

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПІД ЧАС ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ БЕТОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ДОБАВОК

### ENERGY SAVING DURING THERMAL TREATMENT OF CONCRETE USING ADDITIVES

Дехта Т. М., к.т.н., доц., orcid.org/0000-0001-5023-3070; Бондаренко С. В., к.т.н., доц., orcid.org/0000-0001-9947-721X; Василенко С. В., асистент, orcid.org/0000-0001-8687-4726 (Український державний університет науки і технологій, Навчально-науковий інститут Придніпровська державна академія будівництва та архітектури)

T. M. Dekhta, Ph.D., associate professor, orcid.org/0000-0001-5023-3070; S. V. Bondarenko, Ph.D., associate professor, orcid.org/0000-0001-9947-721X; S. V. Vasylenko, assistant, orcid.org/0000-0001-8687-4726 (Ukrainian state university of science and technology, educational and scientific institute of the Dnipro state academy of construction and architecture)

Теплова обробка (пропарювання) бетонних та залізобетонних виробів як ефективний спосіб прискорення твердиння бетону. Теплова обробка бетону є одним із найвідповідальніших будівельних процесів. Відомі випадки, коли через підвищену температуру бетону і великі перепади температури виникали надміrnі температурні напруги, внаслідок чого утворювалися тріщини. Вибираючи метод теплової обробки бетону, спочатку потрібно розглянути можливість використання методу енергозбереження. Розширенням його є введення добавок - прискорювачів твердиння бетону та цементів підвищеного тепловиділення (швидкодіючих та високомарочних), а також пластифікаторів та суперпластифікаторів. Досліджено вплив комплексної добавки на основі шламу на властивості залізобетону. Запропонована добавка при всіх прийнятіх режимах термообробки підвищує міцність бетону порівняно з міцністю бетону без такої добавки. Одержані результати наведені 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 твердиння. Результати роботи реалізовано у виробництві залізобетонних виробів та конструкцій.

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. 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 additive. 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. The results of the work are implemented in the production of reinforced concrete products and structures.

**Ключові слова:** залізобетон; комплексна добавка; міцність; режим теплової обробки; міцність при стиску  
reinforced concrete; complex additive; strength; heat treatment regime; compressive strength

**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. Раціональне енергоспоживання, пов'язане з енергозбереженням, із запровадженням нових технологій, які зменшують енергоспоживання порівняно з існуючим рівнем, одночасно позитивно впливає на вирішення екологічних проблем [1, 4].

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 енергоекспективних технологій та обладнання у будіндустрії;
- недостатнє використання накопичених відходів металургії (металургійних розплавів) [5].

Найгірше в Україні по екологічності, а також загальної ефективності галузі по використанню вторинних матеріальних ресурсів.

Основними чинниками, які перешкоджають на сьогодні зниженню енергоємності будіндустрії є:

- 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 [3].

**Мета дослідження.** Однією з найважливіших проблем м. Дніпро з охорони навколошнього 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») [2, 3].

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

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 (kek) і рідину. У такому вигляді ці відходи (сульфати хлориду заліза та кальцію, гідроксид заліза та кальцію) зберігаються у спеціальних сховищах-відстійниках.

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, будується нові, подібні споруди, займаючи величезні території. Тому питання розробки і дослідження комплексних добавок для збереження енергоресурсів при тепловій обробці бетонів є актуальним науково-технічним напрямком в будівельному матеріалознавстві [6].

**Результати експериментальних досліджень.** Запропоновано для скорочення тривалості теплової обробки або зниження температури ізотермічного прогріву застосовувати добавку, одержану на основі шламу металопереробних підприємств. У цій роботі розглядається комплексна добавка на основі шламу (kekу) ТОВ «Дніпрометиз ТАС». Склад добавки (за масою):

- шлам (kek) – 80...90 %;

- СДБ – 10...20 %.

У статті розглядаються шлам (кек) з основним хімічним складом – табл. 1.

Таблиця 1

**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

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.

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 прийнятіх 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. Запропонована добавка найефективніша при знижених температурах ізотермічного прогріву, що забезпечує значну економію енергоресурсів [3, 6].

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 800 °C (зазвичай застосовується на підприємствах будіндустрії) 2+8+2 при зниженні температурі ізотермічного прогріву – 600 °C. Визначали міцність бетонів при стисканні через 2 години після теплової обробки та у віці 28 діб. Результати випробувань наведено у табл. 2.

Отримані результати досліджень (табл. 3) свідчать про можливість зниження витрати цементу в бетонах із запропонованою добавкою при отриманні рівноміцних бетонів. Відповідно до цього наведено відповідні дослідження. Бетони піддавалися тепловій обробці. Режими теплової обробки застосовували такі ж, як і в попередніх дослідах. Результати досліджень наведені у табл. 3.

Аналіз експериментальних даних дозволяє зробити висновки про те, що пропонована добавка при отриманні рівноміцних бетонів дозволяє знизити витрату 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) [7, 9].

Таблиця 2

**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

Таблиця 3

**Вплив режимів теплової обробки на міцність бетонів**

Вид добавки	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	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 табл. 1

**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 діб по відношенню до бетонів без добавки, але й забезпечує отримання більших показників. Більш ефективна добавка при зниженіх температурах ізотермічного прогріву та для бетонів з низькими витратами цементу. Крім цього, впровадження розробки дозволить суттєво зменшити викиди у навколошнє середовище та сприяти, таким чином, його оздоровленню (часткова ліквідація сховищ-відстійників, рекультивація земель під зелені насадження та ін.).

1. Клименко В. В., Кравченко В. І., Телюта Р. В. Енергозбереження в теплотехнологічних процесах та установках. Навчальний посібник: Кропивницький. - ПП Ексклюзив-Систем, 2020. - 219 с.

Klymenko V. V., Kravchenko V. I., Teliuta R. V. Enerhozberezhennia v teplotekhnolohichnykh protsesakh ta ustanovkakh. Navchalnyi posibnyk: Kropyvnytskyi. - PP Ekskliuzyv-System, 2020. - 219 s.

**2.** Сторожук М. А., Павленко Т. М., Дехта Т. М., Фролова Т. Ф. Вторинні мінеральні ресурси Наддніпрянщини у технології бетонів та будівельних розчинів: Дніпро. - Новини науки Придніпров`я: Інженерні дисципліни, 4, 2006. - С. 14-23.

Storozhuk M. A., Pavlenko T. M., Dekhta T. M., Frolova T. F. Vtorynni mineralni resursy Naddniprianshchyny u tekhnolohii betoniv ta budivelnykh rozchyniv: Dnipro. - Novyny nauky Prydniprov`ia: Inzhenerni dystsypliny, 4, 2006. - S. 14-23.

**3.** Сторожук М. А., Дехта Т. М., Данильченко О. Ю. Добавка до бетону на основі шламів металопереробних підприємств: Дніпро, - Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, 3, 2005. - С. 58-61.

Storozhuk M. A., Dekhta T. M., Danylchenko O. Yu. Dobavka do betonu na osnovi shlamiv metalopererobnykh pidprijemstv: Dnipro, - Visnyk Prydniprovskei derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury, 3, 2005. - S. 58-61.

**4.** Рунова Р. Ф., Носовський Ю. Л. Технологія модифікованих будівельних розчинів: Підручник; К - КНУБІА, 2007 - 256 с.

Runova R. F., Nosovskyi Yu. L. Tekhnolohiia modyfikovanykh budivelnykh rozchyniv: Pidruchnyk; K - KNUBIA, 2007 - 256 s.

**5.** Ушеров–Маршак О. В., Залуцька І.А. Добавки до бетону. Систематика та оцінка ефективності. Харків. - Будівельні матеріали та вироби, 3, 2005. - С. 15-18.

Usherov–Marshak O. V., Zalutska I.A. Dobavky do betonu. Systematyka ta otsinka efektyvnosti. Kharkiv. - Budivelni materialy ta vyruby, 3, 2005. - S. 15-18.

**6.** Сторожук М. А., Дехта Т. М., Данильченко О. Ю. Ефективна добавка до будівельних розчинів: Дніпро, - Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, 10, 2005 - С. 32-38.

Storozhuk M. A., Dekhta T. M., Danylchenko O. Yu. Efektyvna dobavka do budivelnykh rozchyniv: Dnipro, - Visnyk Prydniprovskei derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury, 10, 2005 - S. 32-38.

**7.** Pshinko O. M., Pavlenko T. M., Dekhta T. M., Hromova O. V., Steinbrech O. V. Improvement of concrete and building mortar technology using secondary mineral resources: Dnipro, - Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2, 2022. – P. 91-96. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-2/091>

**8.** Дехта Т. М., Шпирько М. В., Бондаренко С. В., Василенко С. В. Будівельне матеріалознавство: навчальний посібник: Дніпро. - ДВНЗ «ПДАБА», 2022. - 115 с. ISBN 978-966-323-229-4.

Dekhta T. M., Shpyrko M. V., Bondarenko S. V., Vasylenko S. V. Budivelne materialoznavstvo: navchalnyi posibnyk: Dnipro. - DVNZ «PDABA», 2022. - 115 s. ISBN 978-966-323-229-4.

**9.** Дехта Т. М., Василенко С. В. 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, 2024. – P. 39–44. <https://isu-conference.com/arkhiv/scientific-problems-and-options-for-their-solution/>

Dekhta T. M., Vasylenko S. V. Zabezpechennia tekhnolohii betonu ta budivelnykh rozchyniv vtorynnymy mineralnymy resursamy / IX International scientific and practical conference «Scientific Problems and Options for Their Solution»: Bucharest, Romania, International Scientific Unity, 2024. – R. 39–44. <https://isu-conference.com/arkhiv/scientific-problems-and-options-for-their-solution/>

**10.** Tatyana Dekhta, Pavlo Pshinko, Olena Hromova, Oksana Steinbrech (2023). Experimental Investigation and Theoretical Background of the Optimal Control of the Concrete Mixture Forming. Komunikacie - vedecké listy Žilinskej univerzity v Žiline / Communications - Scientific Letters of the University of Žilina. – Slovakia, 2, D39–D42: DOI: 10.26552/com.C.2023.034. <https://komunikacie.uniza.sk/contents/csl/2023/02.pdf>