

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 691.328-027.45:621.78

Т. М. ДЕХТА<sup>1\*</sup>, О. В. ГРОМОВА<sup>2</sup>, С. В. ВАСИЛЕНКО<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Академіка Олега Петрова, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (096) 242 64 41, ел. пошта dehta.tatyana75@gmail.com, ORCID 0000-0001-5023-3070

<sup>2</sup> Кафедра «Архітектурне проектування, землеустрій та будівельні матеріали», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010, Україна, тел. +38 (056) 373 15 46, ел. пошта o.v.hromova@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-5149-4165

<sup>3</sup> Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Академіка Олега Петрова, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (050) 362 44 45, ел. пошта vasylenko.svitlana@pgasa.dp.ua, ORCID 0000-0001-8687-4726

### ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ПІД ЧАС ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ БЕТОНУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ДОБАВОК

**Метою** роботи є теплова обробка (пропарювання) бетонних та залізобетонних виробів як ефективний спосіб прискорення твердіння бетону. Теплова обробка бетону є одним із найвідповідальніших будівельних процесів. Відомі випадки, коли через підвищену температуру бетону і великі перепади температури виникали надмірні температурні напруження, внаслідок чого утворювалися тріщини. Вибираючи метод теплової обробки бетону, спочатку потрібно розглянути можливість використання методу енергозбереження. Розширенням його є введення добавок – прискорювачів твердіння бетону та цементів підвищеного тепловиділення (швидкодіючих та високомарочних), а також пластифікаторів та суперпластифікаторів. **Методика.** У роботі використані стандартні методи дослідження для визначення фізико-механічних властивостей залізобетону і якості комплексних добавок згідно з ДСТУ 9208:2022, ДСТУ Б В. 2.7-2.7-114-2002, ДСТУ Б В.2.7-215:2009, ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Запропоновано для скорочення тривалості теплової обробки або зниження температури ізотермічного прогріву застосовувати добавку, одержану на основі шламу металопереробних підприємств. **Результати.** Досліджено вплив комплексної добавки на основі шламу на властивості залізобетону. Запропонована добавка при всіх прийнятих режимах термообробки підвищує міцність бетону порівняно з міцністю бетону без такої добавки. **Наукова новизна** одержаних результатів полягає в наступному, теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджена ефективність комплексної добавки до бетонів на основі шламу (кеку) металопереробних підприємств. Показано вплив добавки на характеристики міцності бетонів, що піддаються тепловій обробці при різних режимах і бетонів природного твердіння. **Практична значимість.** Результати роботи реалізовані у виробництві залізобетонних виробів та конструкцій.

*Ключові слова:* залізобетон; комплексна добавка; міцність; режим теплової обробки; міцність при стиску

#### Вступ

Проблеми енергозбереження слід розглядати як комплекс організаційних та технічних завдань. Ефективне використання енергетичних ресурсів – використання всіх видів енергії економічно виправданими, прогресивними способами при існуючому рівні розвитку техніки та технологій.

Рациональне енергоспоживання, пов'язане з енергозбереженням, із запровадженням нових технологій, які зменшують енергоспоживання порівняно з існуючим рівнем, одночасно позитивно впливає на вирішення екологічних проблем. До основних факторів, що зумовлюють

високу енергоємність виробництва в Україні, відносяться:

- нераціональне споживання енергетичних ресурсів, зокрема, внаслідок недотримання чинних вимог до технологій та обладнання;
- застарілі трубопроводи й комунікації, а також невчасне їх оновлення;
- значні втрати енергоресурсів, насамперед природного газу, теплової та електроенергії при їх транспортуванні, зберіганні та розподілі;
- повільне впровадження енергоефективних технологій та обладнання у будіндустрії;
- недостатнє використання накопичених відходів металургії (металургійних розплавів) (Клименко, Кравченко, Телюта, 2020).

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

– високий ступінь фізичного зносу основних фондів технологічного обладнання, як будіндустрії, так і енергоємних галузей;

– високий рівень втрат енергетичних ресурсів при їх передачі та споживанні;

– відсутність системи заохочень до зменшення споживання енергії;

– відсутність приладів обліку економії енергоресурсів;

– низький рівень впровадження енергоефективних технологій та обладнання в промисловість будівельних матеріалів (Ушеров-Маршак & Залуцька, 2005; Клименко, Кравченко, Телюта, 2020).

Однією з найважливіших проблем м. Дніпро з охорони навколишнього середовища є проблема утилізації та переробки відходів, які одержують у технологічному процесі на металопереробних підприємствах. Такі відходи у великій кількості утворюються при чищенні металу від іржі та окалини розчинами кислот (у травильному виробництві). При цьому в технологічному процесі використовують як сірчану кислоту (ПАТ «Інтерпайп НТЗ»), так і соляну кислоту (ТОВ «Дніпрометиз ТАС»).

На підприємствах для зниження шкідливості відпрацьованих розчинів кислот їх нейтралізують (обробляють вапном). У результаті отримують суспензію (суміш рідини з твердими частинками), яку на спеціальних вакуумфільтрах поділяють на твердий залишок (кек) і рідину. У такому вигляді ці відходи (сульфати хлориду заліза та кальцію, гідроксид заліза та кальцію) зберігаються у спеціальних сховищах-відстійниках. Згодом вони, розчиняючись, фільтруються в ґрунт і разом із ґрунтовими водами переносяться на великі відстані, завдаючи величезних збитків навколишньому середовищу. Значна частина вмісту відстійників фільтрується у річку Дніпро. Про це свідчать озера, що утворилися на території, що знаходяться між цими спорудами і річкою. Рідина у цих озерах має специфічний колір, подібний до кольору рідини у відстійниках (Сторожук, Павленко, Дехта, Фролова, 2006; Балмасова, Г. Ф., Балмасов, Г. Ф., & Мешков, 2006; Рунова, & Носовський, 2007).

Періодично твердий залишок вивозять на міські та інші звалища, де вони продовжують розчинятися, фільтруються у ґрунт поширюючись ґрунтовими водами.

На нашу думку, відстійники (сховища) є спорудами, якими щорічно організовано викидається у довкілля тисячі тон зазначених відходів. Разом з цим, виділяються дуже великі кошти для підтримки відстійників у належному стані, будуються нові, подібні споруди, займаючи величезні території (Сторожук, Дехта, Данильченко, 2005b). Тому питання розробки і дослідження комплексних добавок для збереження енергоресурсів при теплової обробці бетонів є актуальним науково-технічним напрямком в будівельному матеріалознавстві (Pshinko, Pavlenko, Dekhta, Hromova, & Steinbrech, 2022; Dekhta, Pshinko, Hromova, & Steinbrech, 2023).

### Мета

Розробка та застосування ефективних способів отримання відпускної міцності бетону в мінімально допустимі терміни без значних енергетичних витрат.

### Методика

Нами запропоновано для скорочення тривалості теплової обробки або зниження температури ізотермічного прогріву застосовувати добавку, одержану на основі шламу металопереробних підприємств (Сторожук, Дехта, Данильченко, 2005a; Сторожук, Дехта, & Ликова, 2005; Дехта, Шпирько, Бондаренко, & Василенко, 2022). У цій роботі розглядається комплексна добавка на основі шламу (кеку) ТОВ «Дніпрометиз ТАС». Склад добавки (за масою) (Патент 10428, 2005): шлам (кек) – 80...90 %; СДБ – 10...20 %.

### Результати

У статті розглядаються шлам (кек) з основними фізичними властивостями, які наведені в табл. 1, а хімічний склад – у табл. 2.

Склади бетонних сумішей рухливістю ОК=3...4 см, які використовували в дослідженнях, наведені в табл. 3.

Попередніми результатами досліджень встановлено, що аналізовані відходи можуть бути успішно використані в будівництві. Вони, як добавки в бетонні та розчинні суміші, дозволяють суттєво прискорити твердіння бетону та будівельного розчину, принципово підвищують їхню міцність, надають можливість економити цемент.

Таблиця 1

**Основні фізичні властивості шламу (кека)**

Основні показники	Одиниця вимірювання	Показники
Густина шламу у вологому (природному) стані	кг/м <sup>3</sup>	1145
Густина кеку	кг/м <sup>3</sup>	1050
Густина шламу у висушеному стані	кг/м <sup>3</sup>	595
Істинна густина шламу	г/см <sup>3</sup>	2,051
Пористість кеку	%	49,5
Пористість сухого шламу	%	71,1
Дисперсність сухого шламу сито №02	%	8,23
сито №008		20,09
Вологість шламу	%	92,3
Гігроскопічність шламу	%	1,119

Таблиця 2

**Хімічний склад шламу (кеку), масових частках %**

CaCl <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub>	FeCl <sub>2</sub>	Fe(OH) <sub>3</sub>	Fe(OH) <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>
28...36	23...33	24...32	2...3	2...3	5...9

Таблиця 3

**Склад бетонних сумішей**

Матеріали	Бетонна суміш без добавки	Бетонна суміш з добавкою
Цемент, кг	320	324
Пісок, кг	580	588
Щебінь, кг	1267	1292
Вода, л	205	185
Комплексна добавка, кг	–	7,04
Густина бетонної суміші, кг/м <sup>3</sup>	2372	2397

Пропоновану добавку доцільно вводити у воду замішування бетонних сумішей у кількості 2 % від витрати цементу. При цьому попередньо готують концентрований розчин добавки (10...20 %), який і дозують відповідним дозатором.

Запропонована добавка при всіх прийнятих режимах теплової обробки підвищує міцність бетонів у порівнянні з міцністю бетонів без такої добавки, і не тільки усуває недобір міцності пропареного бетону у віці 28 діб, але й забезпечує отримання більших показників за характеристиками міцності в цьому віці. Запропонова-

на добавка найефективніша при знижених температурах ізотермічного прогріву, що забезпечує значну економію енергоресурсів.

Контроль якості добавки ведуть вимірювання щільності робочого розчину.

Формували зразки розміром 10×10×10 см для твердіння в природних умовах і для кожного прийнятого режиму теплової обробки (після 2-х годинної попередньої витримки): 2+8+2 та 2+6+2 при температурі ізотермічного прогріву 80 °С (зазвичай застосовується на підприємствах будіндустрії) 2+8+2 при зниженій температурі ізотермічного прогріву – 60 °С. Визначали

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

міцність бетонів при стисканні через 2 години тати випробувань наведено у табл. 4 та рис. 1. після теплової обробки та у віці 28 діб. Результ-

Таблиця 4

## Міцність бетонів при різних режимах теплової обробки

Вид бетону	Міцність бетонів (МПа) при режимах теплової обробки			Міцність пропарених бетонів (МПа) у віці 28 діб	Міцність бетонів (МПа) після твердіння в нормальних умовах 28 діб
	2 + 8 + 2 (t = 80 °C)	2 + 6 + 2 (t = 80 °C)	2 + 8 + 2 (t = 60 °C)		
Без добавки	22,5	18,1	18,3	27,7	31,2
З комплексною добавкою	<u>27,3</u> 122	<u>25,1</u> 133	<u>26,9</u> 146	<u>34,3</u> 123	<u>36,1</u> 116

Примітка: чисельник – міцність при стисканні (МПа); знаменник – зміна міцності % по відношенню до міцності бетонів без добавки.

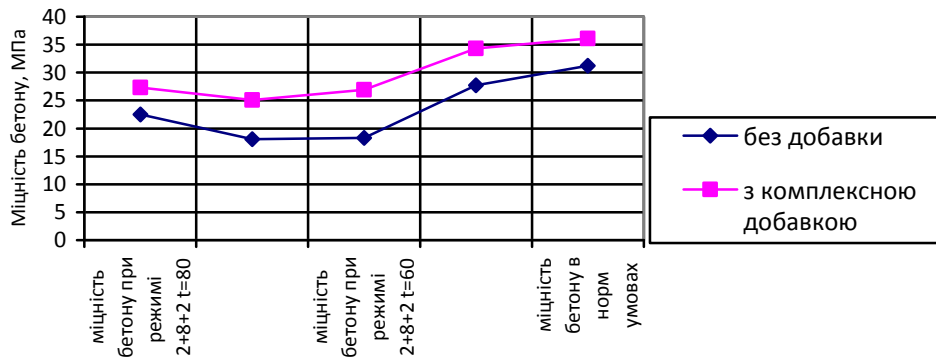


Рис. 1. Результати випробувань бетонів без добавки і з комплексною добавкою при різних умовах твердіння і режимах тепловологісної обробки

Отримані результати досліджень (табл. 3) свідчать про можливість зниження витрати цементу в бетонах із запропонованою добавкою при отриманні рівномірних бетонів. Відповідно до цього наведено відповідні дослідження.

Склади бетонних сумішей та характери-

сти міцності бетонів, що твердіють в нормальних умовах, наведені в табл. 5. Ці ж бетони піддавалися тепловій обробці. Режими теплової обробки застосовували такі ж, як і в попередніх дослідках. Результати досліджень наведені у табл. 6 та рис. 2.

Таблиця 5

## Вплив комплексної добавки на склад бетонної суміші та межу міцності бетону

Основні показники	Бетонні суміші (бетони)	
	без добавки	з добавкою
Витрата матеріалів на 1 м <sup>3</sup> :		
цемент, кг	320	292
пісок, кг	580	604
щебінь, кг	1267	1298
вода, л	205	185
комплексна добавка, кг	–	6,32
Густина бетонної суміші, кг/м <sup>3</sup>	2372	2386
Межа міцності бетону при стисканні, МПа	30,3	30,7

Вплив режимів теплової обробки на міцність бетонів

Вид добавки	Міцність бетонів (МПа) при режимах теплової обробки			Міцність пропарених бетонів (МПа) у віці 28 днів	Міцність бетонів (МПа) після твердіння в нормальних умовах 28 днів
	2 + 8 + 2 (t = 80 °C)	2 + 6 + 2 (t = 80 °C)	2 + 8 + 2 (t = 60 °C)		
Без добавки	19,1	16,3	16,4	24,6	27,1
З комплексною добавкою	<u>24,7</u> 129	<u>22,2</u> 136	<u>24,2</u> 148	<u>29,9</u> 122	<u>31,2</u> 115

Примітка: те саме, що і для таблиці 2

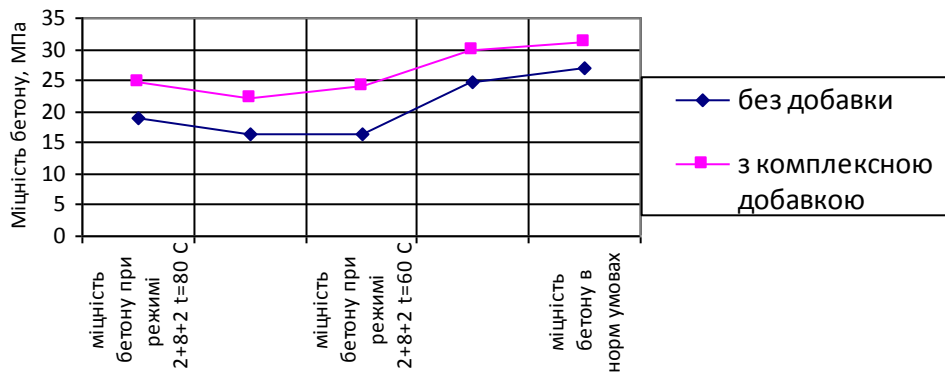


Рис. 2. Вплив режимів теплової обробки на міцність бетонів без добавки і з комплексною добавкою зі зниженим вмістом цементу на 12 %

Аналіз експериментальних даних дозволяє зробити висновки про те, що запропонована добавка при отриманні рівномірних бетонів дозволяє знизити витрати цементу на 10...12 % як у бетонах, що піддаються тепловій обробці, так і в бетонах природного твердіння (порівняно з бетонами без добавок); вона є більш ефективною для бетонів зі зниженою витратою цементу (для тонких бетонів).

**Наукова новизна і практична значимість**

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному, теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджена ефективність комплексної добавки до бетонів на основі шламів (кеку) металопереробних підприємств. Показано вплив добавки на характеристики міцності бетонів, що піддаються тепловій обробці при різних режимах і бетонів природного твердіння. Результати роботи реалізовано у виробництві залізобетонних виробів та конструкцій.

**Висновки**

Запропоновано та випробувано комплексну добавку для бетонів на основі шламів (кеку)

металопереробних підприємств. Показано вплив добавки на характеристики міцності бетонів, що піддаються тепловій обробці при різних режимах і бетонів природного твердіння. Добавка не тільки усуває недобір міцності пропареного бетону у віці 28 днів по відношенню до бетонів без добавки, але й забезпечує отримання більших показників. Більш ефективна добавка при знижених температурах ізотермічного прогріву та для бетонів з низькими витратами цементу. Крім цього, впровадження розробки дозволить суттєво зменшити викиди у навколишнє середовище та сприяти, таким чином, його оздоровленню (часткова ліквідація сховищ-відстійників, рекультивация земель під зелені насадження та ін.).

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

Pshinko, O. M., Pavlenko, T. M., Dekhta, T. M., Hromova, O. V., & Steinbrech, O. V. (2022). Improvement of concrete and building mortar technology using secondary mineral resources. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 91-96.  
 Dekhta, T., Pshinko, P., Hromova, O., & Steinbrech, O. (2023). Experimental Investigation and Theoretical

## МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- Background of the Optimal Control of the Concrete Mixture Forming. *Komunikácie – vedecké listy Žilinskej univerzity v Žiline*, 2, D39–D42.
- Балмасова, Г. Ф., Балмасов, Г. Ф., & Мешков, П. І. (2006). Порівняльний аналіз європейського та азіатського ринків хімічних добавок для сухих будівельних сумішей. *Будівельні матеріали*, 3, 9–11.
- Дехта, Т. М., Шпирько, М. В., Бондаренко, С. В., & Василенко, С. В. (2022). *Будівельне матеріалознавство*. Дніпро: ДВНЗ «ПДАБА».
- Дехта, Т. М., & Василенко, С. В. (2024). *Забезпечення технології бетону та будівельних розчинів вторинними мінеральними ресурсами*. IX International scientific and practical conference «Scientific Problems and Options for Their Solution». Bucharest, Romania, International Scientific Unity. 39-44. URL: <https://isu-conference.com/arkhiv/scientific-problems-and-options-for-their-solution/>
- Клименко, В. В., Кравченко, В. І., & Телюта, Р. В. (2020). *Енергозбереження в теплотехнологічних процесах та установках*. Кропивницький: ПП Ексклюзив-Систем.
- Сторожук, М. А., Дехта, Т. М., & Данильченко, О. Ю. (2005а). Добавка до бетону на основі шламів металопереробних підприємств. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, 3, 58-61.
- Сторожук, М. А., Дехта, Т. М., & Данильченко, О. Ю. (2005б). Ефективна добавка до будівельних розчинів. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, 10, 32-38.
- Сторожук, М. А., Дехта, Т. М., & Ликова, С. О. (2005). *Домішка в бетонну суміш*. Патент 10428 (Україна). *Бюлетень*, 11.
- Сторожук, М. А., Павленко, Т. М., & Дехта, Т. М., Фролова, Т. Ф. (2006). Вторинні мінеральні ресурси Наддніпрянщини у технології бетонів та будівельних розчинів. *Новини науки Придніпров'я: Інженерні дисципліни*, 4, 14-23.
- Рунова, Р. Ф., & Носовський, Ю. Л. (2007). *Технологія модифікованих будівельних розчинів*. Київ: КНУБА.
- Ущеров-Маршак, О. В., & Залуцька, І. А. (2005). Добавки до бетону. Систематика та оцінка ефективності. *Будівельні матеріали та виробы*. 3. 15-18.

T. M. DEHTA<sup>1\*</sup>, O. V. HROMOVA<sup>2</sup>, S. V. VASYLENKO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Technology of Building Materials, Products and Constructions, Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Academician Oleg Petrov st., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (096) 242 64 41, e-mail dehta.tatyana75@gmail.com, ORCID 0000-0001-5023-3070

<sup>2</sup> Department of Architectural design, land management and building materials, Dnipro Ukrainian State University of Science and Technology, st. Lazaryana, 2, Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 373 15 46, e-mail eleanagromova@gmail.com, ORCID 0000-0002-5149-4165

<sup>3</sup> Department of Technology of Building Materials, Products and Constructions, Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Academician Oleg Petrov st., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (050) 362 44 45, e-mail vasylenko.svitlana@pgasa.dp.ua, ORCID 0000-0001-8687-4726

## SAVING ENERGY RESOURCES DURING THE HEAT TREATMENT OF CONCRETE DUE TO THE USE OF ADDITIVES

**Purpose** of the work is heat treatment (steaming) of concrete and reinforced concrete products as an effective method of accelerating concrete hardening. Heat treatment of concrete is one of the most responsible construction processes. There are known cases when, due to the increased temperature of the concrete and large temperature differences, excessive temperature stresses arose, as a result of which cracks were formed. When choosing a method of heat treatment of concrete, you must first consider the possibility of using an energy saving method. Its extension is the introduction of additives – concrete hardening accelerators and cements of increased heat release (fast-acting and high-quality), as well as plasticizers and superplasticizers. **Methodology**. To reduce the duration of heat treatment or reduce the temperature of isothermal heating, it is proposed to use an additive obtained on the basis of the sludge of metal processing enterprises. The work uses standard research methods to determine the physical and mechanical properties of reinforced concrete and the quality of complex additives in accordance with DSTU 9208:2022, DSTU B V. 2.7-2.7-114:2002, DSTU B V.2.7-215:2009, DSTU B V. 2.7-214:2009. **Findings**. The effect of a complex slurry-based additive on the properties of reinforced concrete was investigated. The proposed additive increases the strength of concrete in all accepted heat treatment modes compared to the strength of concrete without such an addi-

ive. **Originality** of the obtained results is the following, theoretically substantiated and experimentally confirmed complex additive to concrete based on sludge (cake) of metal processing enterprises. The effect of the additive on the strength characteristics of concrete subjected to heat treatment under different regimes and natural hardening concrete is shown. **Practical value.** The results of the work are implemented in the production of reinforced concrete products and structures.

*Keywords:* reinforced concrete; complex additive; strength; mode of heat treatment; compressive strength

## REFERENCES

- Pshinko, O. M., Pavlenko, T. M., Dekhta, T. M., Hromova, O. V., & Steinbrech, O. V. (2022). Improvement of concrete and building mortar technology using secondary mineral resources. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 91-96. (in English)
- Dekhta, T., Pshinko, P., Hromova, O., & Steinbrech, O. (2023). Experimental Investigation and Theoretical Background of the Optimal Control of the Concrete Mixture Forming. *Komunikácie – vedecké listy Žilinskej univerzity v Žiline*, 2, D39–D42. (in English)
- Balmasova, H. F., Balmasov, H. F., & Meshkov, P. I. (2006). Porivnialnyi analiz yevropeiskoho ta aziatskoho rynkiv khimichnykh dobavok dlia sukhykh budivelnnykh sumishei. *Budivelni materialy*, 3, 9-11. (in Ukrainian)
- Dekhta, T. M., Shpyrko, M. V., Bondarenko, S. V., & Vasylenko, S. V. (2022). *Budivelne materialoznavstvo*. Dnipro: DVNZ «PDABA». (in Ukrainian)
- Dekhta, T. M., & Vasylenko, S. V. (2024). *Zabezpechennia tekhnologii betonu ta budivelnnykh rozchyniv vtorynnymy mineralnymy resursamy*. IX International scientific and practical conference «Scientific Problems and Options for Their Solution». Bucharest, Romania, International Scientific Unity. 39-44. URL: <https://isu-conference.com/arkhiv/scientific-problems-and-options-for-their-solution/>(in Ukrainian)
- Klymenko, V. V., Kravchenko, V. I., & Teliuta, R. V. (2020). *Enerhozberezhennia v teplotekhnologichnykh protsesakh ta ustanovkakh*. Kropyvnytskyi: PP Ekskliuzyv-System. (in Ukrainian)
- Storozhuk, M. A., Dekhta, T. M., & Danylchenko, O. Yu. (2005a). Dobavka do betonu na osnovi shlamiv metalopererobnykh pidpriemstv. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, 3, 58-61. (in Ukrainian)
- Storozhuk, M. A., Dekhta, T. M., & Danylchenko, O. Yu. (2005b). Efektyvna dobavka do budivelnnykh rozchyniv. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, 10, 32-38. (in Ukrainian)
- Storozhuk, M. A., Dekhta, T. M., & Lykova, S. O. (2005). *Domishka v betonnu sumish*. Patent 10428 (Ukraine). *Biuletyn*, 11. (in Ukrainian)
- Storozhuk, M. A., Pavlenko, T. M., & Dekhta, T. M., Frolova, T. F. (2006). Vtorynni mineralni resursy Naddnprianshchyny u tekhnologii betoniv ta budivelnnykh rozchyniv. *Novyny nauky Prydniprov`ya: Inzhenerni dystsypliny*, 4, 14-23. (in Ukrainian)
- Runova, R. F., & Nosovskyi, Yu. L. (2007). *Tekhnologhiia modyfikovanykh budivelnnykh rozchyniv*. Kyiv: KNUBIA. (in Ukrainian)
- Usherov-Marshak, O. V., & Zalutska, I. A. (2005). Dobavky do betonu. Systematyka ta otsinka efektyvnosti. *Budivelni materialy ta vyroby*. 3. 15-18. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 29.12.2023.

Прийнята до друку 03.01.2024.