

Вінницький національний технічний університет

Гарнага Вікторія Леонідівна

УДК 666.972.16

**ТЕРМОСИЛОВА ТЕХНОЛОГІЯ ДРІБНОРОЗМІРНИХ БЕТОННИХ ВИРОБІВ З
ВИКОРИСТАННЯМ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК**

Спеціальність 05.23.05 – Будівельні матеріали та вироби

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2011

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Вінницькому національному технічному університеті
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Дудар Ігор Никифорович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри містобудування та архітектури.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Дворкін Олег Леонідович,
Національний університет водного господарства та
природокористування, м. Рівне, професор кафедри технології
будівельних виробів і матеріалознавства;

кандидат технічних наук, доцент
Бабій Ігор Миколайович,
Одеська державна академія будівництва та архітектури,
доцент кафедри технології будівельного виробництва.

Захист відбудеться « 02 » грудня 2011 р. об 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.04 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий « 28 » жовтня 2011 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.В. Швець

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. За об'ємами виробництва, рівнем технічних і економічних показників бетон і залізобетон займають провідне місце в загальній структурі світового виробництва будівельної продукції.

В останні роки в усіх індустріально розвинених країнах поширюється застосування бетону з підвищеними фізико-механічними показниками. Середня міцність бетонів, що застосовуються в Україні, майже вдвічі нижче, ніж в США і на 30-50 % нижче, ніж в Європейських країнах.

Розвиток ринкової економіки починає змінювати тенденцію, що склалася, і в теперішній час в Україні більша частка ринку будівельних матеріалів, особливо дрібнорозмірних виробів, належить малому бізнесу, тому нові технології не повинні вимагати великих капіталовкладень.

Останнім часом відбудеться поступова заміна звичайних традиційних бетонів багатокомпонентними. В таких бетонах використовуються як індивідуальні хімічні модифікатори, що поліпшують укладання бетонної суміші і сприяють підвищенню їх фізико-механічних показників, так і комплексні добавки, що включають в себе кілька індивідуальних хімічних добавок різного функціонального призначення.

В умовах світової економічної кризи існує гостра проблема економії ресурсів. Та при всіх економічних негараздах не слід забувати про якість будівельних виробів, тому системний підхід та комплексне вирішення розробки і впровадження будівельних матеріалів з покращеними фізико-механічними властивостями є досить актуальним.

Застосування термосилового способу виробництва бетонних виробів дозволить не лише зменшити витрату матеріалів, але й підвищити показники міцності, морозостійкості та інших фізико-механічних властивостей бетону. Аналіз та узагальнення проведених досліджень іншими авторами сучасних технологій виготовлення бетонних виробів у вітчизняній будівельній галузі дали змогу визначити мету роботи і задачі дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана згідно з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, визначеними в Законі України від 11 липня 2001 року №2623-III «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» (напрямок №6: «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі»).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вдосконалення технології виготовлення бетонних виробів з підвищеними показниками міцності та іншими фізико-механічними властивостями за допомогою комплексного впливу тиску, температури та хімічних добавок.

У рамках вибраного напряму сформульовано такі задачі досліджень:

- провести аналіз існуючих технологій отримання бетонних виробів.
- визначити оптимальні технологічні параметри отримання міцності бетону для дрібнорозмірних бетонних виробів.

- дослідити залежності основних фізико-механічних властивостей бетону від виду та кількості хімічної добавки, величини тиску та температури.

- дослідити структуру отриманого бетону за допомогою рентгеноструктурного аналізу та електронного мікроскопу.

- розробити нову технологію виготовлення бетонних виробів із застосуванням термосилового впливу та хімічних добавок.

- визначити економічну ефективність від впровадження нового термосилового способу виробництва бетонних виробів.

Об'єкт дослідження – модифікований бетон, що виготовлений за допомогою термосилової технології.

Предметом дослідження є термосилова технологія дрібнорозмірних бетонних виробів з використанням хімічних добавок.

Методи досліджень. При вивченні фізико-механічних характеристик бетону, виготовленого під дією термосилового впливу та хімічних добавок (пластифікаторів), використані математичні методи планування експерименту.

Визначення фізико-механічних властивостей (пористість, міцність на стиск, морозостійкість, водопоглинання та стираність) бетонів різних складів проведено за традиційними методиками згідно діючих стандартів. Бетонні зразки виготовлялися на термосиловій установці. Структуру бетону досліджували за допомогою електронного мікроскопу, рентгенограми отримували за допомогою модернізованого рентгенівського дифрактометра ДРОН-3. Для розшифровки результатів рентгенофазового аналізу використані літературні дані.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

– теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість отримання бетонних виробів з покращеними фізико-механічними властивостями при комплексному впливі тиску, температури та хімічних добавок на бетонну суміш в період початкового тверднення.

– виявлена залежність міцності бетону від виду хімічної добавки, її кількості, величини тиску і температури та оптимізовано процес набору міцності бетону в умовах хіміко-термосилового впливу. Отримані квадратичні рівняння регресії та поля властивостей набору міцності бетоном.

– дістав подальшого розвитку аналітичний вираз міцності бетону відповідно до параметрів хіміко-термосилового впливу, який включає в себе приріст міцності від введення хімічних добавок, тиску, температури та умов подальшого тверднення, що відрізняється від відомих наявністю складової приросту міцності від дії хімічної добавки.

Практичне значення одержаних результатів:

– розроблено новий спосіб виготовлення дрібнорозмірних бетонних виробів на який отримано патент на корисну модель №43678 «Спосіб виготовлення бетонних виробів», Бюл. №16 від 25.08.2009. Даний спосіб дає можливість виготовляти бетон з підвищеними фізико-механічними показниками.

– розроблена технологічна схема виготовлення бетонних виробів з використанням термосилового впливу та хімічних добавок.

3

– запропоновані режими термосилового впливу на бетон у спеціальних формах, які забезпечують виготовлення бетонних виробів з підвищеними фізико-механічними властивостями. Порівняно з бетоном, виготовленим в нормальних умовах, міцність на стиск збільшується в 1.5 рази; морозостійкість до 85%, стираність на 25% зменшується.

Особистий внесок здобувача полягає: у виявленні, поєднанні та оптимізації таких впливів на бетон, як вплив від введення хімічної добавки, вплив від прикладання тиску та температури; розробці технологічної схеми виготовлення бетонних виробів при термосиловому способі виробництва; виконанні експериментальних досліджень, обробці та обґрунтуванні отриманих даних і впровадженні результатів досліджень у виробництво, а саме:

- розроблено методи дослідження структуроутворення бетону в умовах термосилових впливів [1];

- вдосконалено термосилову технологію дрібнорозмірних бетонних виробів за допомогою введення до бетонної суміші хімічних добавок [2];

- отримано математичну модель оптимізації міцності бетону, виготовленого під комплексною дією термосилового впливу та хімічних добавок [3].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи було апробовано на 7 науково-технічних конференціях: Всеукраїнська науково-технічна

конференція «Інноваційні технології в будівництві» (Вінниця, листопад 2008 р.); IV Міжнародна науково-практична конференція «Perspektywiczne opracowania nauki i techniki – 2008» (Польща, м. Пшемисль, листопад 2008 р.); V Міжнародна науково-практична конференція «Динамика научных исследований – 2009» (Дніпропетровськ, липень 2009 р.); Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві» (Вінниця, листопад 2010 р.); 37-39-та науково-технічні конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників підприємств м. Вінниці та області (м. Вінниця, 2008-2010).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 16 друкованих праць, у тому числі 8 – в фахових збірниках наукових праць, що входять до переліку періодичних фахових видань, затверджених ВАК України, 5 – у матеріалах доповідей семінарів та конференцій, 2 – у закордонних виданнях (Польща), отримано один патент на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, додатку та списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 149 сторінок та містить 49 рисунків, 45 таблиць, список використаних джерел складається з 131 найменуванням на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, зазначено зв'язок із науково-дослідними програмами, темами, сформульовано мету та завдання дослідження. Окреслено наукову новизну та практичну цінність отриманих

4

результатів, конкретну участь автора, наведено інформацію про впровадження результатів роботи, їх апробацію, публікації та структуру дисертації.

У **першому розділі** поданий аналіз раніше розроблених технологій виготовлення дрібнорозмірних бетонних виробів. Відзначено суттєвий внесок у вивчення властивостей бетонів з хімічними добавками Ратінова В.Б., Розенберга Т.І., Малініної Л.А., Ізотова В.С., Дворкіна Л.Й., Нетеси М.І., Баженова Ю.М., а також у дослідження впливу тиску на бетонну суміш Ахвердова Й.М., Дударя І.Н., Бабича Є.М., Мchedлова-Петросяна О.П., Саталкіна О.В., Чистякова В.В., Ціонського О.Л. та ін.

В сучасних технологіях дрібнорозмірних бетонних виробів хімічні добавки є такими ж обов'язковими компонентами бетонної суміші як в'язуче, заповнювач та вода. Серед різних видів хімічних добавок, починаючи з пластифікаторів та закінчуючи гідрофобізуючими, найбільш ефективними при термосиловому впливі є пластифікатори та суперпластифікатори. Температура дозволяє прискорити процеси гідратації в бетонній суміші на ранніх стадіях тверднення, збільшує швидкість структуроутворення та забезпечує задані властивості бетону, але погіршує структуру. Цей недолік можна усунути за допомогою застосування тиску привантаження, який прискорює процеси гідратації мінеральних в'язучих за рахунок зближення часток в стиснених умовах.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що дослідження одночасного комплексного впливу таких факторів як температура, тиск та хімічні добавки на бетонну суміш проводилося в обмеженій кількості.

Сформульовано робочу гіпотезу, яка полягає в можливості отримання бетону з підвищеними фізико-механічними показниками шляхом введення в бетонну суміш хімічних добавок (пластифікаторів) та прикладання термосилового впливу.

У **другому розділі** наведені дані про матеріали, обладнання та методики, використані автором при проведенні експериментальних досліджень.

Розроблена блок-схема досліджень, яка складається з п'яти етапів.

Здійснено підбір складу бетонної суміші з різними пластифікаторами. Підібраний орієнтовний склад перевірявся в лабораторних умовах, при цьому зверталася увага не лише

на пластичність суміші, міцність але і на здатність суміші деформуватися під навантаженням і на міцність бетону, одержану в результаті тверднення під комплексним впливом тиску, температури та хімічних добавок.

В роботі використовувалися наступні матеріали:

– цементи Балакліївського, Кам'янець-Подільського та Здолбунівського заводів, виготовлених згідно з ДСТУ Б В.2.7-46-96, ДСТУ Б В.2.7-43-96 та ГОСТ 26633-91.

– як дрібний заповнювач застосовували дніпровський річковий пісок $M_{кр}=1.38$ та Джуровський $M_{кр}=1.5$, що задовольняють ДСТУ Б В.2.7-32-95.

– крупний заповнювач Стрижавського та Гніванського кар'єрів фракції 5-10 мм.

5

– хімічні добавки: суперпластифікатор С-3 (Росія), модифікатор УПБ-М(НФ) (Росія), пластифікатор «Пороліт-ЛП» (Україна), пластифікатори Procon Special та Procon Plus (BV) (Данія) (при виборі хімічних добавок враховувався ціновий фактор).

Визначення міцності бетону виконувалося згідно ГОСТ 10180-90 «Бетонны. Методы определения прочности по контрольным образцам» на зразках розміром 100×100×100 мм. Стиранність бетону визначалася згідно ГОСТ 13087-81 «Бетоны. Методы определения истираемости». Випробування бетонних зразків на водопоглинання здійснювалося відповідно до ГОСТ 12730.3-78 «Бетоны. Методы определения водопоглощения». Дослідження морозостійкості проводилося відповідно до діючого ДСТУ Б В.2.7-49-96 «Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні».

В третьому розділі відповідно науковій гіпотезі містяться теоретичні та експериментальні дослідження вдосконалення технології виробництва дрібнорозмірних бетонних виробів на базі існуючої технології. Проводилися дослідження з вибору оптимального складу бетонної суміші та оптимальних параметрів термосилового впливу. В табл. 1 наведено підбір складу бетонної суміші.

Таблиця 1

Підбір складу бетонної суміші

№ п/п	Витрата хімічної добавки, % від маси цементу	Витрата матеріалу на 1 м ³ бетону				В/Ц	Зменшення витрати цементу, %
		Цемент, кг	Пісок, кг	Щебінь, кг	Вода, кг(л)		
С-3							
1	-	566	706	1316	170	0,25	-
2	0,5	467	751	1400	140	0,25	18
3	0,8	447,1	760,1	1416,5	134,3	0,25	21
4	1,0	424,5	770,4	1435,6	127,5	0,25	25
Пороліт-ЛП							
1	-	566	706	1316	170	0,25	-
2	0,2	520,7	726,6	1354,3	156,4	0,25	8
3	0,5	498,1	736,9	1373,4	149,6	0,25	12
4	0,7	475,4	747,2	1392,5	142,8	0,25	16
Procon Special							
1	-	537,7	718,9	1339,9	161,5	0,25	-
2	0,02	526,4	724,0	1349,5	158,1	0,25	5
3	0,26	515,1	729,2	1359,1	154,7	0,25	7
4	0,5	537,7	718,9	1339,9	161,5	0,25	9
Procon Plus							
1	-	537,7	718,9	1339,9	161,5	0,25	-
2	0,1	549,0	713,7	1330,4	164,9	0,25	3
3	0,55	532,0	721,5	1344,7	159,8	0,25	6
4	1	509,4	731,8	1363,8	153,0	0,25	10

УПБ-М(НФ)							
1	-	566	706	1316	170	0,25	-
2	0,02	543,4	716,3	1335,1	163,2	0,25	4
3	0,035	532,0	721,5	1344,7	159,8	0,25	6
4	0,05	520,7	726,6	1354,3	156,4	0,25	8

6

На підставі аналізу та узагальнення літературних даних, а також проведених досліджень встановлено, що міцність бетону, виготовленого при термосиловому впливі з використанням хімічних добавок, можна описати виразом:

$$R_{np} = R_{cmp} + R^m + R^t + R^{m\epsilon} + R^x \quad (1)$$

де R_{cmp} – приріст міцності на початковому етапі структуроутворення;

R^m – приріст міцності від впливу тиску;

R^t – приріст міцності від впливу температури;

$R^{m\epsilon}$ – приріст міцності після розпалублення виробу;

R^x – приріст міцності від впливу хімічних добавок, який можна представити у вигляді:

$$R^x = A_{xg} k_x \lg \frac{\tau_n^x}{\tau_n^\epsilon}, \quad (2)$$

де A_{xg} – інтенсивність приросту міцності бетону при комплексному впливі хімічних добавок;

k_x – коефіцієнт, що враховує вплив хімічних добавок;

τ_n^x – час дії хімічної добавки;

τ_n^ϵ – час витримки під тиском.

За допомогою рівняння (1) та (2) вдосконалена розроблена математична модель зростання міцності бетону в умовах ТСВ, яка враховує дію хімічної добавки на бетонну суміш

$$R_{np} = R_{cmp} + k_{np\epsilon} \cdot A_{np\epsilon} \lg \frac{\tau_n}{\tau_\epsilon} + A_{np} \cdot \lg \frac{\tau_{np}}{\tau_n} + A_{x\delta} k_x \lg \frac{\tau_n^x}{\tau_n^\epsilon} + A_{m\epsilon} \cdot \lg \frac{\tau_{m\epsilon}}{\tau_n}, \quad (3)$$

де R_{np} – приріст міцності;

R_{cmp} – міцність структури після віброущільнення бетонної суміші;

$A_{np\epsilon}$, A_{np} , $A_{m\epsilon}$, $A_{x\delta}$ – інтенсивності росту міцності бетону в процесі впливу тиску, температури, хімічної добавки та подальшого тверднення;

τ_n , τ_ϵ , τ_{np} , $\tau_{m\epsilon}$, τ_n^x – час силового впливу тиску, витримки до прикладання тиску, приведений термін і термін закінчення теплової обробки до розрахункового періоду та час дії хімічної добавки;

τ_n^ϵ – час витримки;

$k_{np\epsilon}$ – коефіцієнт, що враховує режим силового впливу тиску і величину тиску.

7

Для проведення експериментальних досліджень з отримання оптимального складу бетонної суміші з хімічними добавками виконувалося планування багатофакторного

експерименту та параметрична оптимізація значень величини міцності бетону на стиск. Вихідними параметрами прийнято (табл. 2): температура прогрівання (X_1), величина тиску при вантаженні (X_2) та кількість хімічної добавки (X_3), за вихідні параметри приймалася міцність бетону ($R_{ст}$).

Таблиця 2

Рівні факторів та інтервали варіювання

Фактори		Рівні факторів					Інтервал варіювання	
		-1,682	-1	0	+1	+1,682		
x_1 – температура нагрівання, °C		20	36	60	84	100	24	
x_2 – тиск привантаження, МПа		0	0,4	1	1,6	2	0,6	
X ₃ – ВМІСТ ДОБАВКИ	С-3	%	0	0,2	0,5	0,8	1	0,3
	УПБ-М		0	0,1	0,35	0,6	0,7	0,25
	Пороліт	г/кг	0	10	25	40	50	15
	Procon Special	%	0	0,1	0,25	0,4	0,5	0,15
	Procon Plus		0	0,2	0,5	0,8	1	0,3

За результатами даних експерименту одержані математичні моделі, які мають вигляд:

$$R_{cm1} = 0,8198 t + 23,95 p + 52,68 X - 0,005521 t^2 - 9,129 p^2 - 32,63 X^2 - 1,753$$

$$R_{cm2} = 0,6024 t + 9,067 p + 90,65 X + 27,53 pX - 0,004024 t^2 - 7,151 p^2 - 128,65 X^2 + 18,99$$

$$R_{cm3} = 0,7422 t + 31,54 p + 1,997 X - 0,1802 pX - 0,003652 t^2 - 8,006 p^2 - 0,02973 X^2 - 1,107$$

$$R_{cm4} = 1,038 t + 38,42 p + 166,3 X - 0,2191 pX - 0,005692 t^2 - 8,237 p^2 - 249,1 X^2 - 15,66$$

$$R_{cm5} = 1,44 t + 15,89 p + 79,52 X - 0,01072 t^2 - 6,933 p^2 - 61,06 X^2 - 13,92$$

Проведена параметрична оптимізація значень величини міцності бетону показала, що максимальне значення критерію оптимізації – міцності бетону на стиск $R_{ст}=77,7$ МПа досягаються при використанні добавки суперпластифікатора С-3 і таких оптимальних значеннях параметрів процесу виготовлення бетону: $t_{opt}=78$ °C; $p_{opt}=1,3$ МПа; $X_{opt}=0,8$ %.

Також в дисертаційній роботі показані порівняльні графіки залежності міцності бетону від величини температури прогрівання, тиску привантаження та кількості і виду хімічної добавки. З наведених графіків видно, що найкращий результат показала хімічна добавка суперпластифікатор С-3. При температурі

прогрівання 78 °C вона показала максимальну міцність 77,7 МПа. Найменшу міцність на стиск показала хімічна добавка пластифікатор УПБ-М(НФ) (рис. 1, 2, 3).

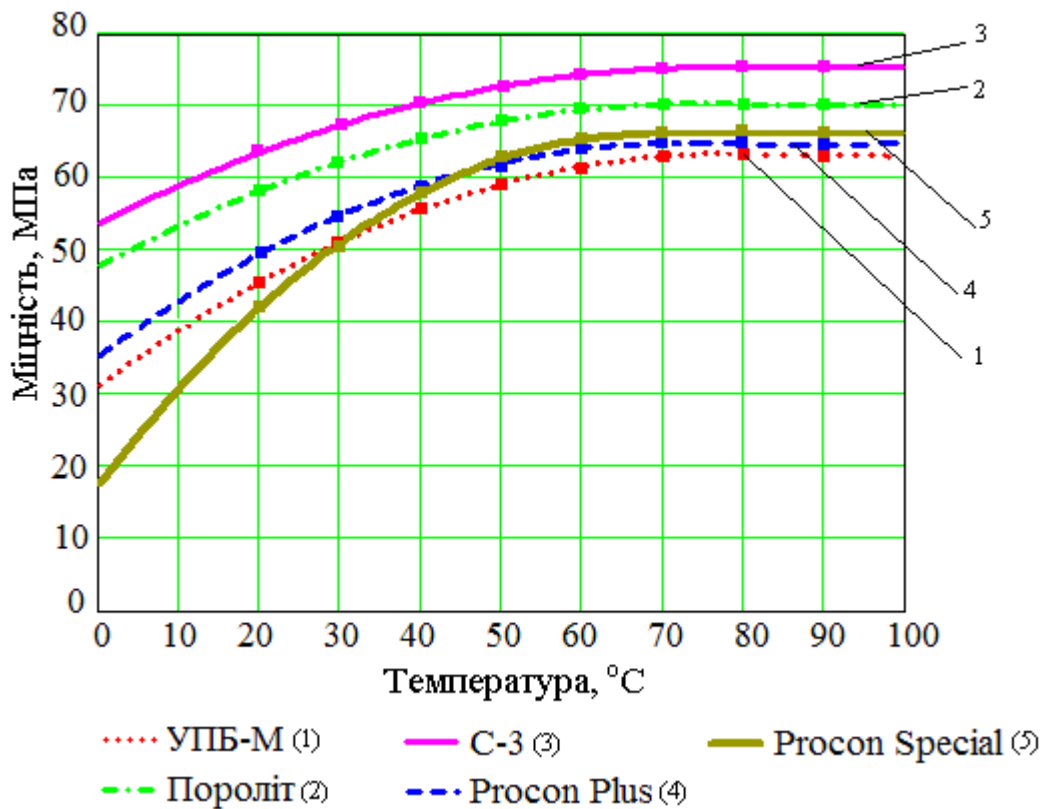


Рис. 1. Зростання міцності бетону залежно від величини температури прогрівання

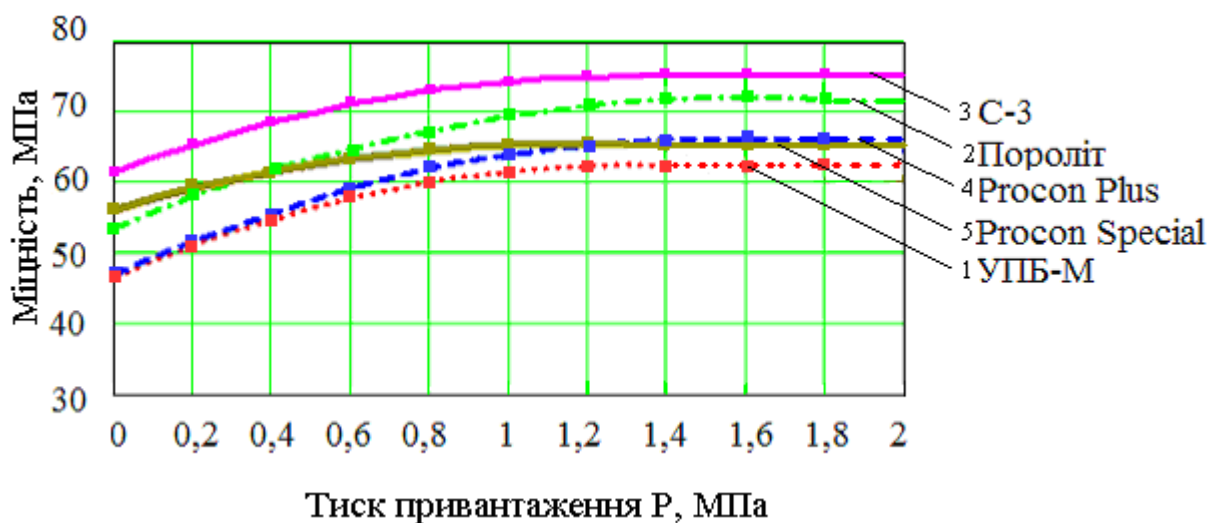


Рис. 2. Зростання міцності бетону залежно від величини тиску, що прикладається

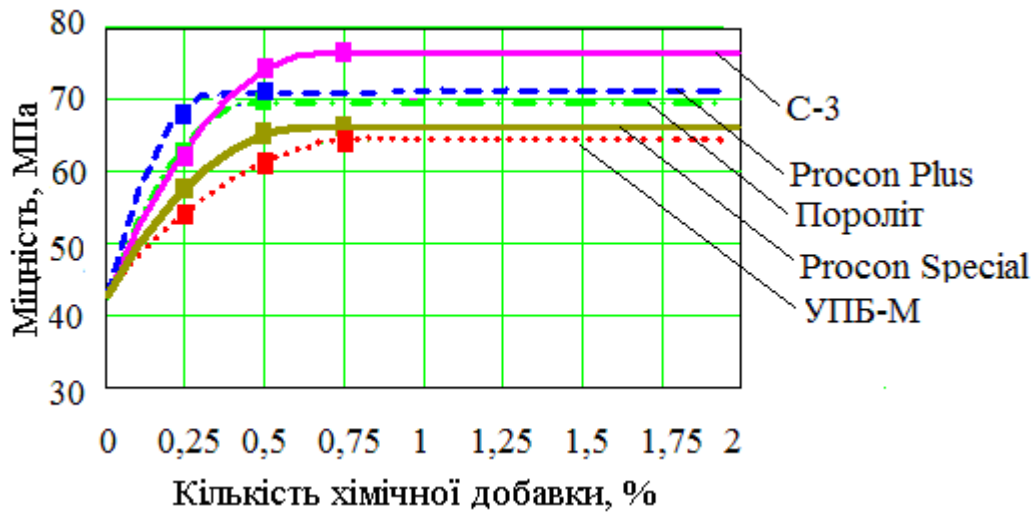


Рис. 3. Зростання міцності бетону залежно від кількості хімічної добавки

В четвертому розділі проведено дослідження властивостей та мікроструктури бетону виготовленого при термосиловому впливі. Проведені дослідження на міцність при стиску (рис. 4), стиранність (рис. 5), водопоглинання (рис. 6), морозостійкість (рис. 7). Отримані фізико-механічні характеристики порівнювалися з характеристиками бетону отриманого при нормальних умовах тверднення, при нормальних умовах тверднення з додаванням до бетонної суміші хімічної добавки та при термосиловому впливі (табл. 3, 4, 5, рис. 8). Це дало можливість зробити висновок, що додавання до бетонної суміші хімічних добавок, яка твердне в умовах термосилового впливу, дозволяє покращити фізико-механічні показники готового виробу.

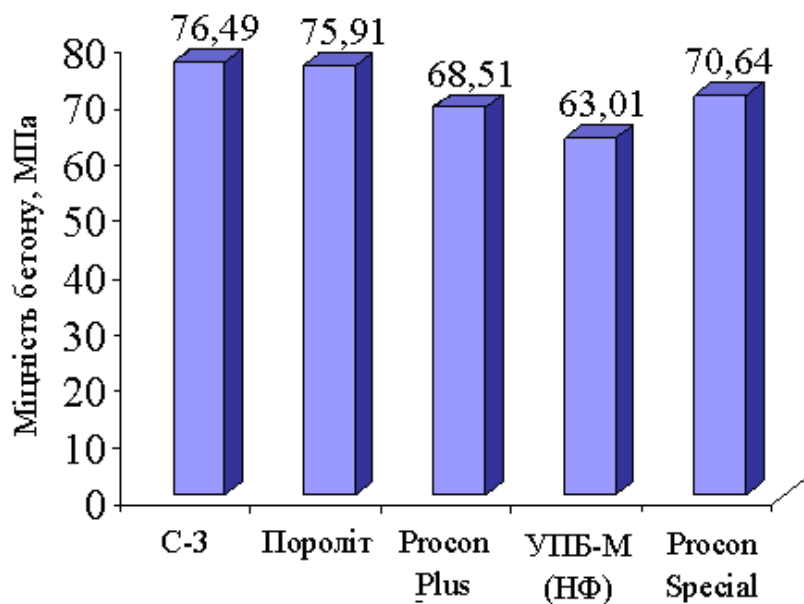


Рис. 4. Міцність бетону з різними хімічними добавками

Порівняння міцності бетону виготовленого різними способами

Показники	Спосіб виготовлення бетонних зразків			
	Нормальні	Нормальні	ТСВ	ХТСВ

	умови	умови + хімічна добавка		
Руйнівна сила, МПа	40,05	47,8	52,15	63,01
Щільність, кг/м ³	2263	2409	2504	2532
Зростання міцності до базового способу виготовлення бетонних зразків	1	1,18	1,31	1,57

Зростання міцності до базового способу виготовлення бетонних зразків визначалося за формулою:

$$K_{ef} = \frac{R^{TCB} \left(R^{XTCB}, R^H + x \right)}{R_{28}^H},$$

де R^{TCB} – міцність бетонного зразка, виготовленого при термосиловому впливі;

R^{XTCB} – міцність бетонного зразка, виготовленого при термосиловому впливі з використанням хімічних добавок;

R^{H+X} – міцність бетону, виготовленого при нормальних умовах з використанням хімічних добавок;

R_{28}^H – міцність бетону, виготовленого при нормальних умовах у віці 28 діб.

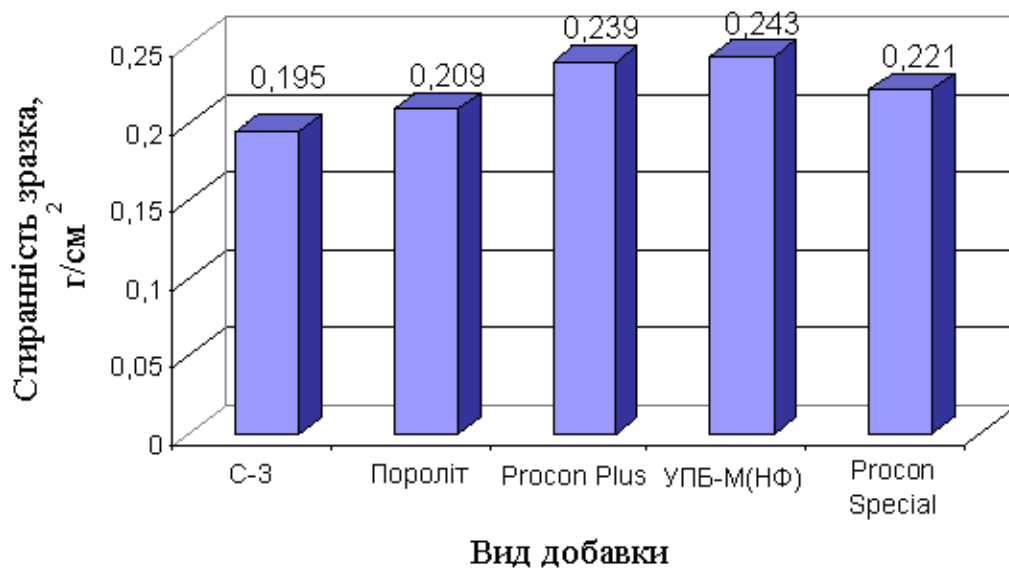


Рис. 5. Ступінь стираності зразка в залежності від виду хімічної добавки

Порівняння стираності бетону виготовленого різними способами

Показники	Спосіб виготовлення бетонних зразків			
	Нормальні умови	Нормальні умови + хімічна добавка	ТСВ	ХТСВ
Маса зразка до стирання, г	49,5	50,4	51,1	63,6

Маса зразка після стирання, г	43,9	44,9	45,7	58,5
Площа стирання, см ²	23,04	23,03	23,01	23,01
Ступінь стираності зразка, г/см ²	0,243	0,239	0,235	0,221
Зростання стираності до базового способу виготовлення бетонних зразків	1	1,017	1,03	1,099

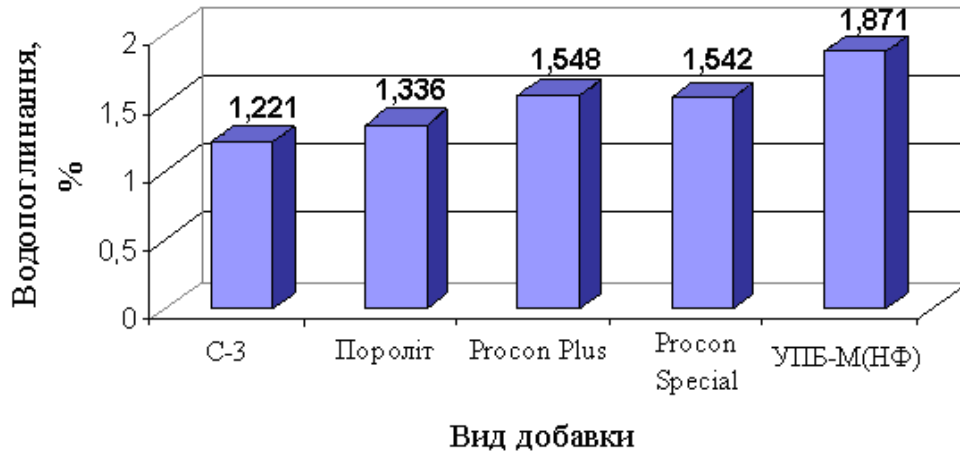


Рис. 6. Водопоглинання бетонних зразків з різними хімічними добавками

Таблиця 5

Порівняння водопоглинання бетону, виготовленого різними способами

Показники	Спосіб виготовлення бетонних зразків			
	Нормальні умови	Нормальні умови + хімічна добавка	ТСВ	ХТСВ
Маса зразка в насиченому стані, кг	2,338	2,470	2,552	2,574
Маса зразка в сухому стані, кг	2,270	2,405	2,510	2,536
Водопоглинення за масою, %	2,995	2,702	1,673	1,498
Зменшення водопоглинання до базового способу виготовлення бетонних зразків	1	0,99	0,96	0,39

12

Зменшення водопоглинання до базового способу виготовлення бетонних зразків визначалося за формулою:

$$K_{ef} = \frac{W^{TCB}(W^{XTCB}; W^{H+x})}{W_{28}^H},$$

де W^{TCB} – водопоглинання бетонного зразка, виготовленого при термосиловому впливі;

W^{XTCB} – водопоглинання бетонного зразка, виготовленого при термосиловому впливі з використанням хімічних добавок;

W^{H+x} – водопоглинання бетонного зразка, виготовленого при нормальних умовах з використанням хімічних добавок;

W_{28}^H – водопоглинання бетонного зразка, виготовленого при нормальних умовах у віці 28 діб.

Дослідження морозостійкості бетону проводилося за допомогою прискореного методу визначення морозостійкості.

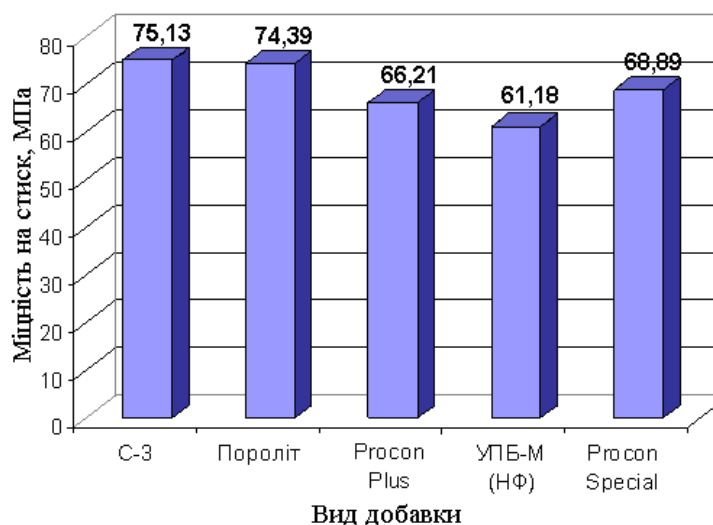


Рис. 7. Міцність бетону після 100 циклів заморожування-відтаювання

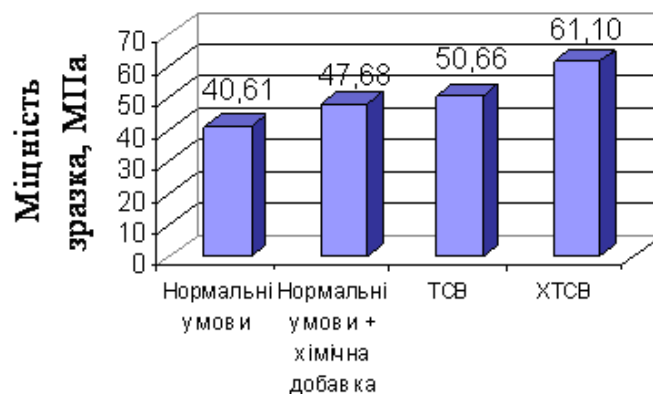


Рис. 8. Порівняння міцності бетонних зразків виготовлених в різних умовах

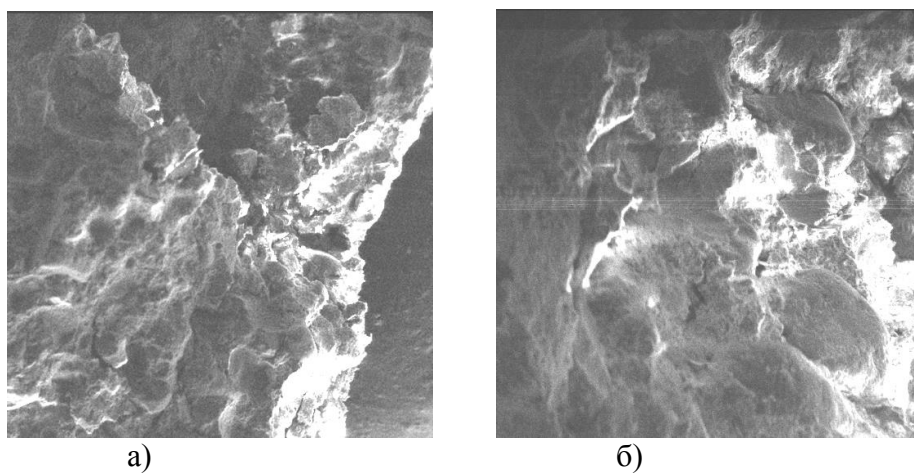


Рис. 9. Електронні мікрофотографії поверхні сколу бетону з хімічною добавкою С-3 після 28 днів тверднення при збільшенні $\times 1000$ (а), $\times 2000$ (б)

Дослідження мікроструктури бетону, виготовленого при ТСВ проводилося на бетонних зразках до складу яких входила хімічна добавка С-3 (рис. 9). Результати дослідження показали, що в ранні строки тверднення цементу виділяється високо сульфатна форма гідросульфоалюмінату кальцію $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ та $\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$. Зі збільшенням строків тверднення збільшується маса тоберморитових фаз $\text{Ca}_5\text{H}_2[\text{Si}_3\text{O}_9]_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$. У віці 28 днів наявні залишки не гідратованого аліту CaSiO_5 ($d=3.043$; 2.781; 1.821), портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($d=2.614$; 2.583; 1.801), кварц SiO_2 ($d=4.271$; 3.353; 1.544; 1.662), оксид кальцію CaO (4.957; 2.781; 2.749; 1.384), CaCO_3 (2.286; 1.983; 1.821; 1.373) (рис. 10).

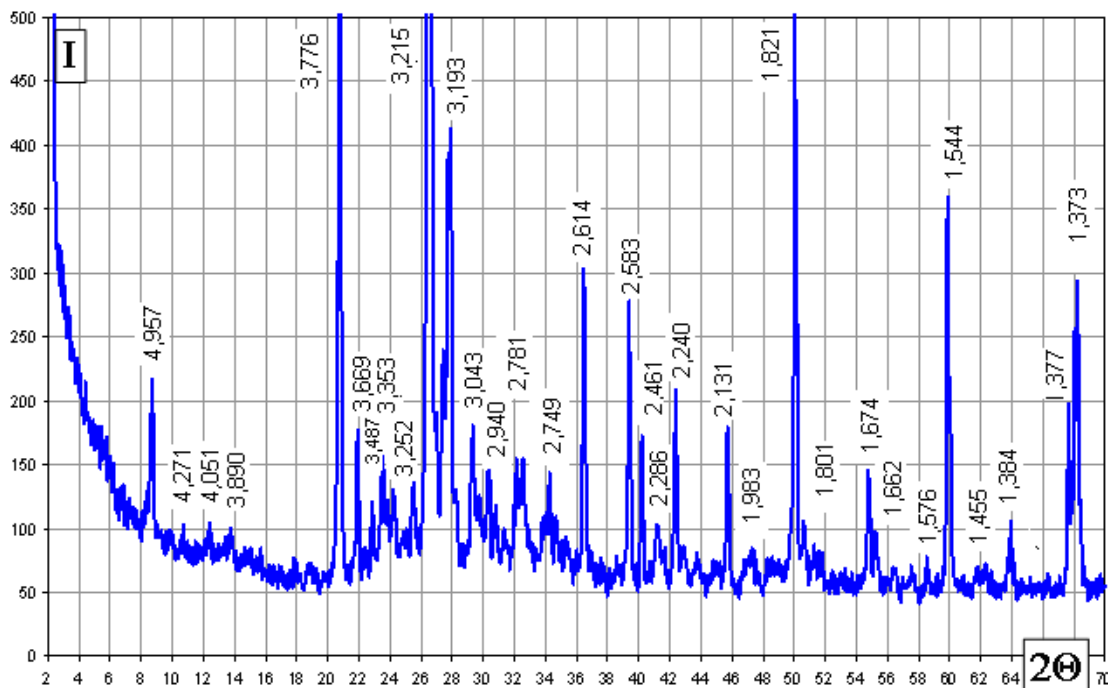


Рис. 10. Рентгенограми гідратованого цементного каменю при ТСВ у віці 28 днів
14

Проведені випробування дозволяють зробити висновок, що використання комплексного впливу тиску, температури та хімічних добавок на бетонну суміш дозволяє покращити якісні показники бетону.

У **п'ятому розділі** дисертаційної роботи розрахована техніко-економічна ефективність впровадження термосилового способу виготовлення дрібнорозмірних бетонних виробів у виробництво.

Для розробки термосилового способу виготовлення бетонних виробів з використанням хімічних добавок був здійснений патентний пошук та аналіз літературних джерел. Він показав, що найбільш доцільними хімічними добавками для даного способу виробництва є пластифікатори та ущільнювачі. Температура нагрівання не повинна перевищувати 80 °С, тривалість процесу обробки температурою не менше 4 год., обов'язково потрібно застосовуватися привантаження.

В основу способу поставлена задача виготовлення бетонних виробів за рахунок введення хімічних добавок, зменшення часу обробки бетонних виробів, збільшення швидкості набору міцності, а головне підвищення міцності, щільності, морозостійкості і довговічності.

Спосіб полягає у тому, що до бетонної суміші додається хімічна добавка (пластифікатор). Суміш ущільнюють за допомогою вібростолу. Далі ущільнену суміш привантажують та нагрівають до $t=75$ °С. Величина привантаження не перевищує 2 МПа, оскільки при збільшенні привантаження понад 2 МПа суттєвого

підвищення міцності не відбувається, а вартість обладнання збільшується. Після того як температура нагрівальних елементів, підніметься до 75 °С їх вимикають. Через півтори години витримування під тиском бетонні вироби розпалублюють та складають.

До результатів дисертаційної роботи відноситься розробка технологічної схеми виробництва бетонних виробів за допомогою термосилового впливу.

Технологічна схема складається з таких процесів (рис. 11):

– приготування бетонної суміші: до цього процесу входить доставка компонентів суміші (цемент, щебінь, пісок, хімічна добавка, вода); підготування складових суміші (просіювання на ситах щебеню та піску, розчинення хімічної добавки у воді); дозування матеріалів (склад бетонної суміші для добавки С-3 Ц:П:Щ=1:2,63:3,16, Д=0,8%, В/Ц=0,2; для добавки УПБ-М(НФ) – Ц:П:Щ=1:2,33:2,89, Д=0,5%, В/Ц=0,25; для добавки «Пороліт» – Ц:П:Щ=1:2,15:2,70, Д=33г/кг, В/Ц=0,23); змішування компонентів за допомогою бетонозмішувача.

– підготування форм: збирання форм; чистка форм; змащування їх емульсією для покращення видалення виробів з форм; укладання бетонної суміші у форми; ущільнення бетонної суміші на вібростолі; укладання форм в термосилову установку.

– привантаження бетонної суміші (тиск привантаження для добавки С-3 складає до 1,3 МПа, для УПБ-М(НФ) – до 1,6 МПа, для «Пороліт» – до 1,1 МПа) та нагрівання бетонної суміші.

Термоблоки

нагрівають

бетон

до

15

температури 70-75 °С. Після чого бетон витримується в установці протягом 1-1,5 год., знімають тиск, форми та складають готові вироби.

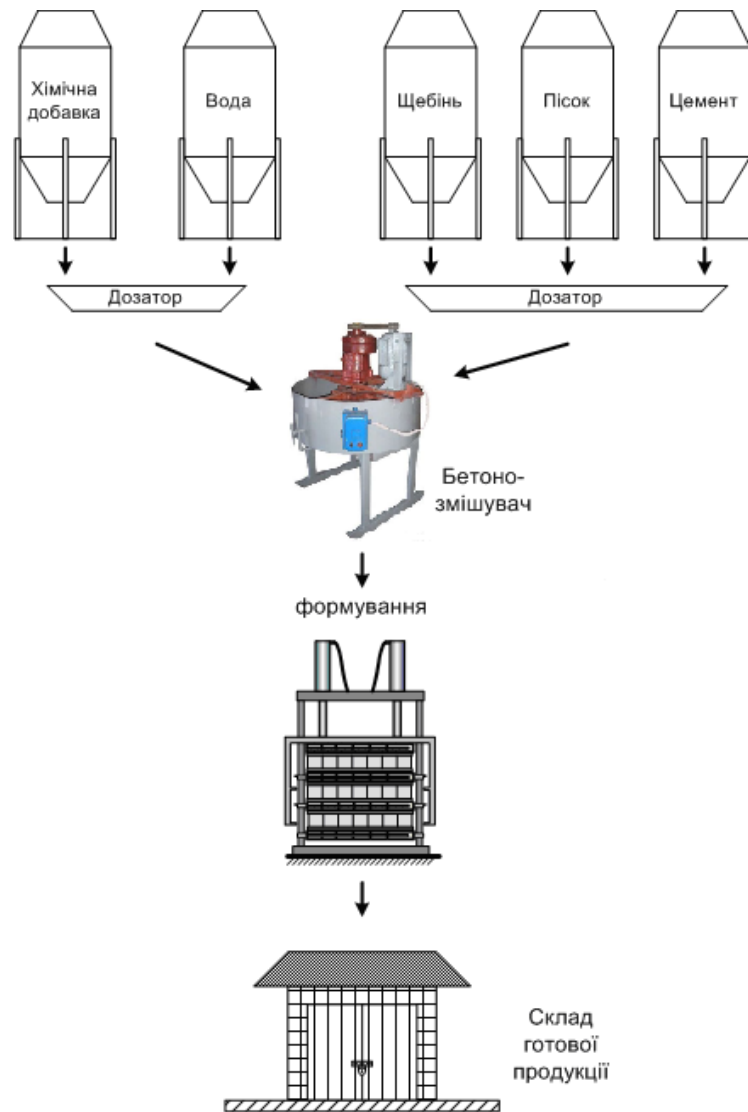


Рис. 11. Технологічна схема виробництва бетонних виробів методом ТСВ

До переваг даного способу виробництва бетонних виробів можна віднести: скорочення часу виготовлення бетонних виробів (особливо в зимових умовах), збільшення міцності, морозостійкості та інших фізико-механічних показників.

Акти впровадження дисертаційної роботи наведені у додатках дисертаційної роботи.

Економічну ефективність впровадження термосилового способу виробництва дрібнорозмірних бетонних виробів розраховували згідно методики визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво Міністерства економіки та з питань європейської інтеграції та Міністерства фінансів України. Відповідно цій методиці проект можна визнати прибутковим. В порівнянні з існуючим

термосиловим способом виготовлення бетонних виробів застосування комплексного впливу температури, тиску та хімічних добавок дозволяє зменшити витрату в'язучого до 25 % та підвищити ранню міцність бетону.

В порівнянні зі звичайним термосиловим способом виготовлення бетонних виробів економія складе 58.51 грн./м³.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз існуючих технологій виготовлення бетонних виробів, підтвердив доцільність використання комплексного впливу тиску, температури та хімічних добавок на початкових стадіях тверднення бетону для отримання бетонних виробів з покращеними фізико-механічними показниками зі зменшенням витрати цементу без застосування цементів високих марок, високоякісних заповнювачів.

2. Розроблено склад бетонних сумішей з хімічними добавками, що забезпечують високі фізико-механічні властивості готових бетонних виробів та дозволяють скоротити на 25 % витрати в'язучого.

3. Досліджено залежність міцності бетону від виду хімічної добавки та її кількості, величини тиску і температури, а також проведена оптимізація режимів термосилового впливу на початкових стадіях тверднення бетонної суміші з хімічними добавками. За допомогою узагальнення експериментальних даних та математичного моделювання отримані області оптимальних значень технологічних параметрів виготовлення бетону: для бетонної суміші з хімічною добавкою С-3: $T=78$ °С, $P=1.3$ МПа, $X=0.8$ %; для бетонної суміші з хімічною добавкою УПБ-М(НФ): $T=75$ °С, $P=1.6$ МПа, $X=0.5$ %; для бетонної суміші з хімічною добавкою Пороліт-ЛП: $T=73$ °С, $P=1.1$ МПа, $X=0.05$ %; для бетонної суміші з хімічною добавкою Procon Special: $T=62$ °С, $P=1.5$ МПа, $X=0.3$ %; для бетонної суміші з хімічною добавкою Procon Plus: $T=67$ °С, $P=1.1$ МПа, $X=0.6$ %.

4. Запропоновано спосіб термосилового впливу на бетон в спеціальних формах з використанням хімічних добавок, що забезпечує виготовлення бетонних виробів з підвищеними фізико-механічними показниками, який полягає у взаємоузгодженій комплексній дії на бетонну суміш хімічних добавок, тиску та температури. Отримано Пат. 43678 Україна, МПК(2009) В28В 1/08 «Спосіб виготовлення бетонних виробів».

5. Запропонована математична модель росту міцності в умовах термосилового впливу, яка включає в себе приріст міцності від введення до бетонної суміші хімічних добавок, прикладання тиску та температури.

6. Розроблений спосіб виготовлення бетонних виробів за методом термосилового впливу та хімічних добавок, що дозволяє ефективним способом формувати структуру бетону будь-яких конструкцій в умовах діючих підприємств та організацій.

7. Економічний ефект при хіміко-термосиловому способі виготовлення бетонних виробів в порівнянні з існуючою технологією термосилового впливу склав 58.51 грн. на 1 м³ готового виробу.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ*

За темою досліджень опубліковано 16 праць, основними з них є:

1. Дмитренко В.Л. Розробка методів дослідження структуроутворення бетону в умовах термосилових впливів / Дудар І.Н., Дмитренко В.Л. // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2008. – №5. – С. 28-32.

2. Гарнага В.Л. Вдосконалення та підвищення ефективності термосилового впливу на бетонні вироби / І.Н. Дудар, В.В. Швець, В.Л. Гарнага // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – №1. – С. 19-22.

3. Гарнага В.Л. Оптимізація міцності бетону, виготовленого під дією хіміко-термосилового впливу / Дудар І.Н., Гарнага В.Л. // Вісник ОДАБА. – 2010. – С. 287-301.

4. Гарнага В.Л. Оптимізація міцності бетону з пластифікатором УПБ-М виготовленого під дією термосилового впливу / Гарнага В.Л. // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2010. – №1. – С. 45-47.

5. Гарнага В.Л. Дослідження фізико-механічних властивостей бетону, виготовленого з термосиловим впливом з використанням хімічних добавок / В.Л. Гарнага // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №2. – С. 24-27.

6. Пат. 43678 Україна, МПК(2009) В28В 1/08. Спосіб виготовлення бетонних виробів / Дудар І.Н., Швець В.В., Гарнага В.Л.; власник Вінницький національний технічний університет. – № у 2009 03276; заявл. 06.04.2009; опубл. 25.08.2009, Бюл. №16.

7. Дмитренко В.Л. Дослідження ролі хімічних добавок при термосиловому впливі / Дудар І.Н., Дмитренко В.Л. // *Materialy IV międzynarodowej naukowe-praktycznej konferencji [“Perspektywiczne opracowania nauki i techniki – 2008”]*, (Przemyśl, 7-15 listopada 2008 r.) / Sp. z o.o. “Nauka i Studia”. – Przemyśl.: Nauka i Studia, 2008. – С. 33-36.

8. Гарнага В.Л. Визначення економічної ефективності впровадження хіміко-термосилового впливу в технології виробництва бетонних виробів / Дудар І.Н., Гарнага В.Л. // *Materialy V międzynarodowej naukowe-praktycznej konferencji [“Dynamika naukowych badań – 2009”]*, (Przemyśl, 7-15 lipca 2009 r.) / Sp. z o.o. “Nauka i Studia”. – Przemyśl.: Nauka i Studia, 2009. – С. 58-60.

* Вважати Дмитренко В.Л. Гарнагою В.Л. в зв'язку з одруженням.

АНОТАЦІЯ

Гарнага В.Л. Термосилова технологія дрібнорозмірних бетонних виробів з використанням хімічних добавок. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.23.05 – будівельні матеріали та виробы. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця – 2011.

18

Дисертацію присвячено розробці нової термосилової технології виготовлення дрібнорозмірних бетонних виробів з використанням хімічних добавок. Наукові дані отримані в результаті теоретичних і експериментальних досліджень, дозволяють підвищити фізико-механічні властивості бетону, зменшити витрати в'язучого.

В результаті досліджень встановлено, що основними технологічними факторами, які впливають на процес формування бетонного виробу, є: склад суміші, тиск привантаження, температура прогрівання.

За допомогою теоретичних та експериментальних досліджень було визначено оптимальний склад бетонних сумішей з хімічними добавками, визначено фізико-механічні властивості бетону, запропонована математична модель росту міцності в умовах термосилового впливу.

Вперше запропонований спосіб термосилового впливу на бетонну суміш в спеціальних формах з використанням хімічних добавок, що забезпечує виготовлення бетонних виробів з підвищеними фізико-механічними показниками.

Ключові слова: термосилова технологія, хімічні добавки, дрібнорозмірні бетонні виробы, тиск привантаження, температура, склад бетону.

АННОТАЦИЯ

Гарнага В.Л. Термосиловая технология мелкоразмерных бетонных изделий с использованием химических добавок. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Винницкий национальный технический университет, Винница, – 2011.

Диссертация посвящена разработке новой термосиловой технологии изготовления мелкоразмерных бетонных изделий с использованием химических добавок. Научные данные, полученные в результате теоретических и экспериментальных исследований, показали, что сочетание действия температуры прогрева, давления и химических добавок на бетонный раствор, даст возможность улучшить его физико-механические свойства без использования высокомарочных цементов и качественных заполнителей.

Использование термосилового влияния и химических добавок при производстве мелкозернистых изделий позволит получить бетон с прочностью достаточной для его распалубки, транспортирования и использования по назначению без долговременной тепловой обработки, что интенсифицирует их производство, и даст возможность уменьшить расход материалов.

Суть работы заключается в усовершенствовании технологии изготовления мелкозернистых бетонных изделий с повышенными показателями прочности и другими физико-механическими свойствами с помощью комплексного воздействия давления, температуры и химических добавок.

19

В результате исследований теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения бетонных изделий с улучшенными физико-механическими свойствами при комплексном воздействии давления, температуры и химических добавок на бетон в период начального твердения.

Проведена параметрическая оптимизация значения величины прочности бетона на сжатие, которая позволила получить оптимальные значения параметров процесса изготовления мелкозернистых бетонных изделий при использовании химико-термосилового воздействия. Максимальное значение критерия оптимизации составляет 77.7 МПа при использовании добавки суперпластификатора С-3 и таких оптимальных значений параметров производства: $T_{\text{опт}}=78\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{опт}}=1.3\text{ МПа}$, $X_{\text{опт}}=0.8\text{ \%}$.

Усовершенствована математическая модель роста прочности бетона в соответствии с параметрами термосилового влияния, которая включает в себя прирост прочности от введения химических добавок, давления, температуры и условий дальнейшего твердения, которая отличается от известных наличием составляющей прироста прочности от воздействия химической добавки.

Разработана технологическая схема изготовления бетонных изделий с использованием термосилового влияния и химических добавок.

Предложены режимы термосилового влияния на бетон в специальных формах, обеспечивающие изготовление бетонных изделий с повышенными физико-механическими свойствами. По сравнению с бетоном, изготовленным в нормальных условиях, прочность на сжатие увеличивается в 1.5 раза; морозостойкость до 85%, истираемость на 25% уменьшается.

Проведен рентгеноструктурный анализ и исследование микроструктуры бетона, изготовленного термосиловым способом с применением химических добавок.

Результаты диссертационных исследований подтверждаются соответствующим актом внедрения в производство.

Экономический эффект от использования термосилового влияния и химических добавок при производстве мелкозернистых изделий составил 58.51 грн. на 1 м³ готового изделия.

Ключевые слова: термосиловая технология, химические добавки, мелкозернистые бетонные изделия, давление пригруза, температура, состав бетона.

SUMMARY

Harnaha V.L. Thermal-pressing technology fine-sized concrete products with chemical additives. – A manuscript.

The thesis for a Ph.D. science degree by specialty 05.23.05 – building materials and wares. Vinnytsia National Technical University. Vinnytsia, – 2011.

The dissertation is devoted development of new thermal-pressing technology of making of small size of concrete items with the use of chemical additions. Scientific information is got as a result of theoretical and experimental researches, allow promoting physics and mechanical properties of concrete, to decrease expenses astringent.

It is set as a result of researches, which basic technological factors, which influence on the process of forming of concrete good, are: composition of mixture, pressure of pressing, temperature of warming up.

By theoretical and experimental researches optimum composition of concrete mixtures was certain with chemical additions, certainly physics and mechanical properties of concrete, the mathematical pattern of growth of durability is offered in the conditions of thermal-pressing influence.

First offered method of thermal-pressing influence on concrete mixture in no spread functions with the use of chemical additions, that provides making of concrete wares with enhance able physics and mechanical by indexes.

Keywords: thermal-pressing technology, chemical additions, small size of concrete items, pressure, temperature, structure of concrete.

Підписано до друку 2011 р. Формат 29.7×42¼

Наклад 100 прим. Зам. № 2011-146

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького національного технічного університету.

м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59