

**Євгенія Петрикова<sup>1</sup>, Наталія Амеліна<sup>2</sup>, Алла Майстренко<sup>3</sup>, Оксана Бердник<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів  
Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ, Україна)

E-mail: [petrikovakisi@gmail.com](mailto:petrikovakisi@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6781-0954>

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів  
Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ, Україна)

E-mail: [navd1@ukr.net](mailto:navd1@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3076-8120>

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів  
Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ, Україна)

E-mail: [al-mais@meta.ua](mailto:al-mais@meta.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1152-995X>

<sup>4</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів  
Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ, Україна)

E-mail: [kсениareznik87@gmail.com](mailto:kсениareznik87@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5321-3518>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК НА ОТРИМАННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ

Сьогодні характерною особливістю сучасної будівельної технології є широке застосування хімічних добавок для досягнення необхідних властивостей бетону, зниження витрат матеріальних і енергетичних ресурсів при виробництві цього матеріалу та при використанні його для виробництва конструкцій і виробів.

Встановлено, що перспективним напрямом зниження енергоємності збірного залізобетону є застосування низькотемпературних режимів теплової обробки й врахування теплоти гідратації цементу. Для досягнення поставлених цілей було розглянуто можливість застосування добавок Sika Paveg HC-1, Nitkal S45 і форміату кальцію в технології виробництва залізобетонних шпал.

Розглянуто дослідження добавок на міцнісні характеристики бетонів, що тверднуть при різних температурних режимах. Наведено результати досліджень впливу порядку введення добавок при виготовленні бетонної суміші на міцнісні характеристики бетонів. З врахуванням того, що лабораторні і промислові умови виробництва бетонних сумішей і бетонів мають певні відмінності, розглянуто вплив добавок в лабораторних і промислових умовах.

Грамотне використання цементів в технології виробництва призводить до економії енергоресурсів, тому було визначено комплексний вплив добавок і в'язучих, що містять мінеральні добавки.

**Ключові слова:** хімічні добавки; міцнісні характеристики бетону; технологія виробництва залізобетонних шпал; енергозберігаючі технології; низькотемпературний режим теплової обробки; теплота гідратації цементу.

Рис.: 8. Бібл.: 17.

**Актуальність теми дослідження.** Останнім часом, особливо у зв'язку зі зростанням цін на енергоресурси (нафту і газ), дедалі більшої актуальності для підприємств набуває розвиток енергозберігаючих технологій, які дозволять ефективно використовувати матеріальні ресурси і, відповідно, знизити собівартість продукції та інші операційні витрати, що в свою чергу підвищить прибутковість підприємств. Отже, для сучасного виробництва бетонних і залізобетонних виробів питання максимально можливого зниження енерговитрат виходить на передній план.

Майже на кожному виробництві є реальні резерви економії енергії [1; 2]. Якщо виявити ці резерви й найбільш раціонально організувати технологічні процеси то споживання енергії можна скоротити принаймні в 1,5 раза.

До енергозберігаючих технологій належать:

- застосування високоміцних цементів;
- ведення хімічних добавок;
- зниження температури і тривалості нагрівання;
- нагрівання бетону електричним струмом та у середовищі продуктів згорання природного газу;
- застосування безобігрівних методів тощо.

При цьому економія ресурсів у жодному випадку не повинна погіршувати якості та зменшувати довговічність виробів і конструкцій.

Бетон, що застосовують для виробництва збірних залізобетонних конструкцій і виробів, вимагає налагодженого виробничого процесу й ретельно підбраного складу бетонної суміші з постійною оптимізацією і корегуванням в процесі виробництва.

**Постановка проблеми.** На сьогодні характерною особливістю сучасної будівельної технології є широке застосування різноманітних хімічних добавок для досягнення необхідних властивостей як бетонної суміші, так і бетону, та зниження матеріальних витрат і енергетичних ресурсів при виробництві бетону й при використанні його для виробництва залізобетонних конструкцій і виробів. Перспективним напрямом зниження енергоємності збірного залізобетону є застосування низькотемпературних режимів теплової обробки та врахування теплоти гідратації цементу в процесі прогрівання виробів.

Отже, пошук добавок, які б забезпечили зниження енерговитрат в технології виробництва залізобетонних шпал без зниження показників якості продукції (в тому числі без корозійного впливу на арматурний дріт) з одночасним отриманням високої ранньої міцності є нарізним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відповідно до ДСТУ Б В.2.6-209:2016 [3] передаточна міцність бетону, в віці 1 доби, повинна бути рівною 32 МПа (326 кгс/см<sup>2</sup>). Для отримання необхідної передаточної міцності в заданому віці в технології виробництва шпал здійснюють прискорення тверднення шляхом пропарювання виробів в камерах тверднення. До 2000 років тепло-волога обробка відбувалась за температур ізотермічного витримання 80–90 °С. З 2000-х при помітному зростанні вартості енергоносіїв, що суттєво підвищило собівартість виробництва шпал, підприємства-виробники почали переходити на зниження температури ТВО виробів до майже 50 °С. Це призвело до припинення двозмінної роботи підприємств: при двозмінній роботі підприємства бетон має набрати передаточну міцність (не менше ніж 32 МПа) через 8 годин; при однозмінній – через 24 години.

Аналіз технології бетону [1; 2; 4-9] демонструє, що для отримання високої ранньої міцності бетону, окрім тепло-вологої обробки, можливо використання кількох способів: використання швидкотверднучих в'язучих або рядових цементів, які піддавали додатковому помелу, зокрема мокрому; способами підвищення кінцевої міцності (проектної, міцності бетону у віці 28 діб); використання добавок – прискорювачів тужавлення і тверднення. Використання швидкотверднучих в'язучих в умовах заводів по виробництву залізобетонних шпал непридатне, зважаючи на сувору регламентацію застосовуваного цементу; а помел технологічно забезпечити складно (при цьому є потреба в додаткових дослідженнях впливу помелу в'язучого на тріщиностійкість шпал [4; 7]). Другий спосіб може бути забезпечений: зниженням водоцементного відношення за рахунок зниження витрати води та застосування інтенсивних способів ущільнення, що і так застосовується в технології виробництва шпал або за рахунок збільшення витрати цементу (однак це підвищить собівартість продукції); також зниження водоцементного відношення можливо при зниженні витрати води і введення добавок-суперпластифікаторів; застосуванням мінеральних мікродобавок (наприклад мікрокремнезема [10; 11], метакаоліна [12; 13], кальциту [14]; застосуванням бетону оптимального складу тощо.

Використання високоефективних добавок, що прискорюють тверднення [2; 5; 6; 8] є не тільки способом отримання високої ранньої міцності бетону, а й одним із перспективних напрямів ресурсо- та енергозбереження в технології збірного залізобетону.

Дослідження з прискорення твердіння бетону шпал різними способами, у т. ч. комплексними хімічними добавками, що містили пластифікатори та прискорювачі твердіння [15] з різними компонентами [16] проводились з 1960-х рр. Було виконано дослідження спрямовані на зменшення температури і тривалості ТВО шпал без зниження їх тріщино-

стійкості та на основі проведених робіт здійснено розроблення складу бетону [5; 6]. Підвищення ранньої міцності бетону було отримано призначенням його оптимального складу ( $\alpha_{opt}$ ,  $\mu_{opt}$ ) з одночасним застосуванням добавок суперпластифікатора – сульфонафталфінформальдегіду С-3 і нітрату та хлориду кальцію в якості прискорювачів. Однак нітрат а, в ще більшому ступені хлорид кальцію можуть агресивно впливати на сталеву арматуру, особливо коли вона представлена попередньо-напруженим сталевим дротом діаметром 3 мм. Проведені дослідження [17] встановили що в разі обмеженої кількості нітрату і хлориду кальцію (до 1 % від кількості в'язучого за масою) вони не мають агресивного впливу на сталеву арматуру через хімічне зв'язування у гідронітроалюмінати та гідрохлоралюмінати кальцію. У разі передозування цих добавок відзначається агресивний вплив на сталеву арматуру, що сформувало обмеження для використання прискорювачів – електролітів.

З врахуванням особливостей армування шпал та технології їх виробництва, складних умов їх експлуатації в державних нормативних документах на них – ГОСТах, ДСТУ Б В.2.6-57:2008 застосування хімічних добавок не дозволялось. У розробленому ДСТУ Б В.2.6-209:2016 використання добавок дозволяється, при цьому застосування прискорювачів – електролітів не допущене. Відповідно підвищення ранньої міцності бетону, наприклад, добавками неелектролітами, є досить актуальним завданням. Особливу цікавість викликає можливість отримання безпропарювальних і малообігрівних режимів тверднення шпал (мінімальна тепловолісна обробка або природне тверднення) [5; 6].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** На сьогодні характерною особливістю сучасної будівельної технології є широке застосування різноманітних хімічних добавок для досягнення необхідних властивостей, як бетонної суміші, так і бетону, та зниження матеріальних витрат і енергетичних ресурсів при виробництві бетону й при використанні його для виробництва залізобетонних конструкцій і виробів. Перспективним напрямом зниження енергоємності збірного залізобетону є застосування низькотемпературних режимів теплової обробки та врахування теплоти гідратації цементу в процесі прогрівання виробів.

Таким чином, пошук добавок, які б забезпечили зниження енерговитрат в технології виробництва залізобетонних шпал без зниження показників якості продукції (в тому числі без корозійного впливу на арматурний дріт) з одночасним отриманням високої ранньої міцності, є назрілим завданням.

**Мета статті** – дослідження впливу добавок на можливості отримання низькотемпературних та безпропарювальних режимів тверднення в технології виробництва шпал.

**Виклад основного матеріалу.** Коростенський завод залізобетонних шпал, заснований у 1958 році, спеціалізується на випуску попередньо напружених залізобетонних шпал для залізничної колії 1520 мм типів як С-56-2, ШС-1у, Ш-1-1; брусків для стрілочних переводів типу БС 48 М 1/11; шпал для залізничної суміщеної колії 1520 та 1435 мм. Заводом виробляється не тільки продукція для магістральних залізниць, але й для їх об'їзду. Потужність заводу складає 111,7 тис. м<sup>3</sup> на рік.

На заводі прийнята агрегатно-поточна схема виробництва, при якій основним технологічним обладнанням на технологічній лінії є силова металева 10-ти гніздова форма, яка за допомогою роликів конвеєрів переміщується від одного технологічного посту на інший з різним циклом перебування на них. Основними технологічними операціями виробництва залізобетонних шпал є: очищення та змащування форми; створення та вкладання арматурного пакету, який складається з 44 високо-міцних дротин діаметром 3 мм; попереднє напруження арматурного пакета та установка розподільних діафрагм і пустотоутворювачів; укладання жорсткої бетонної суміші та її віброущільнення; часткове негайне розпалублення виробів шляхом вилучення пустотоутворювачів та розподільних діафрагм;

тверднення, яке передбачає тепло-вологу обробка в ямних пропарювальних камерах; передача попереднього напружування на затверділий бетон; розрізання арматури між шпалами та складування готових виробів.

Сировинні матеріали, які використовують при виробництві продукції:

- високоміцний дрiт діаметром 3 мм;
- пісок кварцовий Мкр. – 2,5-3,25 ПАТ «Ігнатпільський піщаний кар'єр»;
- щебінь – ТДВ «Коростенський щебзавод», фракції 5-20 мм;
- цемент ПЦ ІІ А/Ш-500 ПАТ «Волинь-цемент», м. Здолбунів.

На Коростенському заводі залізобетонних шпал використовують бетон складу: цемент – 440-460 кг/м<sup>3</sup>, пісок – 642-670 кг/м<sup>3</sup>, щебінь – 1188-1222 кг/м<sup>3</sup>, вода – 117-130 л/м<sup>3</sup>. Особливістю бетонної суміші є стабільність свіжовідформованих виробів після часткового негайного розпалублення.

Відповідно до чинного нормативного документа [3] клас бетону за міцністю на стиск (у віці 28 діб) не нижче С32/40(В40), передаточна міцність бетону (у віці 1 доби) повинна бути рівною 32 МПа (326 кгс/см<sup>2</sup>).

З урахуванням отримання якісної продукції, при виробництві якої буде використано низькотемпературний режим теплової обробки й те, що шпали є попередньо напруженими конструкціями, були обрані для подальших досліджень такі добавки:

- Sika Paveg HC-1, що являє собою суміш поверхнево-активних речовин;
- Nitkal S45 – водний розчин нітрату кальцію;
- фарміат кальцію, у вигляді сухої речовини.

У процесі експериментів досліджували міцності характеристики бетону у віці 1 і 28 діб.

Випробування міцності бетону при стисненні проводили в лабораторії Київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА) і Коростенського заводу залізобетонних шпал за допомогою гідравлічного пресу на зразках-кубах із довжиною ребра 100 мм.

Бетонні зразки відповідного складу проходили теплову обробку в камерах ямного типу за температурним режимом, який використовується на Коростенському заводі залізобетонних шпал. На заводі тривалість попереднього витримування виробів становить 1 годину, при цьому умови витримування – при температурно-вологих умовах формувального цеху. Підвищення температури від 20 до 80 °С відбувається протягом 3 годин, ізотермічне витримування триває 4 години.

На першому етапі досліджень визначали вплив введення добавок різних видів і їх дозувань на міцнісні характеристики бетонів, які тверднули в нормальних умовах (20 ± 2) °С та бетонів, які піддавали тепло-вологій обробці за режимом тверднення, що прийнятий на підприємстві (рис. 1-3). Зразки виготовляли з бетонної суміші з жорсткістю Ж3 (25-29 с). Добавки вводили в кількостях, % від маси в'язучого; Nitkal S45 – 0,5; 1; 1,5; фарміат кальцію – 3 і 4; Sika Paveg HC-1 – 0,2; 0,35 і 0,5. Дозування добавок приймали відповідно з рекомендаціями виробників.

Аналіз наведених на рис. 1-3 даних, демонструє, що введення добавок Nitkal S45 і Sika Paveg HC-1 підвищує міцнісні характеристики бетонів, які тверднули в різних умовах. При цьому спостерігається більше підвищення міцнісних характеристик бетонів, які тверднули в природних умовах, в той же час міцність бетонів, які піддавали тепло-вологій обробці, характеризується зменшенням міцнісних показників у порівнянні з контрольним складом, що не містить добавок. Отримані результати дозволили зробити припущення, що введення добавок Nitkal S45 і Sika Paveg HC-1 дозволить отримати бетони з необхідними механічними характеристиками в віці 1 і 28 діб при більш низьких температурах тепло-вологої обробки.

Введення добавки формиату кальцію також дозволяє отримати бетони з необхідною міцністю в контрольні терміни (в віці 1 і 28 діб). Міцнісні характеристики бетонів з добавкою у віці 1 доби становлять 38,64-50,99 МПа, залежно від умов тверднення, тобто більше 32 МПа (необхідна передаточна міцність бетону шпал в віці однієї доби). Однак рівень показників міцності бетонів із добавкою формиату кальцію і контрольного бездобавочного складу дуже близькі. Необхідно відмітити, що введення формиату кальцію до бетонної суміші призводить до різкого збільшення водопотреби й занадто ускладнює процес ущільнення. Враховуючи все вищенаведене, подальше дослідження бетонів із добавкою формиату кальцію було прийнято недоцільним.

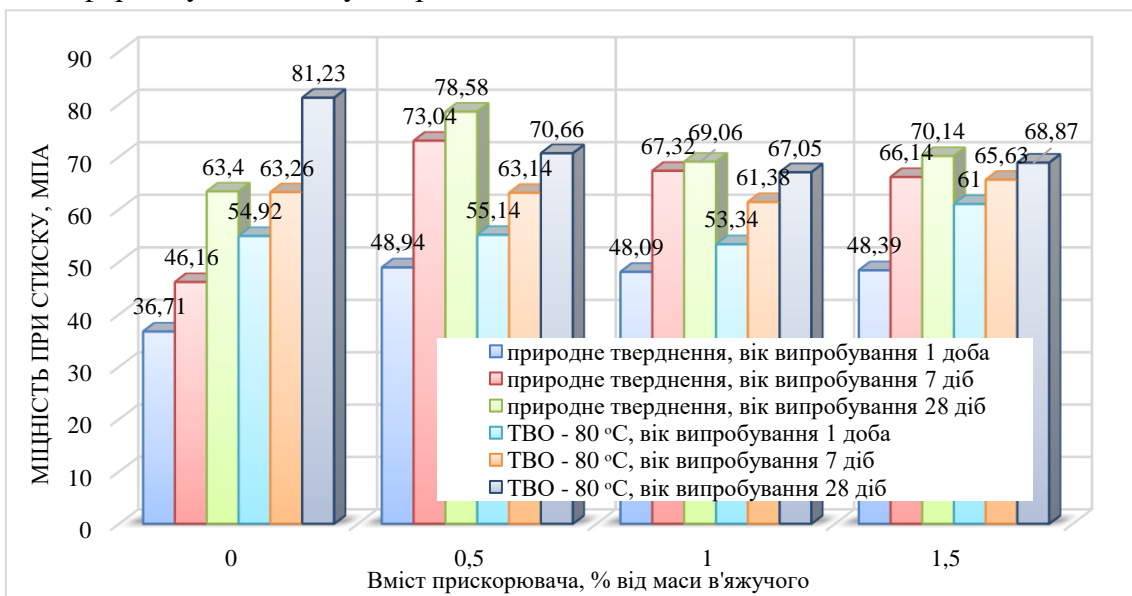


Рис. 1. Вплив добавки Nitkal S45 на механічні характеристики бетонів

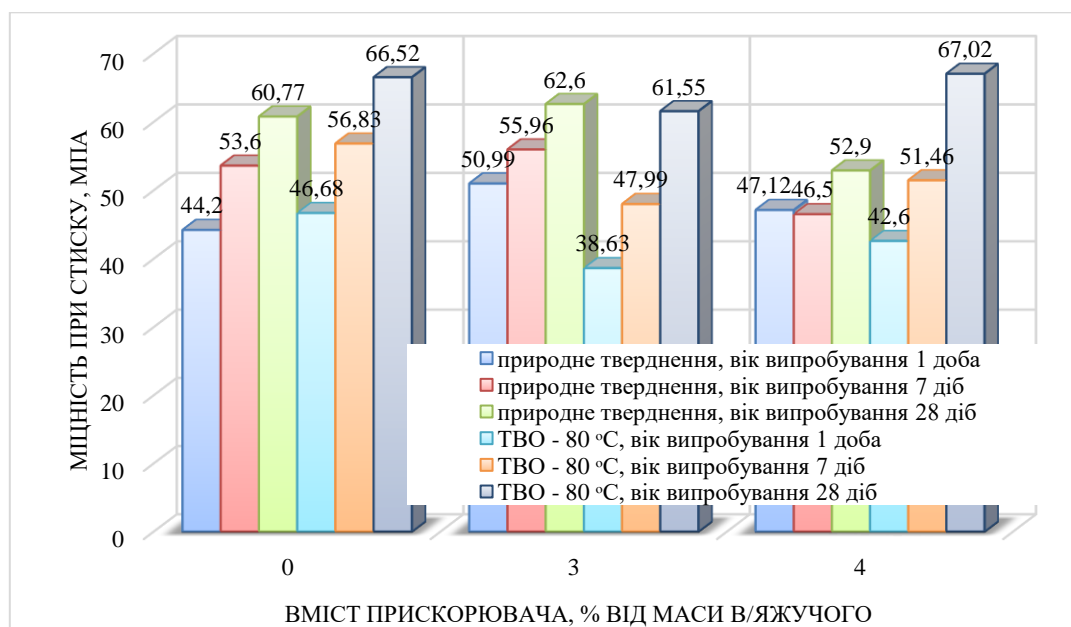


Рис. 2. Вплив формиату кальцію на механічні характеристики бетонів

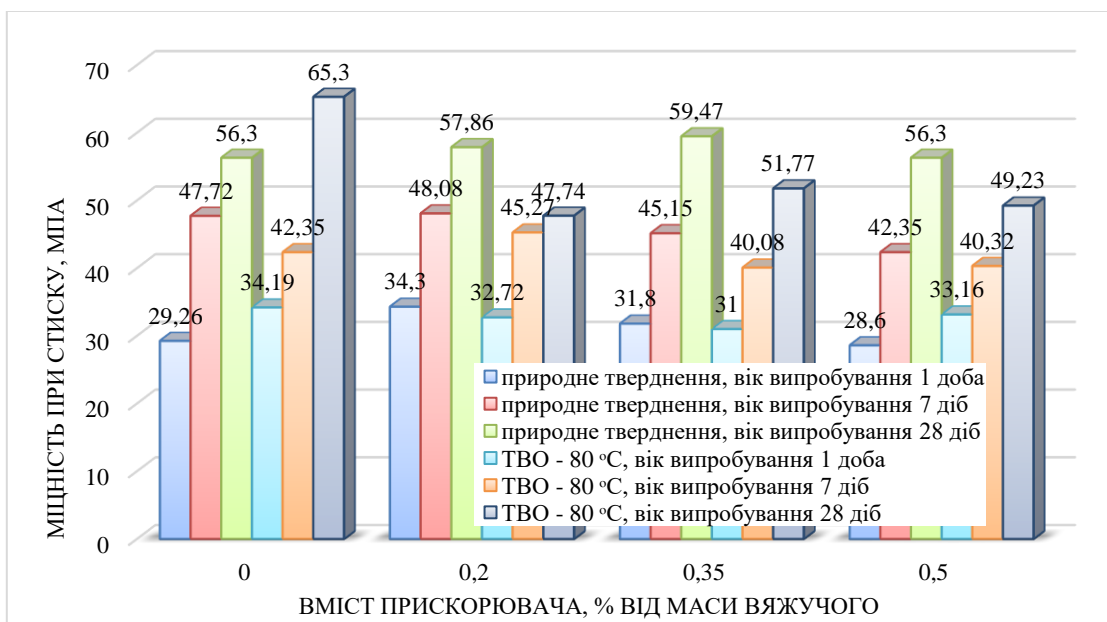


Рис. 3. Вплив добавки Sika Paveg HC-1 на механічні характеристики бетонів

Наступним кроком досліджень було визначення можливості отримання бетонів із добавками Nitkal S45 і Sika Paveg HC-1, які мають необхідні міцнісні характеристики в контрольному віці, і тверднуть при низькотемпературних режимах теплової обробки.

На Коростенського заводу залізобетонних шпал бетонна суміш характеризується жорсткістю Ж-1 (8-11 с). Жорсткість бетонної суміші вимірюють за допомогою приладу Красного безпосередньо на посту формування і умовах лабораторії, з відібраної на посту формування бетонної суміші. З врахуванням необхідного показника жорсткості бетонної суміші, були скореговані відповідним чином рецептури.

Бетонні зразки з добавками Nitkal S45 і Sika Paveg HC-1 та контрольні бездобавочні піддавали тепло-вологій обробці з максимальною температурою ізотермічного витримування – 50 °C. У дослідженнях використовували режим: попереднє витримування виробів –1 година, підвищення температури від 20 до 50 °C протягом 3 годин, ізотермічне витримування – 4 години.

Результати досліджень впливу добавок та їх дозування на міцнісні характеристики бетонів, що тверднули при низько температурних режимах наведено на рис. 4.

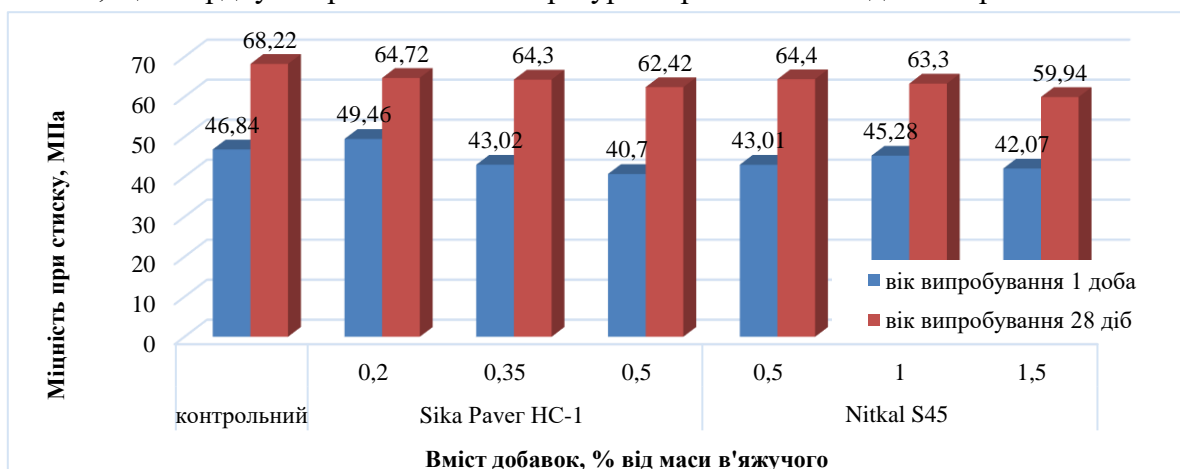


Рис. 4. Вплив добавок і їх дозування на міцнісні характеристики бетону, який тверднув при температурі ізотермічного витримування 50 °C

У результаті дослідження встановлено принципову можливість зниження температури пропарювання до  $50^{\circ}\text{C}$  та оптимальне дозування добавок. Отриманні дані демонструють, що міцнісні показники всіх рецептур близькі й знаходяться в полі допуску, а контрольний склад, який застосовується на підприємстві, показав трохи кращий результат в контрольному віці 28 діб. У віці 1 доби всі зразки продемонстрували міцність при стиску вище 32 МПа.

Встановлено, що зразки бетону, які містять добавку Sika Paver HC-1 в кількості 0,2 % характеризуються найбільшою міцністю в віці 1 доби (49,46 МПа) і 28 діб. Збільшення дозування добавки Sika Paver HC-1 призводить до зниження міцності як у віці 1 доби, так і у віці 28 діб. При цьому зниження в віці 28 діб не досить значне – при введенні 0,5 % добавки становить 2,3 МПа. Результати дослідження впливу дозування добавки Nitkal S45 на міцнісні показники продемонстрували, що доцільним є введення добавки в кількості 0,5 % від маси в'язучого. Подальше збільшення дозування добавки призводить до зниження міцнісних характеристик у віці 28 діб, хоч і дає деякий приріст міцнісних показників у віці 1 доби при збільшенні вмісту добавки до 1 %.

Наступним етапом дослідження було встановлення можливості скорочення тривалості тепло-вологої обробки, яка здійснюється при температурі ізотермічного витримування  $50^{\circ}\text{C}$ . Були заформовані зразки бетону з оптимальною кількістю добавок (Nitkal S45 – 0,5 %, Sika Paver HC-1 – 0,2 % від маси в'язучого) розміром  $100\times 100\times 100$  мм, які помістили в камеру тверднення, і піддавали пропарюванню при температурі  $50^{\circ}\text{C}$ . Терміни випробування становили 2, 4, 6 і 8 годин та 1 і 28 діб. Результати досліджень наведено на рис. 5.

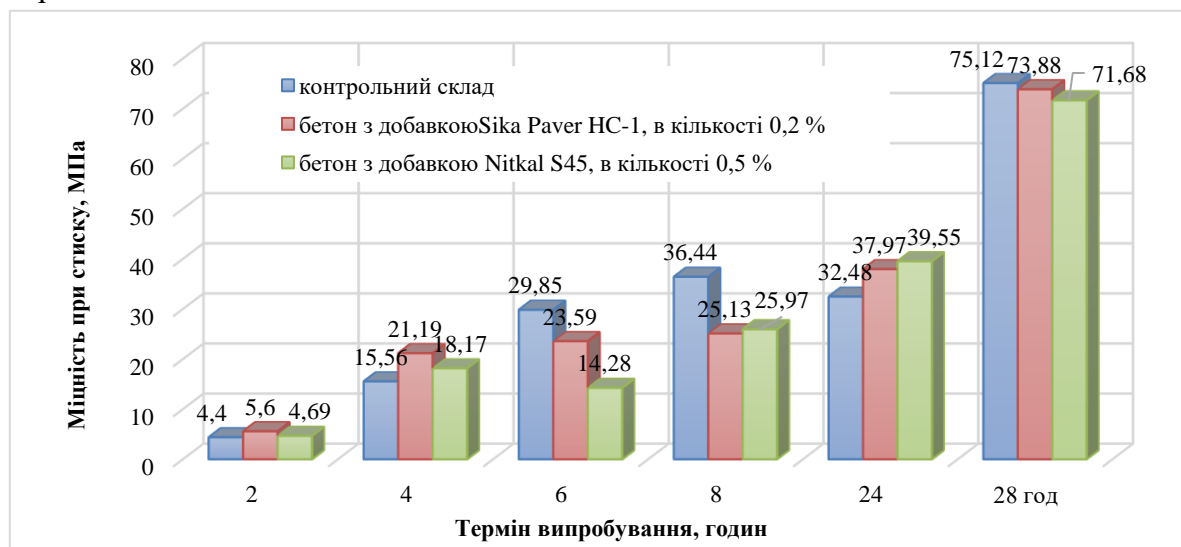


Рис. 5. Вплив тривалості теплової обробки ( $50^{\circ}\text{C}$ ) на механічні властивості бетонів з добавками

Аналіз результати досліджень зразків вказують на недоцільність зменшення тривалість пропарювання. Так зменшення тривалості теплової обробки призводить до отримання бетонів із недостатньою передавальною міцністю на стиск, у віці раніше 1 доби.

Було розглянуто можливість скорочення тривалості тепло-вологої обробки (при температурі ізотермічного витримування  $50^{\circ}\text{C}$ ) при збільшенні дозування добавки Nitkal S45 до 1,0 %. Результати досліджень (рис. 6) вказують на можливість зменшення тривалості тепло-вологої обробки для бетонів з розглянутою рецептурою. Так міцність при стиску бетону з добавкою, що тверднув протягом 8 годин при  $50^{\circ}\text{C}$  становить 41,08 МПа.

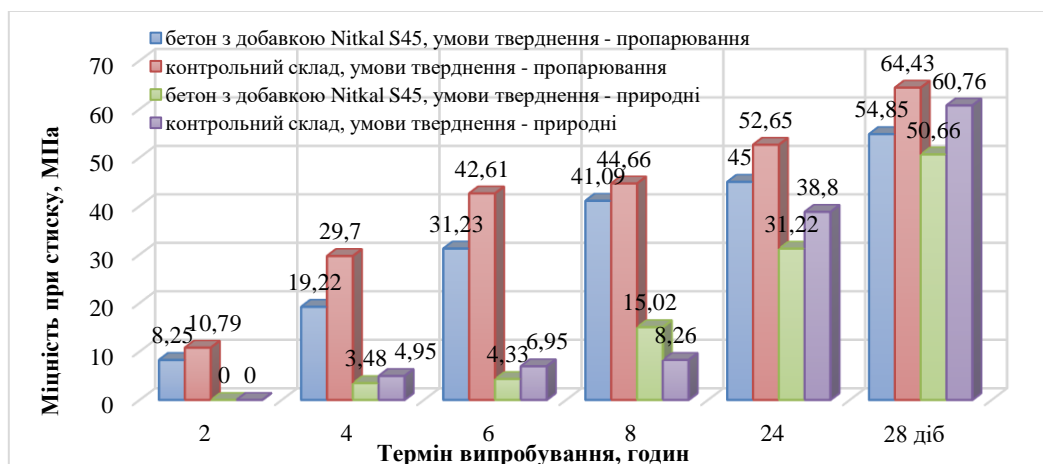


Рис. 6. Вплив тривалості тепло-вологої обробки на механічні властивості бетонів з добавкою Nitkal S45 в кількості 1,0 % від маси цементу

Отримання бетонних сумішей і бетонів в лабораторних умовах і безпосередньо на виробництві має певні відмінності. Тому для встановлення можливості зниження температури пропарювання проводили дослідження безпосередньо в умовах виробництва. Були заформовані зразки-куби зі стороною 10 см із бетонних сумішей, які містили у своєму складі добавки Nitkal S45 і Sika Paver HC-1. Для контрольного складу були заформовані зразки з бетонної суміші, яку використовують для виробництва шпал на Коростенському заводі залізобетонних шпал. Відбір бетонної суміші для контрольних зразків здійснювали безпосередньо з поста формування лінії виробництва шпал.

Частину зразків розміщували в ямній камер, що встановлена на лінії, і вони тверднули при температурі ізотермічного прогрівання – 80 °С разом з залізобетонними шпалами за прийнятим на підприємстві режимом. Другу частину зразків помістили в пропарювальну камеру й піддавала тепло-вологій обробці при температурі ізотермічного прогрівання 50 °С.

Аналіз результатів дослідження міцнісних характеристик бетонів в віці 1 і 28 діб, що тверднули при різних температурах, наведених на рис. 7, ще раз підтверджує можливість зниження температури пропарювання до 50 °С для бетонів, що містять добавки Nitkal S45 і Sika Paver HC-1. Порівняння міцнісних характеристик бетонів, що тверднули в різних умовах вказує на доцільність використання таких добавок виключно при використанні низькотемпературних режимів тверднення.

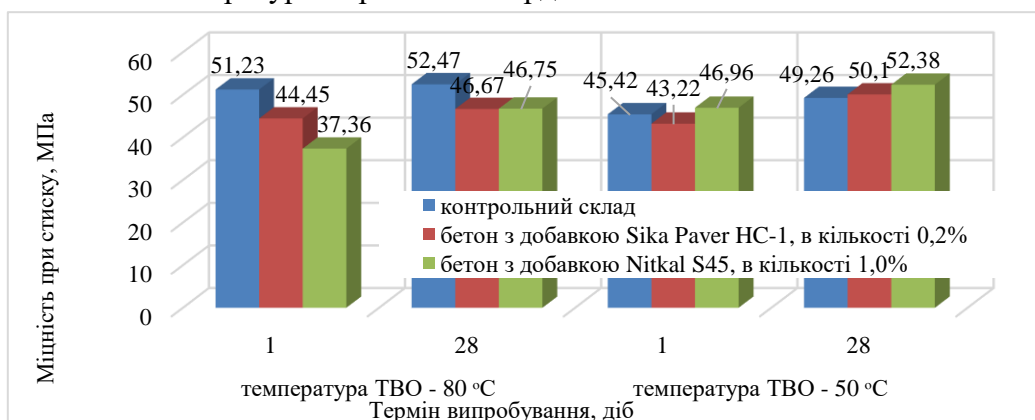


Рис. 7. Вплив температури тепло-вологої обробки на міцнісні характеристики

На властивості бетону впливає багато параметрів, в тому числі і порядок введення компонентів в бетонну суміш. В умовах підприємства було розглянуто вплив порядку



введення добавок на міцнісні характеристики бетонів (рис. 8): добавку вводили разом із водою зачинення та після часткового перемішування компонентів суміші. Аналіз отриманих даних вказує, що більш повний ефект від використання добавок досягається при введенні їх разом із водою.

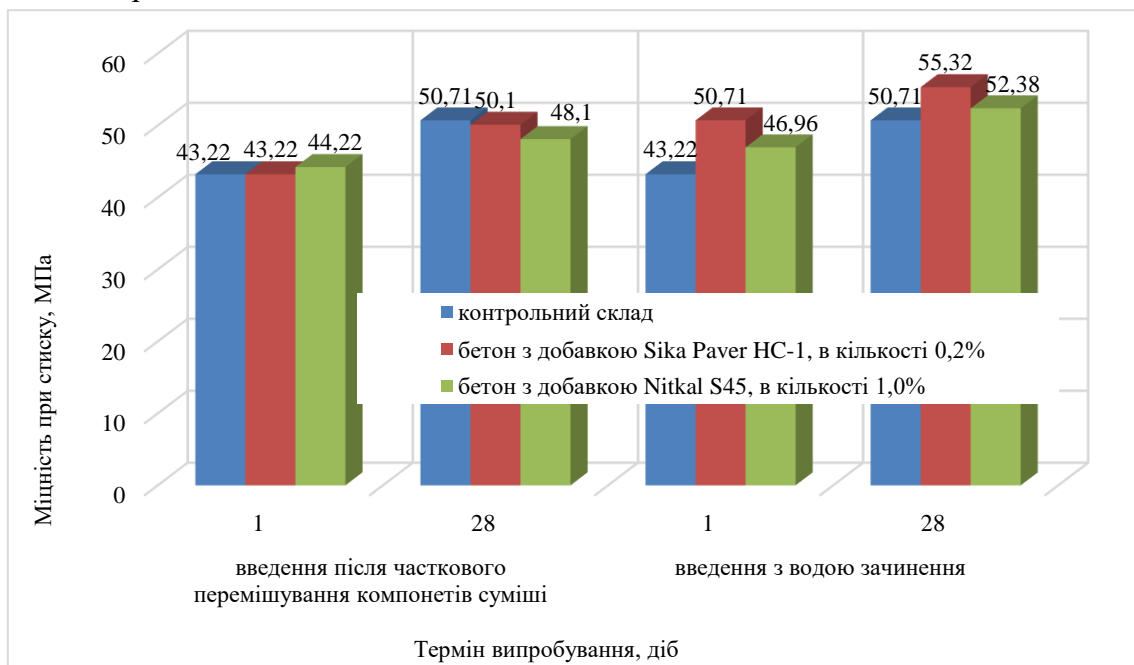


Рис. 8. Дослідження впливу порядку введення добавок на міцнісні характеристики

Враховуючі отримані результати було заформовано одну десятимісну форму контролюючим бездобавочним складом і яка пропарювалась при температурі ізотермічного прогрівання  $50^{\circ}\text{C}$ . Тривалість попереднього витримування становила 1 годину, умови витримування – при температурно-вологісних умовах формувального цеху; підвищення температури від  $20$  до  $50^{\circ}\text{C}$  – протягом 3 годин; ізотермічне витримування – 4 години. Перед тим як передавати напругу на бетон були випробуванні контрольні зразки, які тверднули разом з виробами та перевірена міцність бетону неруйнівними методами контролю. Отримані результати підтвердили можливість зниження температури пропарювання з забезпеченням необхідних міцнісних характеристик. Передбачено тверднення виробів на складі підприємства до досягнення віку 28 діб з подальшим випробуванням міцності, тріщиностійкості і водопоглинання.

**Висновки.** Аналіз отриманих результатів досліджень демонструє, що зниження температури пропарювання до  $50^{\circ}\text{C}$  в цілому дозволяє отримати бетони з необхідними механічними характеристиками. Бетон контрольного складу характеризується міцнісними показниками, що відповідають вимогам чинного нормативного документу, при цьому передаточна міцність забезпечується з досить великим запасом –  $45\text{ МПа}$  ( $450\text{ кгс/см}^2$ ). Найкращі показники продемонстрував бетон з добавкою Sika Paver HC-1, міцність у віці: 1 доби –  $46,96\text{ МПа}$ , 28 діб –  $52,38\text{ МПа}$ . Однак приріст міцності, у порівнянні з контрольним складом досить незначний. Тому при оцінюванні доцільності введення добавки необхідно порівнювати технічний ефект, що досягається, з необхідними додатковими затратами. Ефективність будь яких технічних рішень, в тому числі й введення хімічних добавок в бетон повинна визначатись економічним ефектом і коефіцієнтом ефективності затрат. Останній являє собою відношення економічного ефекту до витрат, необхідних для його отримання.

Необхідно відмітити, що використані добавки не забезпечили в повній мірі необхідний і очікуваний ефект. Це пов'язано, ймовірно, з тим, що модифікатори імпортного виробництва створюються з врахуванням того, що цементи мають фіксовані характеристики. Вітчизняні цементи, на жаль, такою стабільністю не відрізняються і добавка може «повести» себе непередбачувано.

Результати проведених досліджень запропоновані як базова основа для розробки рекомендацій з подальшого розгляду і впровадження енергозберігаючих технологій на підприємстві.

### Список використаних джерел

1. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх упровадження в будівництво / Р. Ф. Рунова, В. І. Гоц, І. І. Назаренко та ін. – Київ, 2008 – 360 с.
2. Рунова, Р. Ф. Склади бетону з хімічними та мінеральними добавками зі зниженими витратами цементу для виробництва залізобетонних шпал / Р. Ф. Рунова, В. В. Троян, Н. О. Сова // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті : обрані праці 5-ї міжнар. наук.-тех. конф. з буд. матеріалів, конструкцій та споруд. – Харків, 2015. – С. 73-77.
3. ДСТУ Б В.2.6-209:2016 Шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 і 1435 мм. Технічні умови – Київ : Мінрегіонбуд України, 2016 – 43 с.
4. Волянський, О. А. Технологія бетонних і залізобетонних конструкцій / О. А. Волянський. – Т. 1: Технологія бетону. – Київ : Вища школа, 1994. – 271 с.
5. Склади бетону з добавками суперпластифікаторами і прискорювачами тверднення та роздільним дозуванням фракцій заповнювачів для виробництва залізобетонних шпал без пропарювання / А. А. Пługін, О. В. Романенко, А. І. Бабій, О. А. Калінін, О. А. Пługін // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті : обрані праці 5-ї міжнар. наук.-тех. конф. з буд. матеріалів, конструкцій та споруд. – Харків, 2015. – С. 62-72.
6. Романенко, О. В. Особливошвидкотверднучий безпропарювальний бетон для виробництва залізобетонних шпал без тепловологої обробки : дис... к. т. н. : 05.23.05 / УкрГАЗТ. – Харків, 2012. – 241 с.
7. Основи теорії тверднення, міцності, руйнування і довговічності портландцементів, бетону і конструкцій з них : монографія в 3-х т. / А. Н. Пługін, А. А. Пługін і ін.; під ред. А. Н. Пługіна. – Київ : Наук. думка. – Т. 1. – 2011. – 331 с.; Т. 2. – 2012. – 224 с.; Т. 3. – 2012. – 288 с.
8. Троян В. В. Модифіковані бетони для залізничних шпал підвищеної довговічності / В. В. Троян, Н. О. Сова, О. О. Стеценко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2016. – Вип. 62. – С. 182-184.
9. Хімічні і мінеральні добавки в бетони / під ред. А. В. Ушерова-Маршака. – Харків : Колорит, 2005. – 280 с.
10. Investigations on Nanosilica Blended Cements / S. Harsh, A. K. Arora, M. M. Ali, M. Vasudeva // Cementing a sustainable future : XIII ICCS International Congress on the Chemistry of Cement (Madrid, 3-8 July 2011). – 059. – 7 p.
11. Tobón, J. I. Evaluation of Compressive Strength and Durability on Portland Cement blended with Nanosilica / J. I. Tobón, O. J. Restrepo // Cementing a sustainable future : XIII ICCS International Congress on the Chemistry of Cement (Madrid, 3-8 July 2011). – 081. – 7 p.
12. Метакаолин в будівельних розчинах і бетонах / Л. Й. Дворкін, Н. В. Лушникова, Р. Ф. Рунова, В. В. Троян. – Київ : КНУБА, 2007. – 216 с.
13. Monitoring the Hydration of Mortar containing Metakaolin using Electrical Impedance Spectroscopy / I. C.Fita, J. M.Cruz, J. Payá et al. // Cementing a sustainable future : XIII ICCS International Congress on the Chemistry of Cement (Madrid, 3-8 July 2011). – 185. – 7 p.
14. Nocuń-Wczelik, W. Effect of finely dispersed limestone additives of different origin on cement hydration kinetics and cement hardening / W. Nocuń-Wczelik, G. Łój // Cementing a sustainable future : XIII ICCS International Congress on the Chemistry of Cement (Madrid, 3-8 July 2011). – 128. – 7 p.
15. Мчедлов-Петросян, О. П. Основы и методы ускорения твердения бетона. Железобетонные шпалы / О. П. Мчедлов-Петросян, А. В. Ушеров-Маршак, Л. К. Колесниченко. – Труды ХИ-ИТа. – 1966. – Вып. 86. – С. 18-30.

16. Гасан, Ю. Г. Комплексные добавки – интенсификаторы твердения бетона. Интенсификация производства сборного железобетона / Ю. Г. Гасан, А. П. Кутах // Межвузовский сборник научных трудов / ХИИТ. – 1986. – С. 28-30.

17. Plugin, A. A. Bonding Calcium Chloride and Calcium Nitrate into Stable Hydration Portland Cement Products: Stability Conditions of Calcium Hydrochloraluminates and Calcium Hydronitroaluminates / A. A. Plugin, R. F. Runova // International Journal of Engineering Research in Africa. – 2018. – № 36 – P. 69-73. DOI: 10.4028/www.scientific.net/JERA.36.69.

### References

1. Runova, R.F., Gots, V.I., Nazarenko, I.I. (2008). *Konstruksiini materialy novogo pokolinnya ta tehnologii ih uprovdzheniya v budivninsvo [Construction materials of a new generation and technologies of their implementation in construction]*.

2. Runova, R.F., Troyan, V.V., Sova, N.O. (2015). Sklady betonu z hivichnimy ta mineralnimy dobavkamy zi znyzhenymy vitratavy cementu dlya vyrobnytva zalizobetonnyh shpal [Concrete compositions with chemical and mineral additives with reduced cement consumption for the production of reinforced concrete sleepers]. *Obrani praci 5 mizhnarodnoi naukovo-tehnichnoi konferencii z budivnyh materialiv, konstrukcii ta sporud "Problemy nadiinosti ta dovgovichnosti inzhenernyh sporud i budivel na zaliznychnomu transporti" – Problems of reliability and durability of engineering structures and of buildings on railway transport: selected works of the 5th international science and technology conf. from the building materials, structures and buildings* (pp. 73-77).

3. Minregionbud Ukrainy [Ministry of Regional Construction of Ukraine]. (2016). DSTU B V.2.6-209:2016. Shpaly zalizobetonni napruzheni dlia zaliznins kolii 1520 i 1435 mm. Tehnichni umovy [Pre-stressed reinforced concrete sleepers for 1520 and 1435 mm gauge railways. Technical conditions].

4. Volansky, O.A. (1994). *Tehnologia betonnyh i zalizobetonnyh konstrukcii. T.I. Tehnologia betonu [Technology of concrete and reinforced concrete structures]*.

5. Plugin, A.A., Romanenko, O.V., Babii, A.I., Kalinin, O.A., Plugin, O.A. (2015). Sklady betonu z dobavkamy superplastifikatoramy I pryskoruvachamy tvrdnennia ta rozdilnym dozuvanniam frakcii zapovnuvachiv dlia vyrobnytva zalizobetonnyh shpal bez preparuvannia [Compositions of concrete with additives of superplasticizers and hardening accelerators and separate dosing of aggregate fractions for the production of reinforced concrete sleepers without steaming]. *Obrani praci 5 mizhnarodnoi naukovo-tehnichnoi konferencii z budivnyh materialiv, konstrukcii I sporud "Problemy nadiinosti ta dovgovichnosti inzhenernyh sporud I budivel na zaliznychnomu transporti" – Problems of reliability and durability of engineering structures and buildings on railway transport: selected papers of the 5th International science and technology conf. from the building materials, structures and buildings* (pp. 62-72).

6. Romanenko, O.V. (2012). *Osobluvozhvidkotverdnichii bezproparuvalni beton dlia virobnytvyf zalizobetonnyh shpal bez teplovologo obrobki [Ultra-quick-hardening non-evaporating concrete for the production of reinforced concrete sleepers without heat-moisture treatment]* [PhD dissertation; UkrGAZT].

7. Plugin, A.N. (Ed.), Plugin, A.A. (2011-2012). *Osnovu teorii tvrdnennia, micnosti, ryinyvannia betony i konstrukcii z nix [Fundamentals of the theory of hardening, strength, destruction and durability of Portland cement, concrete and structures made of them]* (Vol. 1–3). Nayk. dymka.

8. Troyan, V.V., Sova, N.O., Stecenko, O.O. (2016). Modifikovani betony dlya zaliznychnykh shpal pidvichenoj dovgovichnosti [Modified concrete for railway sleepers of increased durability]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademiyi budivnytva ta arhitekturi – Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture*, 62, 182-184.

9. Usharov-Marshak, A.V. (Ed.). *Himichni i minerfni dobaky v betony [Chemical and mineral additives in concrete]*. Kolorit, 2005.

10. Harsh, S., Arora, A.K., Ali, M.M., Vasudeva, M. (3–8 July 2011). Investigations on Nanosilica Blended Cements. *Cementing a sustainable future: XIII ICCI International Congress on the Chemistry of Cement, Madrid*, 059.

11. Tobón, J.I., Restrepo O.J. (3–8 July 2011). Evaluation of Compressive Strength and Durability on Portland Cement blended with Nanosilica. *Cementing a sustainable future: XIII ICCI International Congress on the Chemistry of Cement, Madrid*, 081.

12. Dvorkin, L.I., Lyshnikova, N.V., Runova, R.F., Troyan V.V. (2007). *Metakaolin v bydivelnykh rozchynakh i betonakh [Metakaolin in household materials and concretes]*. KNYBA.

13. Fita, I.C., Cruz, J.M., Payá, J. et al. (3–8 July 2011). Monitoring the Hydration of Mortar containing Metakaolin using Electrical Impedance Spectroscopy. *Cementing a sustainable future: XIII ICCI International Congress on the Chemistry of Cement, Madrid*, 185.

14. Nocuń-Wczelik, W., Łój, G. (3–8 July 2011). Effect of finely dispersed limestone additives of different origin on cement hydration kinetics and cement hardening. *Cementing a sustainable future: XIII ICCI International Congress on the Chemistry of Cement, Madrid*, 128.

15. Mchedlov-Petrosian, O.P., Ushero-v-Marshak, A.V., Kolesnichenko, L.K. (1966). Osnovy i metody iskorenia tverdenia betona. Zalizobetonni shpaly [Fundamentals and methods for accelerating concrete hardening. Reinforced concrete sleepers]. *Trydu HIIT – Proceedings of KHIIT*, 86, 18-30.

16. Gasan, U.G., Kytakh, A.P. (1986). Kompleksnue dobavki – intensifikatoru tverdenia betona [Complex additives - intensifiers of concrete hardening. Intensification of the production of precast reinforced concrete]. *Mezvyz. zb. nauch. tr. HIIT – Interuniversity collection of scientific papers KHIIT* (pp. 28-30).

17. Plugin, A.A., Runova, R.F. (2018). Bonding Calcium Chloride and Calcium Nitrate into Stable Hydration Portland Cement Products: Stability Conditions of Calcium Hydrochloraluminates and Calcium Hydronitroaluminates. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 36, 69-73. DOI:10.4028/www.scientific.net/JERA.36.69.

Отримано 19.10.2023

UDC 624.012.3

***Yevgenia Petrikova<sup>1</sup>, Natalia Amelina<sup>2</sup>, Alla Maistrenko<sup>3</sup>, Oksana Berdnyk<sup>4</sup>***

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Assistant Professor,

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [petrikovakisi@gmail.com](mailto:petrikovakisi@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6781-0954>

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Assistant Professor,

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [navd1@ukr.net](mailto:nավd1@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3076-8120>

<sup>3</sup>PhD in Technical Sciences, Assistant Professor,

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [al-mais@meta.ua](mailto:al-mais@meta.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1152-995X>

<sup>4</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Scientific Research Institute for Binders and Materials  
Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [kseniareznik87@gmail.com](mailto:kseniareznik87@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5321-3518>

## STUDYING THE INFLUENCE OF ADDITIVES ON OBTAINING LOW TEMPERATURE REGIMES IN THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF REINFORCED CONCRETE SLEEPERS

*Today the characteristic feature of modern building technology is the wide use of chemical additives to achieve the required properties of concrete, reducing the material consumption and energy resources in the production of this material and when using it for the production of constructions and products.*

*It was found that perspective direction for reducing energy intensity of the precast reinforced concrete is using of the low temperature regimes of thermal treatment and taking into account the heat of cement hydration. To achieve the set goal the possibility of using additives such as Sika Pavez HC-1, Nitkal S45 and calcium formate in sleeper technology was considered.*

*The influence of additives on the strength characteristics of concretes, which hardened under different temperature conditions, was considered.*

*Results of the researches on the effect of introduction additives in the production of concrete mixture on the strength characteristics of concretes are presented.*

*Taking into account the fact that laboratory and industrial conditions of concrete mixes and concretes have certain differences, the influence of additives is considered in laboratory and industrial conditions.*

*Competent use of cements in production technology leads to energy saving, therefore, the complex effect of additives and binders that contain mineral additives was determined.*

**Keywords:** *chemical additives, strength characteristics of concretes, sleeper technology, energy saving technologies, low temperature heat treatment, heat of cement hydration.*

*Fig.: 8. References: 17.*