patent US7156586B2 (2007).

4. Cuéllar, Pablo Pile foundations for offshore wind turbines: Numerical and experimental investigations on the behaviour under short-term and long-term cyclic loading. *Tesis Doctoral, Technische Universität Berlin, Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt*, (2011), 273 p.
5. Svensson, Henrik Design of Foundations for Wind Turbines. *Master's Dissertation, Lund University, Department of Construction Sciences* (2010), 161 p.
6. Byrne B. W., Houlsby G. T. Foundations for offshore wind turbines. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Mathematics, Physical and Engineering Sciences*, 361 (2003): 2909–2930 p.
7. Roddier, D., Cermelli, C., Aubault, A., Weinstein, A. WindFloat: A floating foundation for offshore wind turbines. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 2, 033104 (2010).
8. Samokhvalov M.A., Geydt L.V., Paronko A.A., Geydt A.V. Opredeleniye osadki buroinyektsionnykh svay s kontroliruyemym ushireniyem. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arkhitektura»* 2019. T. 19, № 1. P. 27–34.
9. Pronozin YA.A., Samokhvalov M.A. Rezul'taty polevykh i teoreticheskikh issledovaniy izgotovleniya buroinyektsionnoy svai s kontroliruyemym ushireniyem *Vestnik PNIPU «Stroitel'stvo i arkhitektura»*, 2014. №3. P. 197-216.

### Список використаної літератури

1. Гайдаєнко Ігор. Вітроенергетика на теренах України в XIX - першій половині XX ст.: Історична ретроспектива. *Наукові записки: Серія "Історія"*, 2014. ЧЗ. С.114-118.
2. Adhikari, S., Bhattacharya, S. Dynamic analysis of wind turbine towers on flexible foundations. *Shock and Vibration* 19, no. 1 (2012), 37-56.
3. Nim, E. Wind turbine with floating foundation. Patent US7156586B2 (2007).
4. Cuéllar, Pablo Pile foundations for offshore wind turbines: Numerical and experimental investigations on the behaviour under short-term and long-term cyclic loading. *Tesis Doctoral, Technische Universität Berlin, Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt*, (2011), 273.
5. Svensson, Henrik Design of Foundations for Wind Turbines. *Master's Dissertation, Lund University, Department of Construction Sciences* (2010), 161.
6. Byrne B. W., Houlsby G. T. Foundations for offshore wind turbines. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Mathematics, Physical and Engineering Sciences*, 361 (2003): 2909–2930.
7. Roddier, D., Cermelli, C., Aubault, A., Weinstein, A. WindFloat: A floating foundation for offshore wind turbines. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 2, 033104 (2010).
8. Самохвалов М.А., Гейдт Л.В., Паронко А.А., Гейдт А.В. Определение осадки буройнъекционных свай с контролируемым уширением. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»* 2019. Т. 19, № 1. С. 27–34.
9. Прозин Я.А., Самохвалов М.А. Результаты полевых и теоретических исследований изготовления буройнъекционной свай с контролируемым уширением *Вестник ПНИПУ «Строительство и архитектура»*, 2014. №3. С. 197-216.

**ПРИНЦИПИ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ПРИ  
ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНОМУ МОНІТОРИНГУ СПОРУД**

**PRINCIPLES OF MODELING DYNAMIC SYSTEMS FOR  
GEODETIC MONITORING OF STRUCTURES**

**Уль А.В. д.т.н., професор, Мельник О.В. к.т.н., доцент, Рудик О.В., ст. викл. (Волинський національний університет імені Лесі Українки), Мельник Ю.А., к.т.н., доцент, Синій С.В., к.т.н., доцент (Луцький національний технічний університет)**

**Uhl A.V. Dr.Tech, Professor, Melnyk O.V. PhD in Engineering, associate professor, Rudyk O.V., senior lecturer (Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk), Melnyk Yu.A., PhD in Engineering, associate professor, Synii S.V. Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University)**

*Моделювання є одним із найпотужніших засобів дослідження, зокрема, складних динамічних систем. Основна мета при побудові моделі – забезпечити дослідження та аналіз функціонування реального об'єкта. Об'єкт реального світу має величезну кількість властивостей і характеристик, особливо коли мова йде про складні інженерні об'єкти, однак дослідників цікавить невелика та скінченна їх частина. Тому перед дослідниками постає задача виділити ці основні властивості й перенести їх на модель.*

*В даній роботі пропонується розглядати деформаційний стан ґрунтової греблі Хмельницької АЕС як стан динамічної системи.*

*Modeling is one of the most powerful means of research, including complex dynamic systems. Modeling makes it possible to perform computational experiments with systems at the design stage, as well as to study systems with which real experiments are unprofitable due to danger or high cost. At the same time, due to its proximity in form to physical modeling, this research method is available to a wide range of users.*

*Depending on the system behavior in the time space lagless to distinguish between inertial and dynamic system. Physically due to inertial systems that often occur in engineering and construction surveying accumulate energy coming from input values.*

*Therefore, it is proposed to consider the dynamic system as a "Black Box". This method first determines the still unknown transfer characteristic of the system only through a number of parameters of the input values and reaction values.*

*Various computer studies of dynamic models, according to Volterra's theory in the time range, as well as various models in the frequency range have shown that these models can not solve the problem. These models give high-quality models in the mathematical sense, but contradict without exception the physical laws of deformation processes contained in the geodetic field of observation.*

*In practice, a modified discrete model is often used, which without violating the physical laws of the nonlinear Volterra model has approximately equivalent accuracy.*

*In this paper, it is proposed to consider the deformation state of the soil dam of Khmelnytsky NPP as a state of a dynamic system. The use of such a model in mathematical terms is highly effective. Compliance with the physical laws of deformation processes is one of the priorities in addressing the simulation. Particular attention should be paid to this fact.*

*Ключові слова: інженерна геодезія, моніторинг споруд, динамічні системи, моделювання.*

*Key words: engineering geodesy, construction monitoring, dynamic systems, modeling.*

**Аналіз останніх досліджень та постановка задачі.** Моделювання є одним із найперспективніших засобів дослідження інженерно-геодезичних деформацій, наприклад, складних динамічних систем. На стадії проектування воно уможливає проведення складних обчислювальних експериментів та проведення натурних експериментів, які неможливо здійснювати іншими прикладними дослідженнями. Методи моделювання динамічних систем доступні широкому загалу користувачів завдяки близькості за формою до фізичного моделювання.

Основна мета дослідження – побудова моделі та проведення математичного аналізу функціонування інженерних споруд, які піддаються багатфакторному впливу. Для дослідника важливо виділити основні властивості та впровадити їх при розробці моделі.

Методологічні основи рішення проблеми моделювання та ідентифікації складних динамічних систем широко представлені в літературі [1, 2]. Реалізацію деяких ідей цих робіт у застосуванні до задач геодезії та будівництва здійснили [3,4,5].

В даній роботі пропонується розглядати деформаційний стан ґрунтової греблі Хмельницької АЕС як стан динамічної системи.

#### **Виклад основного матеріалу**

Під динамічною системою розуміють структуру, яка через величини, залежні від часу, знаходиться у взаємозв'язку з її оточенням. Як причинний наслідок впливу параметрів на систему, виникають деформації (зміщення, осідання, поворот тощо), рис. 1.

В залежності від поведінки системи в часовому просторі слід розрізняти безінерційні і інерційні динамічні системи. Фізично обумовлені інерційні системи, які найчастіше зустрічаються в інженерній геодезії та будівництві акумулювати енергію, що надходить з вхідними величинами. Показники реакції  $i$  або деформації на момент  $t_i = i \cdot \Delta t$  є не лише наслідком параметру ( $n$ ) на той самий момент, але й попередніх показників. На противагу інерційним динамічним системам в

безінерційних системах величина реакції на момент  $t_i$  залежить виключно від параметрів на той самий момент.



Рис. 1. Функціональна схема розв'язку задач ідентифікації деформацій складних динамічних об'єктів

Перш за все постає принципове питання розробки моделі. Так як відомі лише незначні знання про внутрішні та зовнішні зв'язки процесу деформації і можливий загальноприйнятий метод для найрізноманітніших об'єктів дослідження, застосування моделювання, що ґрунтується виключно на фізичних законах, майже неможливе. Тому пропонується розглядати динамічну систему як «Black Box» («чорний ящик»). За цим

методом спочатку визначається ще невідома передаточна характеристика системи виключно через ряд параметрів вхідних величин і величин реакції.

Згідно теорії Вольтерра [6,7] поведінку складних динамічних систем можна описати так:

$$\hat{y}(t) = g_0 + \int_0^{\infty} g_1(\tau_1)x(t-\tau_1)d\tau_1 +$$

$$+ \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} g_2(\tau_1, \tau_2)x(t-\tau_1)x(t-\tau_2)d\tau_1d\tau_2 +$$

$$+ \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} g_3(\tau_1, \tau_2, \tau_3)x(t-\tau_1)x(t-\tau_2) \times x(t-\tau_3)d\tau_1d\tau_2d\tau_3 \dots$$

$$\left. \hat{y}(t) = g_0 + \sum_{s=1}^{\infty} \left\{ \int_{\tau_1=0}^{\infty} \dots \int_{\tau_s=0}^{\infty} g_s(\tau_1, \dots, \tau_s)x(t-\tau_1) \dots x(t-\tau_s)d\tau_1 \dots d\tau_s \right\} \right\} \quad (1)$$

Або в дискретному вигляді

$$\hat{y}(i\Delta t) = g_0 - \sum_{k=1}^m a_k y[(i-k)\Delta t] + \sum_{j=0}^m b_j x[(i-j)\Delta t]. \quad (2)$$

Різноманітні комп'ютерні дослідження динамічних моделей, згідно теорії Вольтерра [6,7] (1), (2) в часовому діапазоні, а також різні моделі в діапазоні частот показали, що за допомогою цих моделей поставлені завдання вирішити не можна. Названі моделі дають високоякісні моделі в математичному сенсі, проте суперечать без виключення фізичним закономірностям процесів деформації, що містяться в геодезичному полі спостереження. Як правило, рівняння (1) не підходить для практичного використання, оскільки воно розраховане на нескінченні реєстрації. У зв'язку з тим, що на практиці існують всі майже завжди дискретні ряди помірних значень із кінцевими довжинами, то потрібний відповідний перехід від багатократних інтегралів, заданих у рівнянні (1) до багатократної суми (2).

На практиці часто застосовується модифікована дискретна модель, яка без порушення фізичних закономірностей нелінійної моделі Вольтерра має приблизно еквівалентну точність:

$$y_k(i\Delta t) \approx f \left\{ x_j \left[ (i-l)\Delta t \right] \right\}, \quad (3)$$

де  $k = 1, 2, \dots, r$ ;  $j = 1, 2, \dots, s$ ;  $i = m, \dots, N$ ;  $l = 0, 1, \dots, m$ .

Змінні величини  $r$  і  $s$  вказують кількість вхідних величин і компонентів деформації,  $m$  - це критерій для інерції (об'єм пам'яті) системи,  $N$  визначає кількість помірних величин ряду.



Для спрощення моделі здійснюється лінеаризація розкладом в ряд Тейлора, обмежуючись членами першого або другого порядку:

$$\hat{y}(i\Delta t) = \sum_{l_1=0}^m g_1(l_1)x[(i-l_1)\Delta t] + g_2(k,l)x^2[(i-k)\Delta t]. \quad (4)$$

З метою наочності обмежимося у формулі (4) вхідними величинами та компонентами деформації, що є типовим для геодезичної практики. Величина  $k$  представляє в (4) тимчасове запізнення.

При цьому отримується дискретна, нелінійна, обтяжена інерцією динамічна модель у формі:

$$\hat{y}(i\Delta t) = g_0 + \sum_{S=1}^M \left\{ \sum_{l_1=0}^M \dots \sum_{l_S=0}^M g_S(i\dots l_1)\Delta t \dots x(i\dots l_S) \right\}. \quad (5)$$

Дана модель включає наступні особливі випадки:

- дискретна лінійна обтяжена інерцією динамічна модель ( $M=1$ );
- дискретна, нелінійна, вільна від інерції динамічна модель ( $m=0$ );
- дискретна, лінійна, вільна від інерції динамічна модель ( $M=1, m=0$ ). Невідомі величини представляють собою функціонали Вольтерра (Вольтерра)  $g_S(\tau_1, \dots, \tau_S)$  в неперервному ряді. За допомогою визначення цих невідомих, що є завданням ідентифікації, можна здійснити апроксимацію динамічної системи.

В залежності від порядку моделі  $M$ , моделі, що задані у рівняннях (1) і (2) можна отримати на різні часткові моделі (рис. 2):

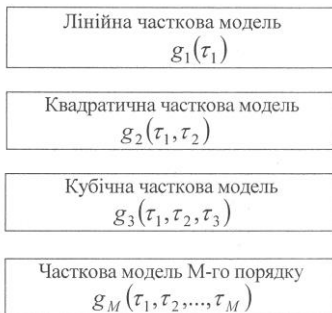


Рис.2. Концептуальна схема нелінійної динамічної моделі

Достовірність динамічних моделей залежить від їх порядку. Відомо, що при цьому різко зростає кількість  $NN$  невідомих ядер Вольтерра

$$g_S(l_1 \dots l_S): \quad NN = 1 + \sum_{i=1}^M (m+1).$$

Наприклад, якщо  $M=1$ ,  $m=5$  величина пам'яті складає 7, при  $M=4$ ,  $m=10$  величина пам'яті становить 16259.

Лінійна динамічна модель зі зворотнім зв'язком.

В контексті викладеного розглянемо лінійну динамічну систему (модель). Якщо до формулювання модельного підходу прийняти додаткову умову залежності реакції системи (деформації) в точці часу  $t_i = i\Delta t$  від вхідних реакцій:

$$y(i\Delta t) = f \left\{ \begin{array}{l} y([i-1]\Delta t), y([i-2]\Delta t), \dots, y\{[i-m]\Delta t\} \\ x(i\Delta t), x\{[i-1]\Delta t\}, \dots, x\{[i-m]\Delta t\} \end{array} \right\} \quad (6)$$

через розкладання в ряд переходимо до узагальненої лінійної моделі:

$$\hat{y}(i\Delta t) = \sum_{k=i}^m -aky([i-k]\Delta t) + g_0 + \sum_{j=i}^m b_j x([i-j]\Delta t). \quad (7)$$

Ця модель містить ефект зворотнього зв'язку, коли реакції у вищезгаданих часових пунктах впливають на систему як додаткові величини впливу.

Таким чином, досягається ефект фізично коректної повної ідентифікації. Цей не набагато покращений з математичної точки зору результат є добрим "стартовим значенням" для обчислення кінцевих значень моделі  $\hat{y}(i\Delta t)$ . Ця стартова величина є поміряним значенням реакції системи в точці часу  $t_{i-1} = [\dots]\Delta t$ , яке не дуже відрізняється від  $y(i\Delta t)$ .

В практиці геодезичних спостережень за інженерними об'єктами переважно мало систем із структурою зворотнього зв'язку. Відповідно нами за даними [8] був виконаний модельний експеримент.

Для апробації був вибраний нескладний варіант, в якому враховувалися для величин впливу 1 - температури у двох значеннях, для величини впливу 2 - довжина об'єкту. Для цього випадку динамічна модель має такий вигляд:

$$\begin{aligned} y(i\Delta t) \approx \hat{y}(i\Delta t) = & g_0 + a_1 y([i-1]\Delta t) + a_2 y([i-2]\Delta t) + \\ & + b_1 x_1(i\Delta t) + b_2 x_2([i-1]\Delta t) + b_3 x_1([i-2]\Delta t). \end{aligned} \quad (8)$$

Отримано наступні значення:

$$\begin{aligned} g_0 = 1,35 \cdot 10^{-5}, \quad a_1 = 0,999887, \quad a_2 = 6,93 \cdot 10^{-5}, \\ b_1 = 1,13 \cdot 10^{-7}, \quad b_2 = -2,94 \cdot 10^{-5}, \quad b_3 = -5,79 \cdot 10^{-9}. \end{aligned}$$

Результуюча середньоквадратична помилка вихідного значення моделі становить  $2,5 \times 10^{-5}$  мм, а відповідна відносна помилка – 0,001%.

### **Висновки**

Використання такої моделі в математичному змісті є високо ефективною моделлю. Проте врахована мала кількість невідомих при відносно малих затратах, що суперечить фізичній суті деформаційного процесу. Зрозуміло, що дотримання фізичних закономірностей деформаційних процесів є одним з першочергових завдань у вирішенні проблем моделювання. Цьому факту слід приділяти особливу увагу.

### **References**

1. Modeliuvannia dynamichnykh system : Navch. posib. / D. Ya. Khusainov, I. I. Kharchenko, A. V. Shatyрко; Kyiv. nats. un-t im. T.Shevchenka. K.: VPTs "Kyiv. un-t", 2011. 135 с. Bibliohr.: p. 67.
2. Verlan A. F. Matematycheskoe modelyrovanye nepreryvnykh dynamycheskykh system / A. F. Verlan, S. S. Moskaliuk. K. : Naukova dumka, 1988. 287 p.
3. Shostak A.V. Pobudova reolohichnykh modelei pry inzhenerno-heodezychnomu modeliuvanni elementiv tekhnolohichnykh kompleksiv /A.V. Shostak, V.V. Bozhydarnik, O.V. Melnyk // Scientific journal «TECHNOLOGICAL COMPLEXES» № 2(8), 2013 P. 91-94.
4. Mazurov B.T. Fyzyko-matematycheskoe modelyrovanye deformatsyonnykh protsessov hotoviyashchehosia vulkanycheskoho yzverzhenyia po kompleksnym heodezycheskym y heofyzycheskym nabludenyiam /B.T. Mazurov, V.K. Pankrushyn // Sb. materyalov mezhdunar. nauch. konhr. «HEO-SYBYR-2006». Novosybyrsk, 2006. T.3, Ch.2. P. 141-146.
5. Mazurov B.T. Ynterpretatsyia kompleksnykh heodezycheskykh y heofyzycheskykh nabludenyi za napriazhenno-deformyrovannym sostoianyem heodynamycheskykh system/ Yu.Y. Kuznetsov, B.T. Mazurov, V.K. Pankrushyn, V.A. Seredovych // Problemy y perspektyvy razvytyia hornykh nauk. Tr. mezhdunar. konf. Novosybyrsk: Yn-t horn. dela SO RAN, 2005. P. 194 - 199.
6. Vito Volterra. Theory of Functionals and of Integrals and Integro-Differential Equations. Madrid 1927 (Spanish), translated version reprinted New York: Dover Publications, 1959.
7. Pirani M. Diagonal kernel point estimation of n-th order discrete Volterra-Wiener systems / Massimiliano Pirani, Simone Orcioni // EURASIP Journal on Applied Signal Processing, vol. 2004, no. 12, pp. 1807-1816.
8. Melnyk O. V. Kompleksne doslidzhennia deformatsiinykh protsesiv hruntovykh hrebel znachnoi protiazhnosti: dys. ... kand.tekhn.nauk : 05.24.01 / Melnyk O.V. Lutsk, 2013. 184 p.

**Список використаної літератури**

1. Моделирование динамических систем: Навч. посіб. / Д. Я. Хусаинов, І. І. Харченко, А. В. Шатирко; Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. К.: ВПЦ "Київ. ун-т", 2011. 135 с. Бібліогр.: с. 67. - укр.
2. Верлань А. Ф. Математическое моделирование непрерывных динамических систем / А. Ф. Верлань, С. С. Москалюк. К.: Наукова думка, 1988. 287 с.
3. Шостак А.В. Побудова реологічних моделей при інженерно-геодезичному моделюванні елементів технологічних комплексів /А.В. Шостак, В.В Божидарнік, О.В. Мельник // Scientific journal «TECHNOLOGICAL COMPLEXES» № 2(8), 2013 Р. 91-94.
4. Мазуров Б.Т. Физико-математическое моделирование деформационных процессов готовящегося вулканического извержения по комплексным геодезическим и геофизическим наблюдениям /Б.Т. Мазуров, В.К. Панкрушин // Сб. материалов междунар. науч. конгр. «ГЕО-СИБИРЬ-2006». Новосибирск, 2006. Т.3, Ч.2. С. 141-146.
5. Мазуров Б.Т. Интерпретация комплексных геодезических и геофизических наблюдений за напряженно-деформированным состоянием геодинамических систем/ Ю.И. Кузнецов, Б.Т. Мазуров, В.К. Панкрушин, В.А. Середович// Проблемы и перспективы развития горных наук. Тр. междунар. конф. Новосибирск: Ин-т горн. дела СО РАН, 2005. С. 194 - 199.
6. Vito Volterra. Theory of Functionals and of Integrals and Integro-Differential Equations. Madrid 1927 (Spanish), translated version reprinted New York: Dover Publications, 1959.
7. Pirani M. Diagonal kernel point estimation of n-th order discrete Volterra-Wiener systems / Massimiliano Pirani, Simone Orcioni // EURASIP Journal on Applied Signal Processing, vol. 2004, no. 12, pp. 1807-1816.
8. Мельник О. В. Комплексне дослідження деформаційних процесів ґрунтових гребель значної протяжності: дис. ... канд.техн.наук : 05.24.01 / Мельник О.В. Луцьк, 2013. 184с.

**RELIABILITY OPERATING PROVIDING OF THE ROAD  
CONSTRUCTION BY DETERMINING THE ACTUAL ELASTIC  
MODULUS**

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ  
АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ ШЛЯХОМ ВИЗНАЧЕННЯ  
ФАКТИЧНОГО МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ**

**Fursovych M.A., PhD, senior teacher, Suprunyuk V.V., PhD, senior teacher, Ziatyuk Y.Y., PhD, senior teacher, Chepurko I.A. student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)**

**Фурсович М.О., к.т.н., доцент, Супрунюк В.В., к.т.н., доцент, Зятюк Ю.Ю., к.т.н., доцент, Чепурко І.О., студентка (Національний університет водного господарства та природокористування м. Рівне)**

*The article discusses when applying the stamping method for the inspection of roads, it is possible to identify the actual modulus of elasticity of the structural layers of pavement and soil, to assess the homogeneity of materials, to determine the zones of local deviations in the soil. Materials of research of a technical resource of the highway, an unsatisfactory condition of its road clothes owing to its destruction are resulted.*

*Основною задачею мережі автомобільних доріг є рівномірний доступ до будь-якої точки на території країни. Автомобільні дороги повинні забезпечувати ефективні умови безпечного, безперервного, зручного пересування людей, та перевезення вантажів. Враховуючи постійний ріст навантажень і швидкості, загальної вантажопідйомності автомобілів і їх кількості виникає потреба у будівництві нових доріг і збереганні існуючих доріг.*

*Асфальтобетон, щебінь, пісок, цемент, ґрунти та інші матеріали шарів покриття, які використовуються при будівництві автомобільних доріг, мають різні особливості роботи в дорожній конструкції. Всі матеріали по різному сприймають навантаження та силові впливи як стиск, зсув та розтяг. Оскільки асфальтобетон є будівельним нелінійним в'язко-еластично-пластичним матеріалом, в основному складеним із уцільненої суміші щебеню, піску, мінерального порошку з бітумом, в значній мірі його властивості залежать від температури.*

*Незадовільний стан дорожнього одягу внаслідок руйнування автомобільної дороги є основним обмежувальним фактором технічного ресурсу дороги. В результаті контакту з конструкцією дорожнього покриття коліс транспортних засобів, яке здійснюється робочими навантаженнями на дорожнє полотно, відбувається руйнування конструкції дорожнього покриття, під дією багатьох чинників, основним з яких є експлуатаційне навантаження.*

*При застосуванні штампового методу для обстеження автомобільних доріг вдається виявити фактичний модуль пружності конструктивних шарів*

*дорожнього одягу і ґрунтів земляного полотна, оцінити однорідність матеріалів, визначити в ґрунтах зони локальних відхилень. Наведено матеріали дослідження технічного ресурсу автомобільної дороги, незадовільний стан її дорожнього одягу внаслідок його руйнування.*

*Key words: longitudinal covering profile, rough-ness, strength of road coatings.*

*Ключові слова: профіль покриття, рівність, міцність дорожнього одягу.*

**Introduction.** Experience in the operation of roads shows that the stage of their destruction, which consists of the occurrence and development of cracks, begins long before the load-bearing capacity of the road is exhausted. This may occur due to non-compliance with the requirements of structural parameters laid down in the design of the road, violation of construction technology, the impact of environmental factors, a complex stress-strain state in the road and so on. At the same time, during the destruction, not only the structural strength of the road is not exhausted, but also the strength of individual structural layers [1, 2].

The vast majority of Ukrainian roads were built in the 60's and 80's of the last century in accordance with the standards and requirements in force at that time. Due to the growing characteristics of vehicles, the design of pavement is unable to withstand the dynamic loads that occur during the movement of modern vehicles [3].

The main limiting factor of the technical resource of the road is the unsatisfactory condition of its pavement due to its destruction. The destruction of road structures occurs under the influence of many factors, the main of which is the operational factor due to the workload on the roadway as a result of contact with the wheels of vehicles. In the area of contact of the wheels with the surface of the pavement there is a complex stress-strain state, complicated by dynamic loading [4,5].

The task of studying the operational condition of pavement in the planning of repair and restoration works of roads is to collect and analyze information about the condition of pavement in terms of transport and operational indicators and strength characteristics for compliance with operating conditions.

Special specificity in the work of the road structure is made by the materials of the coating layers, which include bituminous concrete, cement, rubble chippings, sand, soil, etc. [6, 7]. All of them are differently resistant to tension, compression and shear, and bituminous concrete, in addition, in the general case, is a nonlinear visco-elastic-plastic material, the properties of which largely depend on temperature [8, 9].

Determination of operational reliability of the highway is carried out by collecting data on the following indicators and parameters [10]:

- information about the road, geometric parameters of the highway;
- characteristics of traffic on the road (load, its size, quantity);

- characteristics of pavement and coating (thickness of layers, modulus of elasticity of each layer, total modulus of elasticity of the structure, vertical stresses in the structural layers, the size of the deflection bowl);
- subgrade soil characteristics (modulus of elasticity; humidity, vertical stresses in the core, the degree of compaction of the core soil);
- weather and climatic conditions (humidity, air temperature, coating temperature);
- forecasting changes in the characteristics of roads and development of recommendations for improving transport and operational performance.

Causes of destruction:

*potholes* - local destruction of the coating with a depth of 20 to 150 mm and more with sharply outlined edges. They occur primarily due to insufficient bonds between mineral and organic materials, undercompaction of the coating, the use of poor quality materials (overheating of the asphalt mixture, the ingress of untreated gravel into the mixture, etc.). The process of pothole formation is especially active during the rainy season, which is facilitated by daily fluctuations in air temperature and coverage, the presence of water in the pores of the coating. Penetrating into the shells and microcracks of the coating, water has a wedging effect. The bond between the particles of material weakens and under the influence of the car's wheels a hole is formed, which can increase rapidly.

*longitudinal cracks* - located in 20-40 cm from each other on the rolling strips, in combination with transverse cracks in 1-4 m on the entire width of the roadway. They are formed during heavy transport loads due to insufficient strength of individual layers of clothing and soil base, excess loads and traffic intensity compared to the calculated values;

*transverse cracks* - cracks with uneven edges across the width of the coating. Arise as a result of air temperature difference and insufficient resistance to temperature tension. They are located on the roadway at an appropriate distance from each other (5-10 m);

*reflected cracks* - cracks that reflect the located cracks in the structure of the pavement below. The reflected cracks can be located in different directions.

*net cracks* - a cracked coating that resembles a mosaic or crocodile skin. net cracks is a set of polygons. Delayed repair work can lead to the formation of potholes or significant deformation. In places of deepening water delayed, then it gets under the pavement. Causes: insufficient load-bearing capacity due to soil moisture, poor drainage, under-compaction of the base layers or the ground.

*chipping* - occurs due to the loss of individual grains of mineral material and is associated with the loss of bond between the grains of the material.

As sections of roads for the study were selected sections of roads with different state of coverage from 150 m to 800 m.

Coating tests were performed on the following sections of roads:

P-77 Rivne - Tuchyn - Goshcha - Velbivno from 2 + 000 km to 2 + 800 km;

– P-62 Kryvorivnya - Chernivtsi PC 51 + 27 - PC 82 + 20;

– P-62 Kryvorivnya - Chernivtsi 15 + 000 km to 15 + 800 km;

– H-22 Ustyluh - Lutsk - Rivne from 11 + 000 km to 11 + 800 km.

### **Experimental studies**

We will test device for determining the carrying capacity of 35-T0116 / C "CONTROLS" according to the instructions. [5]

Loads on the surface of the tested structure are transmitted through a round rigid stamp with a jack resting on the frame of the loaded car (Fig. 1.). The load on the stamp is measured using a dynamometer built into the jack. The vertical movement of the stamp is fixed by the movement indicator of the clock type, the measuring rod of which is installed in the center of the stamp. In this case, the jack on the three support struts is installed on the stamp. The indicators are securely fastened to the rigid rail.



Fig. 1. Type of testing of pavement by stamping method device 35-T0116 / C "CONTROLS"

The load during the test is applied in levels to the maximum calculated value of 0.5 MPa; in total there should be not less than 3 - 6 levels. Load holding time - 60 s, pauses after unloading - 60 s, for loading and unloading - 20 - 30 s.



The research results - the modulus of elasticity of the soil or material in a homogeneous structure, as well as the total modulus of elasticity of the layered structure, tested by loads with a rigid stamp, are calculated by the formula:

$$E_y = 0,25\pi p D(1 - \mu^2) / l$$

where  $p$  is the maximum (calculated) pressure from the stamp, MPa;  
 $D$  is the diameter of the rigid stamp, cm;

$\mu$  - Poisson's ratio (for soils  $\mu = 0.35$ , for base materials  $\mu = 0.25$ , and when calculating the total modulus of elasticity  $\mu = 0.3$ );  $l$  - is the elastic deformation corresponding to this load, cm.

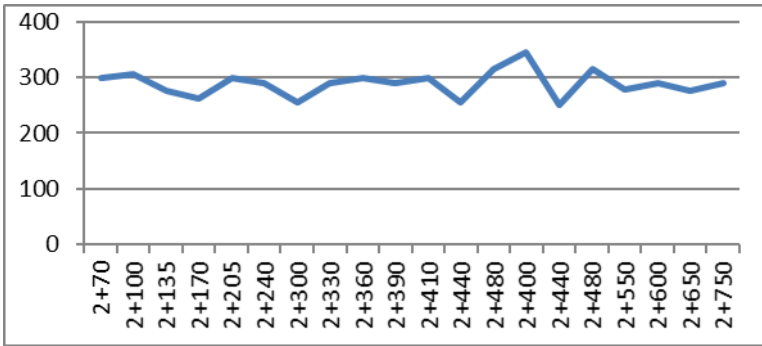


Fig. 2. Change of the modulus of elasticity of road pavement on the study area № 1

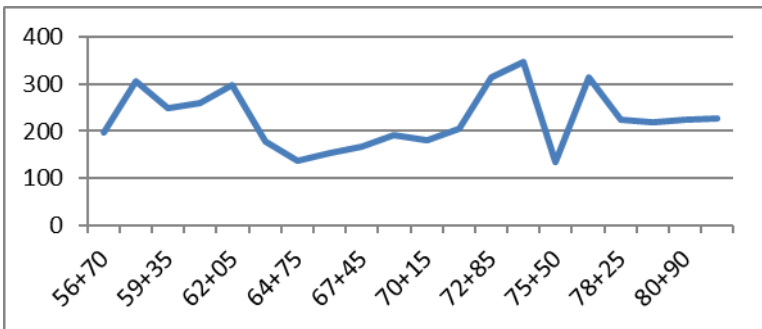


Fig. 3. Change of the modulus of elasticity of road pavement on the study area № 2

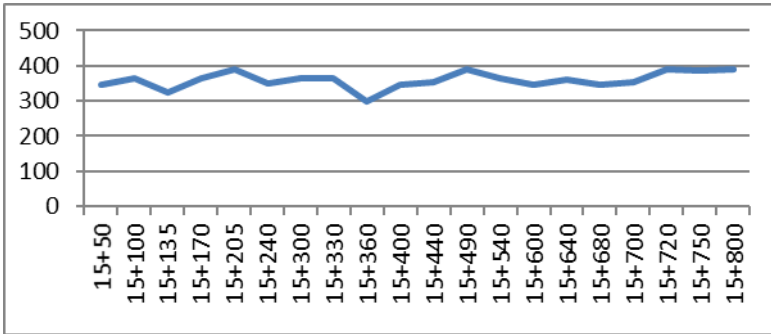


Fig. 4. Change of the modulus of elasticity of road pavement on the study area № 3

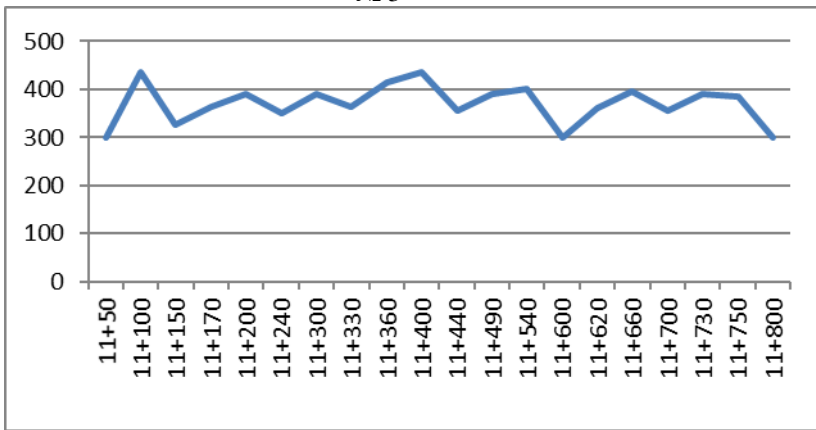


Fig. 5. Change of the modulus of elasticity of road pavement on the study area № 4

## Conclusions

1. On the pavement in the process of operation, under the action of vehicles in the surface layers of the pavement, that is in the zone of concentration of contact stresses, there is the formation of potholes, accumulate irregularities that significantly worsen the transport and operational performance of roads. The most common damages are: potholes, longitudinal cracks, transverse cracks, chipping.

2. When using the stamping method for the inspection of roads, it is possible to identify the actual modulus of elasticity of the structural layers of pavement and soil, to assess the homogeneity of materials, to determine the zones of local deviations in the soil.

3. The method of stamp tests significantly increases the reliability of road structures by increasing the reliability of information, the obtained parameters of

coverage in the future will calculate the value of the dynamic load on the pavement.

Thanks to objective data on the strength of the natural base and structural layers of the road surface, design engineers can identify and apply the necessary measures to increase the strength and deformation characteristics of the structure. Testing, with further adjustment of the existing project, will save material, construction time, timely monitor the quality of work and thus obtain a reliable and economical design of the foundation during its operation.

### **References**

1. Hamelyak Ihor Pavlovych. Osnovy zabezpechennya nadiynosti konstruktsiy dorozhn'oho odyahu: dis ... Dr. Tech. Sciences: 05.22.11 / National Transport University. - K., 2005.
2. Dmytrychenko M.F., Dmytriyev M.M., Hamelyak I.P., Raykovs'ky V.F., Yakymenko YA.M. Nadiynist' konstruktsiy dorozhn'oho odyahu. - Teaching. manual. K .: NTU. - 2012. - 206 p.
3. Leonovich I.I., Bogdanovich S.V., Nesterovich I.V. Diagnostika avtomobil'nykh dorog: ucheb. posobiye. Minsk: "New knowledge", 2011.350 p.
4. Sil'yanov V.V., Domke E.R. Transportno-eksploatatsionnye kachestva avtomobil'nykh dorog i gorodskikh ulits: textbook. allowance. Moscow: Academy, 2008. 348 p.
5. Kochetkov A.V., Belyayev D.S., Shashkov I.G. Pryamoy metod otsenki vzaimodeystviya koleasa transportnogo sredstva i nerovnostey dorozhnogo pokrytiya. Internet magazine "Science of Science". 2013. No. 4 (17). P. 38-55.
6. Madanat S., Prozzi J.A., Han M.: Effect of Performance Model Accuracy on Optimal Pavement Design. Computer-aided Civil and Infrastructure Engineering, 17, 1, 2002, 22-30 <https://trid.trb.org/view/709481> 14.12.2020.
7. Huang Y.H.: Pavement Analysis and Design Pearson Education. Upper Saddle River, NJ, USA, 2004.
8. SOU 45.2-00018112-078:2012 Avtomobil'ni dorohy. Otsinka rivnosti dorozhnikh pokryttiv za Mizhnarodnym Indeksom Rivnosti (IRI) / Kyiv, State Road Service of Ukraine, 2012. 32 p.
9. SOU 45.2-00018112-042:2009. "Avtomobil'ni dorohy. Vyznachennya transportno-eksploatatsiynykh pokaznykiv dorozhnikh odyahiv". – Kharkiv: KhNADU. – 2009. 42 p.
10. Modeling Road Deterioration and Maintenance Effects in HDM-4. RETA 5549-REG Highway Development and Management Research, Final Report. Prepared for Asian Development Bank by N.D. Lea International Ltd, October, 1995, 351p. <http://www.lpcb.org/index.php/docman-test/1995-modelling-road-deterioration-and-maintenance-effects-in-hdm-4/viewdocument> 14.12.2020.
11. Plate bearing test apparatus mod. 35-T0116/C "CONTROLS". Instruction manual. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2015. 5 p.

**ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИТНОЇ АРМАТУРИ  
В УКРАЇНІ ТА СВІТІ**

**USE OF COMPOSITE ARMATURE  
IN UKRAINE AND IN THE WORLD**

**Чапюк О.С., к.т.н., доц., Гришкова А.В., асп., Пахольук О.А., к.т.н., доц (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк), Орешкін Д.О. (Генеральний директор ООО Технологічна група «ЕКПАЖ» м. Харків), Соломонюк А.О. (Кельнська Вища Школа Технічна, м. Кельн, Німеччина)**

**Chapiuk O., Ph.D., Assoc., Grishkova A., PhD stud., Pakholiuk O., Ph.D., Assoc. (Lutsk National Technical University, Lutsk), Oreshkin D. (CEO of LLC Technology Group "EKIPAZH", Kharkiv), Solomoniuk A. (Cologne Higher Technical School, Cologne, Germany)**

*Однією з проблем сучасного будівництва є вибір виду арматури, яка задовільняла б вимоги надійності та міцності конструкції в цілому, що сприяло б збільшенню терміну служби інфраструктурних об'єктів. Було проведено огляд українського та світового досвіду використання композитного та комбінованого армування, наведені перспективи та рекомендації щодо подальшого розвитку застосування композитної арматури в дорожньому, інфраструктурному та житловому будівництві.*

*The main task of a modern design of infrastructural objects is the choice of a type of reinforcement which provides high level of a reliability and a strength in concrete matrix to prolong life time of objects. The international and Ukrainian experience in the area of using composite and combined reinforcement was observed this article. Perspectives and recommendations for further development of the composite reinforcement usage in road, infrastructure and housing construction were announced this article. Every year a great deal of new building materials appear on the construction markets. The composite reinforcement of concrete (with using of glass, basalt, or carbon fiber) is one of promising technologies. FRP-rebar has some advantages over metal counterparts. Unfortunately, the mechanical and other properties of the new material are quite different from the metal analogue, which considerably limits its wide use in construction practice. For example, composite fittings do not withstand high operating temperatures and have a lower modulus of elasticity than metal. This fact places certain restrictions on its widespread use in the reinforcement of various objects, which can be excessively deformed, which can lead to undesirable cracks. Such deficiencies often deter builders from using it. The main advantages of composite fittings are: high corrosion resistance, durability, ecology, easy transportation, light weight and others. One possible solution to the problem of the rational use of composite reinforcement in construction is the combination of composite and metal reinforcement, which allows the use advantages*

*of both types of armature. Since the 1980s, composite armature have been manufactured and used in the United States, Canada, Europe, Japan and other countries including Ukraine. The annual increase in the number and scale of infrastructure projects in Ukraine with using composite armature over a period of 10 years shows a steady trend towards the extension of the service life of new and repaired facilities with a reduction in owner's costs for maintenance of the object during the service life.*

*Ключові слова: композитна, склокомпозитна, базальтопластикова арматура*

*Keywords: FRP rebar, composite, glass-composite, basalt-plastic armature*

**Вступ.** З кожним роком на будівельному ринку України та світу з'являється все більша кількість нових будівельних матеріалів. Одним з таких матеріалів є композитна арматура (скло-, базальто-, або вуглепластикова), яка в порівнянні зі своїми металевими аналогами має певні переваги. На жаль, їй притаманні і недоліки, які значно обмежують широке використання, і завдяки цим характеристикам, композитна арматура все ж, поки, поступається металевій. Наприклад, композитна арматура не витримує значних перепадів температури і далеко не така пластична, як металева. Цей факт накладає певні обмеження на її широке застосування при армуванні фундаментів, які можуть зазнавати перевантаження, що може спричинити появу небажаних тріщин. Основними перевагами композитної арматури є: висока корозійна стійкість, довговічність, екологічність, транспортабельність, мала вага та інші. Одним з можливих варіантів вирішення проблеми раціонального використання композитної арматури в будівництві є комбінування композитної та металевої арматури, що дозволяє використати переваги від застосування кожного з цих видів арматури.

**Характеристики композитних матеріалів і порівняння з металевими аналогами.** Композитна арматура – це матеріал, який складається з основи у вигляді скляного або базальтового ровінга, що являє собою з'єднані в пучок тонкі волокна (рис.1) діаметром 14...16 мк і в'язучої термоактивної синтетичної смоли (пластика). Композитна арматура виготовляється методом пультрузії – протягуванням просочених в'язучим армуючих волокон через нагріту формоутворюючу фільтру або методом нідлтрузії – без застосування фільтри. При цьому періодичний профіль поперечного перерізу формується шляхом спірального намотування джгута, яким обмотується стержень [1].



а) скловолокно б) вуглеволокно в) базальтоволокно  
Рис.1. Види волокон для виготовлення композитної арматури

Згідно існуючих видів композитної неметалевої арматури, їх можна класифікувати наступним чином:

- склопластикова арматура (АСП);
- базальтопластикова арматура (АБП);
- вуглепластикова арматура (АВП).

З цих трьох видів композитної неметалевої арматури найбільшого використання набула склопластикова арматура, оскільки вона найдешевша, адже виготовляється зі звичайного кварцового піску. До основних переваг склопластикової арматури відносяться:

- мала вага (в 4 рази легша за метал), що спрощує транспортування даного будівельного матеріалу;
- висока корозійна та хімічна стійкість, що дозволяє застосувати цей вид арматури в агресивних середовищах;
- низька тепло- та електропровідність, що запобігає утворенню магнітного електричного поля;
- можливість використання для зведення будівель і споруд в районах з сейсмічністю до 10 балів;
- отримання будь-якої будівельної довжини;
- довговічність в складі інженерно-будівельних конструкцій від 80 років і більше.

До основних недоліків АСП можна віднести наступні:

- низький модуль пружності, а цей параметр ускладнює застосування її для армування перекриттів, так як необхідні додаткові розрахунки;
- погана стійкість до сильних температурних перепадів, тому її використання можливе лише в районах, де температура навколишнього середовища залишається відносно стабільною;
- низька теплостійкість (арматура втрачає свої несучі властивості при досягненні температури  $+150^{\circ}\text{C}$ ). При перевищенні критичної температури полімерна матриця починає руйнуватися.

У таблиці 1 наведено порівняльну характеристику металевої та склокомпозитної арматури [2].

Таблиця 1

Порівняльні характеристики арматури А500С і АКС800

Матеріал	Сталь	Склокомполіт
1	2	3
Межа міцності при розтягу, $\sigma$ , МПа	500	950
Модуль пружності, Е, МПа	200...210	45...55
Відносне видовження, %	8...25	1...3
Електропровідність	Проводить	Не проводить
Теплопровідність	Висока	Низька
Корозійна стійкість	Піддається	Не піддається
Пластичність	Пластична	Не пластична
Теплостійкість, $^{\circ}\text{C}$	400	150
Довговічність, роки	50 ... 100	50 ... 100
Заміна арматури (по міцності)	14 А500С 16 А500С	10 АКС 12 АКС
Густина, $\text{кг}/\text{м}^3$	7850	1900-2100
Вага 1 м.п., кг	14 А500С – 1,21 16 А500С – 1,58	10 АКС – 0,126 12 АКС – 0,169
Діаметри арматури	6-80	3-25

**Зарубіжний досвід застосування композитної арматури**

Починаючи з 80-х років ХХ ст. почала виготовлятися і використовуватись композитна арматура в США, Канаді, Європі, Японії та інших розвинених країнах в таких галузях:

– будівництво портових споруд і мостів в США (мости у м. Поттер Каунті, Беттендорф та ін.);

– зведення медичних центрів, в яких передбачалось використання обладнання для MRI (магнітної резонансної томографії) (Національний інститут охорони здоров'я м. Бетесда, будівля клініки Майо в м. Рочестер та інші заклади США);

– у США композитні анкерні стержні в деформаційних швах бетонних дорожніх плит широко досліджуються і застосовуються з початку 2000-х років [3,4];

– у США і Канаді композитне армування (замість сталевого) бетонних доріг з безперервним армуванням після закінчення етапу пілотних проектів перейшло в стадію широкого застосування [5,6];

– в Канаді композитна арматура використовувалася для будівництва автодорожніх мостів і на сьогоднішній день ця країна займає лідируючі позиції щодо застосування арматури з FRP при будівництві мостового настилу;

- у світі широко застосовуються композитні сітки в якості армуючих прошарків при влаштуванні зовнішнього бетонного підсилення методом торкретування [7,8];

- в 2003 р. в англійській столиці м. Лондон був прокладений залізничний тунель під р. Темзою із застосуванням бурової тунельної машини (БТМ). Склокомпозитна арматура набагато легше збирається при проході БТМ і не тупить ножі, на відміну від металевої арматури. У 1980 роках на ринку з'явилась необхідність появи неметалевої арматури для поліпшення технологій медичної техніки, оскільки найважливішою вимогою до електричної непровідної арматури було встановлено через обладнання MRI (магнітно-резонансної томографії);

- також широко застосовується метод підсилення старих залізобетонних конструкцій за допомогою додавання пластин з вуглепластикової арматури. Широко відомими прикладами виконання цього методу є: балконні плити житлового будинку в німецькому місті Хемніц; консольні балконні плити в італійському місті Лоано-Генова; залізобетонні сходи в школі Ярборо в англійському місті Лінкольн та багато інших.

### **Український досвід застосування композитної арматури**

В даний час в Україні йде активне впровадження в повсякденну практику застосування композитної арматури і сіток, як правило, у вигляді заміщення традиційного сталевого армування. Основними напрямками застосування композитного армування на основі скляних і базальтових волокон є інфраструктурні об'єкти в дорожній і будівельній галузях:

- підсилення дискретних основ прошарками з композитних геосіток і георешіток зі збільшенням модуля пружності пакета шарів при зменшенні його товщини (велика кількість кар'єрних тимчасових доріг і майданчиків зберігання інертних матеріалів, дорожні основи) (рис. 2);



Рис. 2. Монтаж армуючого прошарку у вигляді композитних сіток в нижньому шарі пакету асфальтобетонних шарів

- армування бетонних дорожніх плит для проблемних випадків (перезволожені ґрунти, неоднорідні, слабкі основи: пл. Павловська, 2016 р. і вул. Клочківська, 2018 р., м. Харків) (рис. 3);





Рис. 3. Збір армокаркасу дорожньої цементобетонної плити основи по вул. Клочківська, м. Харків з композитних георешіток з влаштуванням термодеоформаційних швів із подальшим бетонуванням

- проспект Гагаріна та інші вулиці м. Харкова зі слабкими основами (2012-2021 рр.);
- армування дорожніх шарів нежорсткого типу (асфальтобетонів) (проспект Гагаріна та інші центральні вулиці м. Харкова, ділянки кільцевих об'їзних доріг Києва, Одеси і Харкова, 2012-2021 рр.);
- армування цементобетонних плит парковок і стоянок автобусних терміналів і великовантажного автотранспорту (Автобусний хаб-термінал ст. метро Пролетарська, м. Харків);
- пілотні проекти застосування композитних анкерів в деформаційних швах дорожніх цементобетонних плит (рис. 4);



Рис. 4. Композитні анкери для влаштування швів стиску і розширення плит цементобетонних доріг

- армування елементів інфраструктурних об'єктів (мостів, дамб);
- застосування армуючих прошарків із композитних сіток при влаштуванні шарів оболонки з торкретбетону (капітальні і поточні ремонти очисних споруд і каналізаційних мереж по обласних центрах України) (рис. 5).



Рис. 5. Композитні сітки в торкрет-оболонках

Щорічне збільшення протягом 10 років кількості і масштабів реалізованих інфраструктурних об'єктів із застосуванням композитного армування демонструє стійку тенденцію українського ринку щодо забезпечення продовжених термінів експлуатації нових і відремонтованих інфраструктурних об'єктів при одночасному зниженні витрат власника на підтримку об'єкта в робочому стані напротязі всього терміну експлуатації (захист споруди від корозії, обслуговування і ремонти).

### **Висновки**

1. Комбіноване армування бетонних конструкцій при будівництві будинків і споруд дозволяє вигідно використовувати переваги обох видів арматури, а саме: композитна арматура забезпечує корозійну стійкість конструкції а, металева арматура надає конструкції міцність.
2. При використанні композитної арматури в будівництві необхідно враховувати «слабкі» сторони даного матеріалу (руйнування полімерної матриці під тривалим впливом ультрафіолету, неможливість застосування в районах з великими перепадами температури).
3. Транспортельність композитної арматури при її малій питомій вазі, а також корозійна стійкість роблять даний матеріал придатним для застосування в сфері житлового та дорожнього будівництва.

### **References**

1. Klimov Yu.A., Soldatchenko O.S., Oreshkin D.A. Eksperimentalnye issledovaniya sचेpleniya kompozitnoj nemetallicheskoj armatury s betonom [Experimental research of adhesion glass-fiber reinforcement with concrete]. 2010. URL: [http://www.frp-rebar.com/frp-rebar\\_test\\_adhesion\\_concrete.html](http://www.frp-rebar.com/frp-rebar_test_adhesion_concrete.html).
2. Chapiuk O., Kysliuk D., Hryshkova A. Doslidzhennia dotychnykh napruzhen zcheplennia sklokompozytnykh ta metalevykh armaturnykh sterzhniv z vazhkym betonom [Research of tactical tensions of clutch of glasscomposite and metal reinforcement bars with heavy concrete]. Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy. 2019. 37. P. 240-247.
3. Porter, M.L., B. Barnes, B. Hughes, and K. Viswanath. 1993. Non-Corrosive Tie Reinforcing and Dowel Bars for Highway Pavement Slabs, Final Report. HR-343

Submitted to Highway Division of the Iowa Department of Transportation and Iowa Highway Research Board. Iowa State Univer, Engineering Research Institute, Ames, IA.

4. Porter, M. L., and Guinn, Robert. 2002. "Assessment of Highway Pavement Slab Dowel Bar Research". Final Report No. HR-1080. Submitted to Iowa Highway Research Board, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University.

5. J. Choi, H.L. Chen, Design Consideration of GFRP-Reinforced CRCP, in: ACI SP-215, F. Appl. FRP Reinforcement Case Stud. 2003. P. 139-158.

6. Bradberry, T. E. 2001. "Concrete Bridge Decks Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars," Transportation Research Record. 1770. S. 94-104. Decks Reinti 720. P. 154-155.

7. Wei Han, Yujing Jiang, Yuan Gao and Dairiku Koga Study on "Design of Tunnel Lining Reinforced by Combination of PCM Shotcrete and FRP Grid Technique", [IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 570, China Rock 2020 23-26 October 2020, Beijing, China](#).

8. Guo R., Pan Y., Cai L.H., Hino SC., 2018. Study on design formula of shear capacity of RC beams reinforced by CFRPgrid with PCM shotcrete method. Engineering Structures. 166. P. 427-40.

#### **Список використаних джерел**

1. Клімов Ю.А., Солдатченко О.С., Орешкін Д.О. Експериментальні дослідження зчеплення композитної неметалевої арматури з бетоном. 2010. URL: [http://www.frp-rebar.com/frp-rebar\\_test\\_adhesion\\_concrete.html](http://www.frp-rebar.com/frp-rebar_test_adhesion_concrete.html).

2. Чапюк О.С., Кислюк Д.Я., Гришкова А.В. Дослідження дотичних напружень зчеплення склокомпозитних і металевих арматурних стержнів з важким бетоном. Ресурсозберігаючі матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2019. 37. С. 240-247.

3. Porter, M.L., B. Barnes, B. Hughes, and K. Viswanath. 1993. Non-Corrosive Tie Reinforcing and Dowel Bars for Highway Pavement Slabs, Final Report. HR-343 Submitted to Highway Division of the Iowa Department of Transportation and Iowa Highway Research Board. Iowa State Univer, Engineering Research Institute, Ames, IA.

4. Porter, M. L., and Guinn, Robert. 2002. "Assessment of Highway Pavement Slab Dowel Bar Research". Final Report No. HR-1080. Submitted to Iowa Highway Research Board, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University.

5. J. Choi, H.L. Chen, Design Consideration of GFRP-Reinforced CRCP, in: ACI SP-215, F. Appl. FRP Reinforcement Case Stud., 2003: pp. 139-158.

6. Bradberry, T. E. 2001. "Concrete Bridge Decks Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars," Transportation Research Record, 1770, pp. 94-104. Decks Reinti 720. pp. 154-155.

7. Wei Han, Yujing Jiang, Yuan Gao and Dairiku Koga Study on "Design of Tunnel Lining Reinforced by Combination of PCM Shotcrete and FRP Grid Technique", [IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 570, China Rock 2020 23-26 October 2020, Beijing, China](#)

8. Guo R., Pan Y., Cai L.H., Hino SC., 2018. Study on design formula of shear capacity of RC beams reinforced by CFRPgrid with PCM shotcrete method. Engineering Structures. 166, pp 427-40.

**ВПЛИВ ВИДУ АКТИВАЦІЇ ВОДИ НА ВЛАСТИВОСТІ  
ЦЕМЕНТНОГО ТІСТА ТА БЕТОНУ**

**INFLUENCE OF TYPE OF WATER ACTIVATION ON  
PROPERTIES OF CEMENT DOUGH AND CONCRETE**

**Шишкіна О.О. к.т.н., доц. (Криворізький національний  
університет, м. Кривий Ріг)**

**Shyshkina O.O., PhD in Engineering, Associate Professor (Kryvyi Rih  
National University, Kryvyi Rih)**

*У роботі розглянуто вплив електромагнітної, електрохімічної та фізико-хімічної активації води замішування на терміни тужавіння, нормальну густину цементного тіста, а також на міцність дрібнозернистого бетону. Наведено порівняння бетонів, які отримано при замішуванні компонентів активованою водою. Виявлено вплив активації води замішування на контракцію цементного тіста і міцність бетону.*

*Among the many ways to improve the preparation of concrete mix is to modify the properties of cement systems by mechanical, physical, chemical and combined effects. One of the directions of activation of the concrete mixture is the activation of its components, namely: electromagnetic, electrochemical and physics-chemical activation of mixing water. The most accessible and technological of them is the physics-chemical activation of water and aqueous solutions by certain organic substances used in ultra-low concentrations, followed by their use as a mixing fluid for building mixtures. The purpose of the study was to perform a comparative assessment of the effect of electromagnetic, electrochemical and physicochemical activation of water on the properties of cement paste and fine-grained concrete. To achieve this goal, the degree of influence of electromagnetic, electrochemical and physicochemical activation of water on the contraction and hardening time of cement paste, as well as the degree of influence of electromagnetic, electrochemical and physicochemical activation of water on compressive strength of fine concrete. It is established that the type of activation of kneading water affects the hardening time of the cement paste and the normal density. The shortest hardening times are set for cement paste, which is obtained on electrochemically activated alkaline water, and the longest with the use of physics-chemical activation. At the same time, the highest strength at the lowest contraction has concrete, which is obtained on physics-chemical activated water. This concrete has the highest rate of strength. Concretes obtained on "alkaline" water, after its electro-chemical activation, have a high rate of strength formation and its value, but high contraction, which leads to cracking of concrete.*

*Ключові слова: активація, вода замішування, бетон, міцність, контракція.*

*Key words: activation, mixing water, concrete, strength, contraction*

### **Постановка проблеми**

Серед численних способів вирішення вдосконалення приготування бетонної суміші є модифікування властивостей цементних систем механічними, фізичними, хімічними і комбінованими впливами. Одним з напрямків активації бетонної суміші є активація її компонентів, а саме: електромагнітна (ЕМА) [1], електрохімічна (ЕХА) і фізико-хімічна [2,3] активація води замішування.

Вочевидь, найбільш доступною і технологічною з них є фізико-хімічна активація води і водних розчинів певними органічними речовинами, які застосовуються у надмалих концентраціях, з подальшим використанням їх в якості рідини замішування будівельних сумішей. Однак систематичні дослідження в цьому напрямку до теперішнього часу не є достатніми, а порівняльний аналіз різноманітних методів активації води зовсім відсутній.

### **Аналіз відомих досліджень і публікацій**

Відомо, що активація води замішування, а саме підвищення її рН призводить до підвищення міцності цементного каменю до 20% [4]. В той же час зменшення рН води замішування також призводить до підвищення міцності цементного каменю до 20% [2,3,5] не менше, ніж вода, що має підвищене значення рН.

Дослідженнями авторів [6] показано, що замішування цементу з електрохімічно-активованою водою підвищує розтікання, одночасно спостерігається підвищення пластичної міцності цементного тіста в 2,2 рази і міцності цементного каменю до 70%.

### **Мета роботи**

Метою проведених досліджень було виконати порівняльну оцінку впливу ЕМА, ЕХА та фізико-хімічної активації води на властивості цементного тіста і дрібнозернистого бетону.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- визначити ступінь впливу ЕМА, ЕХА та фізико-хімічної активації води на контракцію та терміни тужавіння цементного тіста;
- визначити ступінь впливу ЕМА, ЕХА та фізико-хімічної активації води на міцність при стиску дрібнозернистого бетону.

### **Матеріали і методи**

У дослідженнях для виготовлення бетону використовували портландцемент М400 (ПрАТ «Кривий Ріг цемент»), дрібний заповнювач – дніпровський річковий пісок. «Лужну» воду отримували внаслідок ЕХА на приладі ZENOR. ЕМА води здійснювали на спеціально виготовленому приладі, який забезпечував вплив магнітного поля на певний об'єм води. «Кислу» воду отримували додаванням олеату натрію у розчині концентрацією 0,00004%, яка визначена, як оптимальна з попередніх досліджень. Компоненти бетонної суміші дозували в необхідних, відповідно до плану експерименту, кількостях, перемішували в

лабораторному змішувачі протягом 3 хв. Отримана суміш укладалася в металеву форму-куб, який має розмір сторін 40x40x160 мм. Форму, що містить бетонну суміш, жорстко закріплювали на лабораторному вібромайданчику й ущільнювали вібрацією до повного ущільнення, яке характеризувалося припиненням осідання бетонної суміші й припиненням виділення бульбашок повітря. Після завершення укладання й ущільнення бетонної суміші у формі, відкриту поверхню зразка загладжували кельмою. Перші 24 години зразки бетону тверділи в нормальних умовах, при цьому їх до розпалубки зберігали у формах, покритих вологою тканиною. Це виключало можливість випаровування з них вологи в приміщенні з температурою повітря ( $293 \pm 5$ ) К. Через 24 години після виготовлення, зразки бетону виймали з форм та поміщали в камеру, яка забезпечувала на їхній поверхні нормальні умови, тобто температуру ( $293 \pm 3$ )К і відносну вологість повітря ( $95 \pm 5$ )%. Величини контрольованих показників якості цементного тіста та бетону визначали згідно до діючих стандартів.

### **Результати досліджень**

Результати досліджень впливу виду активації води замішування на терміни тужавіння і нормальну густоту цементного тіста наведені в табл. 1, з якої видно, що вид активації води замішування впливає на терміни тужавіння цементного тіста і на нормальну густину. Так, початок і кінець тужавіння скорочуються на воді, активованій електромагнітним полем, на 10 і 15 хв, і «лужній» воді - на 20 і 35 хв. На «кислій» воді початок і кінець схоплювання сповільнюються на 20 хв.

Таблиця 1

Терміни тужавіння цементного тіста

№ досліджу	Вид води замішування	pH	ПТ, хв.	КТ, хв	НГ
1	Звичайна вода	7,2	260	370	0,27
2	«Лужна» вода	10,2	240	335	0,26
3	ЕМА вода	9,5	250	355	0,26
4	«Кисла» вода	5,8	280	390	0,27

Примітки: ПТ – початок тужавіння, КТ – кінець тужавіння, НГ – нормальна густина цементного тіста, pH – водневий показник.

Таким чином, визначено, що цементне тісто, приготоване на «лужній» воді, має більш короткі терміни тужавіння, ніж тісто, отримане на воді іншого методу активації або звичайній воді, а застосування «кислої» води призводить до збільшення термінів тужавіння.

Для оцінки впливу активації води замішування на процеси гідратації цементного тіста визначали величину контракції із застосуванням лінійного мікроскопу. Результати випробувань наведені на рис. 1.

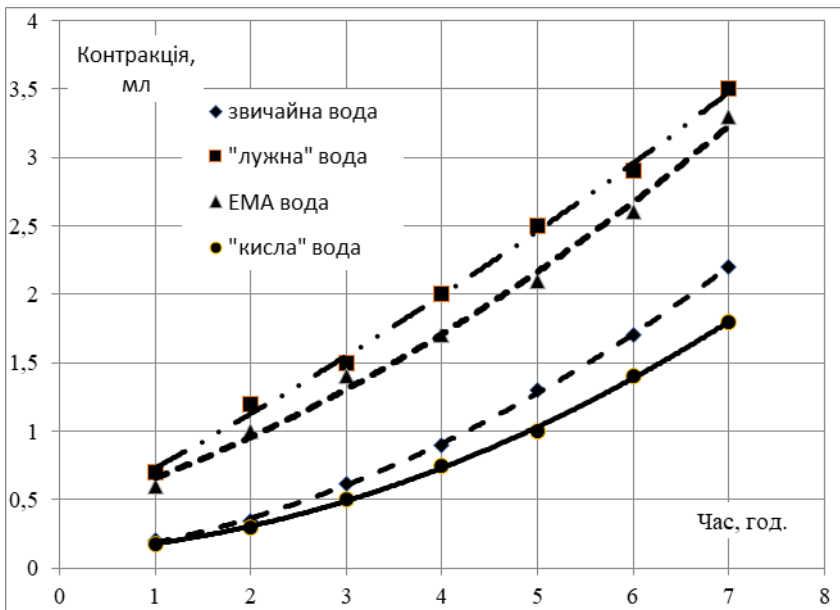


Рис. 1. Контракція цементного тіста

З рис. 1 видно, що найбільша контракція цементного тіста спостерігається в складах, зачинених на «лужній» та ЕМА воді. Найменша контракція цементного тіста спостерігається на «кислій» воді.

Досліджено вплив активованої води замішування на міцність при згині і стиску дрібнозернистого бетону в віці 7 і 28 діб. Зразки були виконані та випробувані згідно з державними стандартами. Результати експерименту наведені в табл. 2 та на рис. 2.

Так, найбільше підвищення міцності спостерігається у бетонів, зачинених «кислою» водою: міцність при згині підвищується щодо контрольного на 20-51%, а при стиску - на 18-40%. При цьому найменше підвищення міцності розчину спостерігається в складах, зачинених ЕМА водою.

Таким чином, попередня активація води замішування дозволяє підвищити міцність цементних композицій, особливо в зразках, виконаних на «кислій» воді.

Таблиця 2

Вид води замішування	Міцність бетону			
	Міцність бетону, МПа			
	при стиску		при вигині	
	7 діб	28 діб	7 діб	28 діб
Звичайна вода	27,9	33,8	3,33	5,23
«Лужна» вода	30,7	36,5	3,6	5,9
ЕМА вода	29,8	35,1	3,38	5,68
«Кисла» вода	30,7	36,5	3,60	5,60

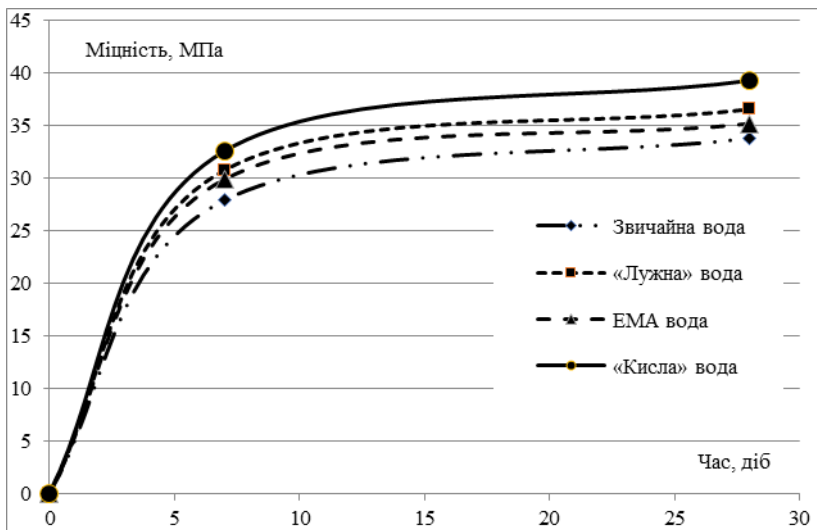


Рис. 2. Зміна міцності бетону в часі

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити наступні висновки:

- 1) вода замішування, активована різними способами, впливає на властивості цементного тіста і бетону. Так, склади, отримані на лужній воді, мають коротші терміни тужавіння, в порівнянні з іншими складами;
- 2) кінетика контракції цементного тіста свідчить про швидку гідратацію портландцементу, замішаного на «лужній» воді;
- 3) міцність при стиску і згині дрібнозернистого бетону збільшується у всіх бетонів, отриманих на активованій воді, при цьому найбільше збільшення міцності спостерігається у бетонів, приготованих на «кислій» воді.



## **References**

1. Makaeva A. A, Pomazkin V. A. Pro vikoristannya magnitno-aktivirovannoy vodi dlya zamishuvannya betonnykh sumishey // Beton i zalizobeton, 1998, # 3. P. 26-28.
2. Shishkina O.O. Doslidzhennya vplivu nanokatalizu na formuvannya mitsnosti reaktsiynogo poroshkovogo betonu / O.O. Shishkina, O.O. Shishkin // Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tehnologiy. 2016. 1/6 (79). P. 55-60.
3. Staroverov V.D. Opyit promyshlennogo primeneniya nanomodifitsirovannykh betonnykh smesey / A.Yu. Kovaleva, I.U. Aubakirova, V.D. Staroverov // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2008. #3(16). P. 74-76.
4. Safronov V.M. Tsiklova magnitna aktivatsiya rідkikh seredovisch zamishuvannya z porushenoyu strukturoyu riznogo himichnogo skladu / V.M.Safronov, S.A Kugaevskiy, O.V. Rummyantseva // Vesnik TGASU. 2012. # 3. P. 133-142.
5. Sudarev E.A. Vliyanie rastvorov kislot na protsessyi gidratsii i tverdeniya tsementa / E.A. Sudarev, A.P. NovosYolova // Mendeleev 2012. Neorganicheskaya himiya. VI Vserossiyskaya konferentsiya molodykh uchenykh, aspirantov i studentov s mezhdunarodnyim uchastiem. Tezisy dokladov.- Spb.: Izd. Solo, 2012. P. 314- 316.
6. Bazhenov Yu.M. Teoretichne obosnovanie polucheniya betonov na osnove elektrohimicheskoy i elektromagnitno-aktivirovannoy vodi zatvoreniya / Yu.M.Bazhenov, V.T. FomIchov i dr. // Internet-vestnik VolgGASU 2012. Vyip. 2 (22). P. 5.

## **Список використаної літератури**

1. Макаева А. А, Помазкин В. А. Про використання магніто-активованої води для замішування бетонних сумішей // Бетон і залізобетон, 1998, № 3. С. 26-28.
2. Шишкіна О.О. Дослідження впливу нанокаталізу на формування міцності реакційного порошкового бетону / О.О. Шишкіна, О.О. Шишкін // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2016. 1/6 (79). С. 55-60.
3. Староверов В.Д. Опыт промышленного применения наномодифицированных бетонных смесей / А.Ю. Ковалева, И.У. Аубакирова, В.Д. Староверов // Вестник гражданских инженеров. 2008. №3(16). С. 74-76.
4. Сафронов В.М. Циклова магнітна активація рідких середовищ замішування з порушеною структурою різного хімічного складу / В.М.Сафронов, С.А Кугаєвський, О.В. Румянцева // Весник ТГАСУ. 2012. № 3. С. 133-142.
5. Сударев Е.А. Влияние растворов кислот на процессы гидратации и твердения цемента / Е.А. Сударев, А.П. Новосёлова // Менделеев 2012. Неорганическая химия. VI Всероссийская конференция молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием. Тезисы докладов.- Спб.: Изд. Solo, 2012. С. 314- 316.
6. Баженов Ю.М. Теоретичне обоснование получения бетонов на основе электрохимической и электромагнитно-активированной воды затворения / Ю.М.Баженов, В.Т. Фомічов и др. // Интернет-вестник ВолгГАСУ 2012. Вып. 2 (22). 5 с.

## З М І С Т

Вишневський Д.С.	Законодавче забезпечення системи територіального планування в Україні .....	3
Драпалюк М.В.	Фізико-хімічні дослідження впливу добавок на біоводостійкість конструкцій .....	11
Ільїн Я. В.	Врахування впливу коефіцієнта запасу міцності на морозостійкість при розрахунку дорожнього одягу .....	18
Коломійчук Г.П., Майстренко О.Ф., Коломійчук В.Г., Коломійчук В.Г.	Великопрольотні просторові конструктивні системи, запроєктовані за біонічними принципами .....	24
Мельник Ю.А., Верешко О.В., Парфентьева І.О., Білоус Д.Ю., Мельник О.В.	Формування містобудівних об'єктів відновлення з використанням природних матеріалів .....	34
Мудрий І.Б.	Вплив BIM-технологій на розробку технологічних карт будівельних процесів .....	41
Оксак С.В.	Вплив методики визначення на величину структуруючої здатності мінеральних порошків ..	47
Orešković Matija, Cvitković Ivan, Brlak Predrag, Klymenko Ievgenii, Kučina Lucija, Krantovska Olena	Research of the Bridge Structure by Impact-echo Method .....	54
Пахолук О.А., Самчук В.П., Чапук О.С., Зорук С.О.	Термомодернізація багатоквартирних будинків ...	65

Пиріг Я.І., Галкін А.В.	Аналіз адгезійних добавок Карбозалін ..... 71
Плахотний Г.Н., Чернева О.С., Чорна Л.В.	Особливості влаштування фундаментів вітродвигунів, що сприймають горизонтальні і крутильні навантаження ..... 79
Уль А.В., Мельник О.В., Рудик О.В., Мельник Ю.А., Синій С.В.	Принципи моделювання динамічних систем при інженерно-геодезичному моніторингу споруд ..... 85
Fursovych M.A., Suprunyuk V.V., Ziatiuk Y.Y., Cherpurko I.A.	Reliability Operating Providing of the Road Construction by Determining the Actual Elastic Modulus ..... 93
Чапюк О.С., Гришкова А.В., Пахолюк О.А., Орешкін Д.О., Соломонюк А.О.	Використання композитної арматури в Україні та світі .....100
Шишкіна О.О.	Вплив виду активації води на властивості цементного тіста та бетону .....108

Наукове видання

**Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві**

**Збірник наукових праць**

**Випуск 15**

Верстка С.В. Ротко

Редактор В.І. Шваб'юк

Підписано до друку 27 травня 2021 р. Формат 60 × 84 1/16.  
Папір офсетний

Гарнітура Times New Roman. Друк трафаретний.  
Умовн.друк.арк. 7,25. Тираж 100 пр. Зам. №\_\_\_\_

Відділ іміджу та промоції Луцького національного технічного  
університету, 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75

Друк – відділ іміджу та промоції Луцького НТУ