



Круць Т. М.



Горпинко О. Ф.



Гев`юк І. М.



Саницький М. А.



Кропивницька Т. П.

**Круць Т. М.**, к.т.н., заступник голови правління,

✉ krutskomerc@ifcem.if.ua ☎ +38 0342 58 35 22

**Горпинко О. Ф.**, начальник управління з якості

✉ headlabor@ifcem.if.ua ☎ +38 067 344 84 22

**Гев`юк І. М.**, начальник лабораторії та ВТК,

✉ labcem@ifcem.if.ua ☎ +38 067 344 84 30

ПрАТ «Івано-Франківськцемент»,

с. Ямниця, 77244, Україна

**Саницький М. А.**, д.т.н., професор,

завідувач кафедри будівельного виробництва,

✉ msanytsky@ukr.net ☎ +38 032 258 25 41

**Кропивницька Т. П.**, к.т.н., доцент,

кафедри будівельного виробництва,

✉ tkropyvnytska@ukr.net ☎ +38 096 574 72 12

Національний університет «Львівська політехніка»,

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна

**T. Kruts**, PhD, Vice Chairman,

✉ krutskomerc@ifcem.if.ua ☎ +38 0342 58 35 22

**O. Horpynko**, head of Quality Management,

✉ headlabor@ifcem.if.ua ☎ +38 067 344 84 22

**I. Geviuk**, head of testing laboratory,

✉ labcem@ifcem.if.ua ☎ +38 067 344 84 30

JSC «Ivano-Frankivsk Cement»,

Yamnytsya, 77422, Ukraine

**M. Sanytsky**, Dr.Sc, professor,

head of department of building production,

✉ msanytsky@ukr.net ☎ +38 032 258 25 41

**T. Kropyvnytska**, assistant professor,

of department of building production,

✉ tkropyvnytska@ukr.net ☎ +38 096 574 72 12

Lviv Polytechnic National University,

12 S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine

## ВИСОКОЯКІСНІ ШВИДКОТВЕРДНУЧІ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТИ ВИРОБНИЦТВА ПрАТ «ІВАНО-ФРАНКІВСЬКЦЕМЕНТ»

**HIGH QUALITY RAPID HARDENING PORTLAND CEMENTS OF PRODUCTION PJSC «IVANO-FRANKIVSKCEMENT»**

**ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЫ ПРОИЗВОДСТВА ПАО «ИВАНО-ФРАНКОВСКЦЕМЕНТ»**

**Анотація.** Наведено дані про властивості інноваційних портландцементів з високою ранньою міцністю виробництва ПрАТ «Івано-Франківськцемент». Показано, що висока якість та швидкість тверднення портландцементів досягаються за рахунок формування дрібнокристалічної мікроструктури клінкеру, оптимізації речовинного та гранулометричного складів цементів, а також високого технічного рівня роботи заводу та строгої системи контролю технологічних параметрів процесу виробництва.

**Ключові слова:** високотехнологічне підприємство, портландцементи з високою ранньою міцністю, цементозаміщуючі матеріали, властивості.

**Аннотація.** Приведены данные о свойствах инновационных портландцементов с высокой ранней прочностью производства ПАО «Ивано-Франковскцемент». Показано, что высокое качество и скорость твердения портландцементов достигается за счет формирования мелкокристаллической микроструктуры клинкера, оптимизации вещественного и гранулометрического составов цементов, а также высокого технического уровня работы завода и строгой системы контроля технологических параметров процессов производства.

**Ключевые слова:** високотехнологічне підприємство, портландцементи з високою ранньою міцністю, цементозаміщуючі матеріали, властивості.

**Annotation.** The data on the properties of innovative Portland cements with high early strength of PJSC «Ivano-Frankivskcement» production is presented. It is shown that high quality and rapid hardening of Portland cements are achieved due to the formation of fine crystalline microstructure of clinker and optimization of main constituents and granulometric composition of cements, as well as a high technical level of the plant and a strict system of control of technological parameters of production processes.

**Keywords:** high-tech enterprise, Portland cements with high early strength, supplementary cementitious materials, properties.

### Постановка проблеми

Найбільшою рушійною силою для розвитку цементної технології вже протягом тривалого часу є вимога зменшити питоме навантаження емісії CO<sub>2</sub>, так як цементна промисловість продукує 5% від загальних світових викидів CO<sub>2</sub>. За останнє десятиліття споживання бетону зросло від 1 до 2 м<sup>3</sup> на одного жителя планети [1, 2]. В Україні цей показник не досягає навіть 1 м<sup>3</sup> бетону на душу населення, що відповідає 300 кг цементу – показник «мінімуму комфорту цивілізації». Так, виробництво цементу на душу населення в Україні є одним з найнижчих у Європі і станом на 2017 рік складало 220 кг, тоді як його середнє споживання в світі втричі більше [3]. Тому зростання випуску цементу в Україні з урахуванням зниження ступеня забруднення навколишнього середовища має важливе народногосподарське значення та дозволяє наблизити населення до європейських стандартів.

Провідне підприємство в цементній галузі – ПрАТ «Івано-Франківськцемент» – у 2017 році завершило введення в дію нової технологічної лінії з випуску портландцементного клінкеру і стало найпотужнішим виробником цементу в Україні.

ПрАТ «Івано-Франківськцемент» використовує енергозберігаючу та високопродуктивну технологію «сухий» спосіб і широко впроваджує досягнення науки і техніки та передовий досвід у виробничі процеси. Використання сучасної технології помелу в замкненому циклі дозволило значно збільшити потужності виробництва та одержувати широкий асортимент цементів шляхом як сумісного, так і роздільного помелу клінкеру і добавок в млинах з сепараторами останнього покоління. Процеси виготовлення цементів перебувають під контролем аналітичної техніки; найсучасніше обладнання лабораторії та контролю технологічного процесу дозволяє системно забезпечувати якість сировинної суміші, клінкеру та безпосередньо самого цементу на високому рівні [4].

У світовому контексті для скорочення матеріальних та енергетичних витрат і обмеження емісії CO<sub>2</sub> виробники цементів прагнуть до зниження клінкер-фактору, що визначає пошук структурно-логічних та екологічних шляхів заміни частини портландцементного клінкеру на мінеральні добавки –

цементозаміщуючі матеріали (ЦЗМ) – з оптимізацією речовинного та гранулометричного складів цементів [5]. Раціональним вирішенням цієї проблеми є технологічно оптимізовані цементи з декількома основними компонентами. Стратегія такого розвитку передбачає, що комбінація основних компонентів різного генезису в більшій мірі забезпечує зниження емісії CO<sub>2</sub> та збереження матеріальних ресурсів, а також оптимізацію властивостей (легковкладальність, стандартна та рання міцність, довговічність, вартість, вплив на навколишнє середовище). Це має дуже важливе значення для кожного конкретного випадку використання. Тому в процесі виробництва цементу необхідно постійно проводити оцінку якості та активності мінеральних добавок, оптимізацію гранулометричного складу цементу з врахуванням механізму гідрататії в'язучих та характеру набору міцності [6].

Ринкова еволюція цементів у Європі свідчить про зростання виробництва композиційних портландцементів II типу, при цьому за останні роки переважаючим є клас цементів за міцністю 42,5. В той же час, для портландцементів з мінеральними добавками надзвичайно актуальним є пошук шляхів підвищення кінетики наростання їх міцності в ранньому віці.

Швидкотверднучі портландцементи (портландцементи з високою ранньою міцністю) отримуються за рахунок як особливого мінералогічного складу, так і високої тонкості розмелювання, що забезпечує підвищення міцності бетону на початковому етапі тверднення та має важливе значення при виготовленні залізобетонних конструкцій, особливо з попередньо-напруженого залізобетону, в т.ч. з мінімальною тепловою обробкою, а також при зведенні конструкцій і споруд з монолітного бетону при застосуванні ковзної опалубки.

### Матеріали і методи досліджень

Для проведення досліджень використано портландцементи ПЦ I-500P-H, ПЦ II/A-Ш-500P-H, ПЦ II/A-П-500P-H, ПЦ II/A-Ш-400P-H, ПЦ II/Б-К-400P-H ПрАТ «Івано-Франківськцемент» на основі портландцементного клінкеру нормованого мінералогічного складу (мас. %: C<sub>3</sub>S – 60,82; C<sub>2</sub>S – 14,62; C<sub>3</sub>A – 6,76; C<sub>4</sub>AF – 12,32; вміст лужних оксидів у перерахунку на Na<sub>2</sub>O<sub>e</sub> – 0,8). Завдяки унікальній сировинній базі для виробництва портландцементного клінкеру ПрАТ «Івано-Франківськцемент», яка містить мергелі (30-40% мергель-натурал), суміш легко спікається, що сприяє утворенню аліту у вигляді переважної кількості дрібних кристалів розміром 15-20 мкм з тонкорозподіленою матрицею клінкерних фаз C<sub>3</sub>A і C<sub>4</sub>AF (рис. 1). Це означає високу активність портландцементного клінкеру (52-54 МПа) та створює можливість одержання композиційних портландцементів з високою ранньою міцністю.

Підвищення активності портландцементів II типу в значній мірі досягається за рахунок оптимізації гранулометричного складу портландцементного клінкеру та цементозаміщуючих матеріалів різного генезису: гранульованого доменного шлаку (ГДШ), природної пуцолани, золи-винесення та карбонатних добавок.

Особливий практичний інтерес в технології цементів представляє використання в якості природної пуцолани цеолітів Сокирницького родовища, які є алюмосилікатами лужних і лужноземельних металів з вмістом 60-70 % клиноптилоліту (Na<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>)O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·10SiO<sub>2</sub>·8H<sub>2</sub>O. Введення в процесі помелу цеоліту дозволяє покращити розмелоздатність в'язучого, сприяє економічним вигодам та довговічності. Для цеолітової породи слід також виділити здатність до гідролізу склоподібної складової, причому висока інтенсивність цього процесу зумовлює зростання рН-середовища за рахунок обмінної здатності цеолітового мінералу – клиноптилоліту, що створює не-

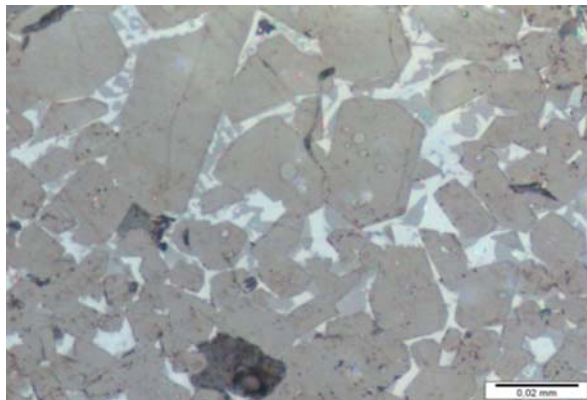


Рис. 1. Мікроструктура портландцементного клінкеру нормованого мінералогічного складу з високою гідравлічною активністю

обхідні умови для лужної активації доменного гранульованого шлаку в складі змішаних в'язучих, тобто є резервом для підвищення гідравлічної активності цементів [7, 8].

Коефіцієнт пуцоланової активності (K<sub>п90</sub>) високодисперсного цеоліту (S<sub>плт</sub>=1320 м<sup>2</sup>/кг) випробуваного згідно з EN 450-1:2009 становить 1,67. Згідно з ASTM C593-06 для цеоліту показник міцності є найвищий і складає 5 МПа (R<sub>сг</sub>≥4,15 МПа), тоді як для золи винесення – 4,6. Границя міцності на стиск розчину на основі цеоліту перевищує нормативне значення в 3 рази і складає 7,6 МПа (R<sub>сг</sub>≥2,5 МПа). Високі показники пуцоланової активності цеоліту (за поглинанням CaO – 300 мг/г та CaSO<sub>4</sub> – 147 мг/г) забезпечують інтенсивне зв'язування кальцію гідроксиду в низькоосновні гідросилікати, гідросульфалюмінати і гідроалюмінати кальцію [9].

Для покращення властивостей бетонних сумішей та бетонів на основі швидкотверднучих портландцементів ПрАТ «Івано-Франківськцемент» використано високодисперсний полікарбонат MasterGlenium ACE 430 (BASF), унікальна молекулярна структура якої сприяє збільшенню поверхні контакту частин цементу з водою.

Дослідження фізико-механічних властивостей портландцементів проведено згідно з діючими національними та європейськими стандартами і загальноприйнятими методиками. Експериментальні дослідження виконано із застосуванням сучасних методів фізико-хімічного аналізу, зокрема лазерної гранулометрії, калориметрії, рентгенівської дифрактометрії, термогравіметрії, оптичної та растрової електронної мікроскопії.

### Результати досліджень

Водопотреба портландцементів в значній мірі визначається типом та кількістю активних мінеральних добавок. Так, водопотреба для ГДШ (S<sub>плт</sub>=3640 см<sup>2</sup>/г) та золи-винесення (S<sub>плт</sub>=3590 см<sup>2</sup>/г) становить відповідно 19 та 27%. В той же час, природний цеоліт (S<sub>плт</sub>=13200 см<sup>2</sup>/г) характеризується підвищеною водопотребою (55%), що зумовлено значною кількістю порожнин, каналів і пористою структурою мінералу. Для вапняку водопотреба складає 24 %. З іншої сторони, ГДШ та зола-винесення мають високе водовідділення (відповідно 45 та 39%). Найнижчим показником водовідділення (K<sub>об</sub>=2%) характеризується природний цеоліт, при цьому суспензія з добавкою цеоліту є найбільш стабільною – через 2 год показник водовідділення не змінюється. Тому дисперсна система з добавкою природного цеоліту є стійкішою до розшарування. Тонкодисперсна фракція вапняку в процесі гідрататії клінкерної складової стабілізує продукти гідрататії трикальцієвого алюмінату з утворенням гексагональних гідрокарбоалюмінатів C<sub>4</sub>A·CO<sub>2</sub>·12H<sub>2</sub>O. Комбінація мінеральних добавок гідравлічної (гранульований доменний шлак) та пуцолан-

## Гранулометричний склад портландцементів ПрАТ «Івано-Франківськцемент»

Цемент	$S_{плт}$ см <sup>2</sup> /г	Ø <10 мкм, %	Ø <20 мкм, %	Ø <60 мкм, %	D[3;2] мкм	D[4;3] мкм	Dv(10) мкм	Dv(50) мкм	Dv(90) мкм
ПЦ І-500	3740	43,41	66,33	99,32	3,99	17,4	2,06	13,6	38,6
ПЦ ІІ/А-Ш-500	3580	35,86	53,83	91,70	3,90	18,3	1,93	14,2	40,8
ПЦ ІІ/А-П-500	3490	38,75	58,76	87,92	4,41	24,7	2,21	15,4	46,0
ПЦ ІІ/А-Ш-400	3310	34,11	52,20	89,80	4,73	28,3	2,34	20,1	66,4
ПЦ ІІ/Б-К-400	3950	39,66	55,48	88,76	4,38	25,9	1,94	17,9	60,9

нічної (цеоліт, зола-виношення) дії, а також карбонатного мікронаповнювача (вапняк) з різною поверхневою енергією сприяє стабілізації композиції до розшарування, що дозволяє керувати процесами раннього структуроутворення та в значній мірі забезпечує необхідні властивості портландцементних систем.

За допомогою лазерного аналізатора частинок MasterSizer 3000 визначено гранулометричний склад портландцементів. Як видно з табл. 1, середній діаметр зерен за об'ємом D[4;3] для ПЦ І-500Р-Н відповідає 17,4 мкм, для портландцементів ПЦ ІІ/А-Ш-500Р-Н, ПЦ ІІ/А-П-500Р-Н, ПЦ ІІ/А-Ш-400Р-Н та ПЦ ІІ/Б-К-400Р-Н цей показник змінюється від 18,6 до 28,3 мкм. В той же час, середній діаметр частинок за площею питомої поверхні D[3;2] для ПЦ І-500Р-Н становить 3,99 мкм, для портландцементів з мінеральними добавками – 4,38...4,73 мкм. Це свідчить, що основний вклад у питому поверхню цементів вносять саме дрібні частинки розміром до 5 мкм. Форма та розмір частинок портландцементу, а також співвідношення основних елементів чистоклінкерного портландцементу ПЦ І-500Р-Н показані на рис. 2.

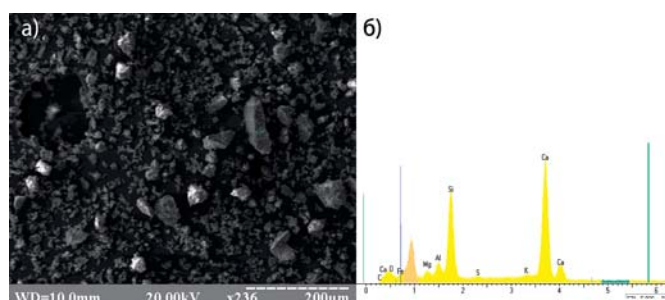


Рис. 2. Мікроструктура (а) та рентгеноспектральний аналіз (б) портландцементу ПЦ І-500Р-Н

Портландцементи виробництва ПрАТ «Івано-Франківськцемент» марки 500 характеризуються високою ранньою міцністю (табл. 2). Так, через 2 доби тверднення нормативний показник перевищується в 1,75 рази та досягається 70% стандартної міцності. Характерно, що вже через 1 добу міцність на стиск складає 25 МПа (50% стандартної міцності) і згідно ДСТУ Б В.2.7-281:2011 за кінетику набору ранньої міцності вказані портландцементи можна класифікувати як надшвидкотверднучі. Через 7 діб тверднення досягається 90...95% від стандартної міцності; через 28 діб активність цементів перевищує марку на 10% і складає 55 МПа, тобто такі портландцементи відносяться до високоміцних.

Для швидкотверднучих портландцементів марки 400 також спостерігається прискорена кінетика набору ранньої міцності (табл. 3). Так, для портландцементу ПЦ ІІ/А-Ш-400Р-Н з добавкою 20 мас.% шлаку вже через 2 доби рання міцність перевищує нормативний показник в 1,94 рази, а через 7 та 28 діб міцність на стиск складає 107 та 122% від стандартної міцності відповідно. Незважаючи на підвищений вміст мінеральних добавок (35 мас. %), для композиційного портландцементу ПЦ ІІ/Б-К-400Р-Н також спостерігається значний приріст міцності в ранній період (через 2 доби – перевищення нормативного показника в 1,49 рази); через 28 діб тверднення активність цементу на 13% вища порівняно з стандартною міцністю. Характерно, що з віком тверднення приріст міцності для композиційного портландцементу більший порівняно з чистоклінкерним портландцементом,

зокрема через 60 діб міцність ПЦ ІІ/Б-К-400 зростає на 18%, тоді як для ПЦ І-500 – тільки на 10%. Через 180 діб тверднення міцності даних портландцементів зрівнюються, а при подальшому твердненні міцність композиційного портландцементу перевищує міцність чистоклінкерного портландцементу.

Як видно з рис. 3, для портландцементу ПЦ ІІ/А-П-500Р-Н (НГТ=32,0%) об'ємний коефіцієнт водовідділення понижується порівняно з чистоклінкерним ПЦ І-500Р-Н. Серед портландцементів з мінеральними добавками (тип ІІ) для композиційного портландцементу ПЦ ІІ/Б-К(Ш-П-В)-400Р-Н (НГТ=29,5%) водовідділення також нижче порівняно з ПЦ ІІ/А-Ш-400Р-Н. Композиційний портландцемент ПЦ ІІ/Б-К(Ш-П-В)-400Р-Н характеризується підвищеною водоутримувальною здатністю (99,2%), при цьому добавки природного цеоліту та вапняку забезпечують однорідність та стабільність розчинних та бетонних сумішей, так як в меншій мірі проявляються процеси седиментації.

Для портландцементу ПЦ І-500Р-Н максимальна температура гідратації ( $T=108,2^{\circ}\text{C}$ ) досягається через 5 год. При гідратації змішаних портландцементів спостерігається сповільнення кінетики тепловиділення. Так, для портландцементу ПЦ ІІ/Б-К-400Р-Н максимум тепловиділення відтягується на 2,5 год порівняно з ПЦ І-500Р-Н, при цьому температура гідратації знижується до  $78^{\circ}\text{C}$ . Методом диференційної калориметрії встановлено, що для портландцементу ПЦ ІІ/Б-К-400Р-Н теплота гідратації через 24 год (185,7 Дж/г) зменшується в 1,8 рази порівняно з ПЦ І-500Р-Н, що дозволяє його віднести згідно з ДСТУ Б EN 197-1:2015 до цементів з низькою теплою гідратації.

Синергетичне поєднання активних мінеральних добавок різних груп: гідралічної (доменний гранульований шлак) і пуцоланічної (цеоліт) дії та тонкодисперсного вапняку як мікронаповнювача – при суттєвому зменшенні вмісту високоенергоємної клінкерної складової в композиційному портландцементі ПЦ ІІ/Б-К-400Р-Н дозволяє покращити рео-

Таблиця 2.

## Середньорічні показники портландцементів марки за міцністю М500 ПрАТ «Івано-Франківськцемент» за 2017 рік

Цемент	Терміни тужавіння, хв		Границя міцності на стиск, у віці, діб, МПа		
	початок	кінець	2	7	28
Вимоги згідно ДСТУ Б В.2.7-46:2010	$\geq 60$	$\leq 600$	$\geq 20$	-	$\geq 50$
ПЦ І-500Р-Н	145	230	34,8	47,2	55,4
ПЦ ІІ/А-Ш-500Р-Н	150	220	34,3	44,9	54,2
ПЦ ІІ/А-П-500Р-Н	140	230	34,7	46,9	56,6

Таблиця 3.

## Середньорічні показники портландцементів марки за міцністю М400 ПрАТ «Івано-Франківськцемент» за 2017 рік

Цемент	Терміни тужавіння, хв		Границя міцності на стиск, у віці, діб, МПа		
	початок	кінець	2	7	28
Вимоги згідно ДСТУ Б В.2.7-46:2010	$\geq 60$	$\leq 600$	$\geq 15$	-	$\geq 40$
ПЦ ІІ/А-Ш-400Р-Н	170	270	29,1	42,8	49,0
ПЦ ІІ/Б-К-400Р-Н	180	260	22,4	35,5	45,2



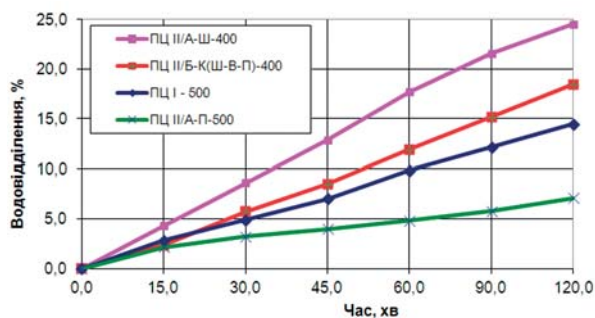


Рис. 3. Водовідділення портландцементів ПрАТ «Івано-Франківськцемент»

логічні характеристики і забезпечує прискорення кінетики набору міцності в'язучого за рахунок раціонального проектування щільної цементуючої матриці. Поєднання ГДШ та цеоліту в складі композиційних цементів забезпечує їх підвищену корозійну стійкість в умовах агресивного сульфатного середовища (коефіцієнт сульфатостійкості Кс через 30; 45 і 60 діб складає відповідно 1,25; 1,17 і 1,10). Понижений клінкер-фактор у композиційному портландцементі ПЦ ІІ/Б-К-400Р-Н сприяє зниженню емісії CO<sub>2</sub> у процесі його виробництва в 1,46 разів на 1 т цементу (екологічний ефект) [10, 11].

Високоміцні швидкотверднучі портландцементи виробництва ПрАТ «Івано-Франківськцемент» марки 500 дозволяють отримати попередньо напружені бетони високих класів за міцністю на стиск, що має важливе значення для збірних залізобетонів. З портландцементів цієї марки також виготовляють пінобетон, газобетон та сухі будівельні суміші. Для бетонних покриттів доріг та аеродромів ставляться особливі вимоги (міцність на вигин, морозостійкість, опір стиранню та ін.) [12], які гарантує швидкотверднучий портландцемент ПЦ ІІ/А-Ш-500Р-Н, при цьому суттєво скорочуються терміни введення доріг в експлуатацію.

При використанні цеолітвмісних портландцементів з високою ранньою міцністю в комплексі з полікарбоксилатними суперпластифікаторами нової генерації створюється можливість одержання швидкотверднучих високофункціональних бетонів. Так, оптимальна кількість суперпластифікатора MasterGlenium ACE 430 забезпечує одержання висорухливих однорідних бетонних сумішей (клас розливу SF3) та високоміцних (клас за міцністю С 50/60 і вище) самоущільнювальних бетонів на їх основі [13]. Цеолітвмісні портландцементи ПЦ ІІ/А-П-500Р-Н та ПЦ ІІ/Б-К(Ш-В-П)-400Р-Н в комплексі з полікарбоксилатними суперпластифікаторами нової генерації гарантують високу якість бетонів поліфункціонального призначення, зокрема виготовлення бетонів класів С 8/10...С 35/45 для несучих конструкцій усіх видів будівництва, товарного бетону при зведенні монолітних конструкцій у літній період, ніздрюватих бетонів та дрібноштучних (ФЕМ) виробів.

## Висновки

**1.** Висока якість інноваційних швидкотверднучих портландцементів загальнобудівельного призначення ПрАТ «Івано-Франківськцемент» забезпечується за рахунок оптимального фазового складу та дрібнокристалічної мікроструктури клінкеру, синергетичного поєднання цементозаміщуючих матеріалів різних груп: гідралічної дії (гранульований доменний шлак), природної пуцолани (цеоліт), тонкодисперсного вапняку як мікронаповнювача, а також оптимізації гранулометричного складу основних складників і впровадження строгої системи контролю технологічних параметрів процесів виробництва.

**2.** Швидкотверднучі високоміцні портландцементи з нормованим мінералогічним складом доцільно використовувати для виготовлення високоміцних бетонів, збірних та монолітних залізобетонних конструкцій, в дорожньому будівництві, а також для будівельних конструкцій з особливими вимогами (аеродромні покриття, опори ліній електропередач, мости, напірні бетонні труби, шпали та ін.); завдяки підвищеному тепловіділенню створюється можливість їх застосування при бетонуванні в умовах понижених температур.

**3.** Модифікування бетонів на основі цеолітвмісних портландцементів з високою ранньою міцністю високоєфективними суперпластифікаторами полікарбоксилатного типу забезпечує раціональне проектування щільної цементуючої матриці та підвищення довговічності, особливо при експлуатації в умовах агресивного сульфатного середовища.

## Література:

1. Sroda B. Potencjal przemyslu cementowego w redukcji emisji CO<sub>2</sub> / B. Sroda // Budownictwo, technologie, architektura. – 2017. – № 3/79. – P. 72-74.
2. Schnejder M. Technology developments in the cement industry / M. Schnejder // Cement International. – 2015. – № 1. – P. 2-12.
3. Круць Т.М. Принципи стратегії сталого розвитку в цементній промисловості / Т.М. Круць, І.М. Гев'юк, М.А. Саницький, Т.П. Кропивницька // Будівельні матеріали та вироб. – 2015. – № 3-4. – С. 16-19.
4. Гев'юк І.Н. Модернизация производства и лаборатории на ПАО «Ивано-Франковскцемент» / И.Н. Гев'юк // Цемент и его применение. – 2012. – №1. – С. 142-145.
5. B. Lothenbach, K. Scrivener, R.D. Hooton: Supplementary cementitious materials. Cem. Concr. Res. Vol. 41, 3 (2011), p. 217-229.
6. Sanytsky M. Sustainable Green Engineered Composites Containing Ultrafine Supplementary Cementitious Materials / M. Sanytsky, T. Kruts, T. Kropyvnytska, B. Rusyn // 14th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC 2015), Beijing, China. – 2015. – 1. – P. 265.
7. Смешанные цементы на основе природных цеолитов / А.А. Пащенко, Ю.И. Тарасевич, А.Г. Лысюк, А.И. Пинчук. – Цемент. – 1988. – № 3. – С. 12-13.
8. Janotka I., Krajci L., Dzivak M. Properties and utilization of zeolite-blended Portland cements. Clay and Clay Minerals. Vol. 51. 6 (2003), p. 616-624.
9. Саницький М.А. Модифіковані композиційні цементі: навч. посіб. / М.А. Саницький, Х.С. Соболь, Т.Є. Марків; Нац. ун-т «Львів. політехніка» – Ль.: Вид-во Львів. політехніки, 2010. – 132 с.
10. Design of rapid hardening quaternary zeolite-containing Portland-composite cements / M. Sanytsky, T. Kropyvnytska, T. Kruts, O. Horpynko, I. Geviuk // Key Engineering Materials. – 2018. – Vol. 761, P. 193-196.
11. Гев'юк І.М. Композиційні портландцементи з добавками природного цеоліту та вапняку / І.М. Гев'юк, Т.П. Кропивницька, М.А. Саницький // Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2015. – Вип. 31. – С. 149-156.
12. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини: підручник / В.І. Гоц, В. В. Павлюк, П. С. Шилук – К.: Основа, 2016. – 568 с.
13. Бетони поліфункціонального призначення на основі композиційних цеолітвмісних портландцементів / М.А. Саницький, Т.П. Кропивницька, І.М. Гев'юк, М.В. Котів // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». «Теорія і практика будівництва». – 2016. – № 844. – С.188-193.