

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

В. Л. Гарнага, І. Н. Дудар

**ХІМІКО-ТЕРМОСИЛОВА ТЕХНОЛОГІЯ
ДРІБНОРОЗМІРНИХ БЕТОННИХ ВИРОБІВ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2013

УДК 691.3 + 666.972.16
ББК 38.626.1 + 35.50
Г20

Рекомендовано до друку Вченою Радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 9 від 25.04. 2013 р.)

Рецензенти:

О. Л. Дворкін, доктор технічних наук, професор

А. С. Моргун, доктор технічних наук, професор

Гарнага, В. Л.

Г20 Хіміко-термосилова технологія дрібнорозмірних бетонних виробів : монографія / В. Л. Гарнага, І. Н. Дудар. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 104 с.

ISBN 978-966-641-538-0

В монографії розглядається питання вдосконалення термосилової технології дрібнорозмірних бетонних виробів за рахунок введення хімічних добавок. Встановлено, що основними технологічними факторами, які впливають на процес формування бетонного виробу, є: склад суміші, тиск привантаження, температура прогрівання. Визначено оптимальний склад бетонних сумішей з хімічними добавками, досліджено фізико-механічні властивості бетону, розроблено математичну модель росту міцності в умовах термосилового впливу. Запропоновано спосіб термосилового впливу на бетонну суміш в спеціальних формах з використанням хімічних добавок, що забезпечує виготовлення бетонних виробів з підвищеними фізико-механічними показниками.

УДК 666.972.16

ББК 38.626.1 + 35.50

ISBN 978-966-641-538-0

© В. Гарнага, І. Дудар, 2013

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕТОННИХ ВИРОБІВ	6
1.1 Хімічні добавки та їх вплив на структуроутворення бетону	6
1.2 Вплив температури прогрівання на бетонну суміш з хімічними добавками	9
1.3 Вплив тиску на бетонну суміш з хімічними добавками	14
РОЗДІЛ 2 ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ СИРОВИНИ ДЛЯ ХІМІКО- ТЕРМОСИЛОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ	22
2.1 Обґрунтування напрямку досліджень	22
2.2 Методика експерименту та обладнання для проведення експериментальних досліджень	23
2.3 Характеристика матеріалів, що використовувалися в експериментах	26
2.3.1 В'язучі речовини.....	26
2.3.2 Заповнювачі.....	28
2.3.3 Хімічні добавки.....	30
2.4 Підбір складу бетонної суміші	34
2.5 Визначення оптимальних технологічних параметрів та оцінка точності вимірювань.....	36
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДНЕННЯ БЕТОНУ ПРИ КОМПЛЕКСНОМУ ВПЛИВІ TEMПЕРАТУРИ, ТИСКУ ТА ХІМІЧНИХ ДОБАВОК	40
3.1 Дослідження ролі хімічних добавок при термосиловому впливі	40
3.2 Планування багатофакторного експерименту та параметрична оптимізація значень величини міцності бетону на стиск.....	42
3.2.1 Вплив технологічних факторів на міцність при стиску бетонних зразків.....	42
3.2.2 Оптимізація параметрів процесу виготовлення бетону.....	57
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕТОНУ ВИГОТОВЛЕНОГО ПРИ ТЕРМОСИЛОВОМУ ВПЛИВІ З ВИКОРИСТАННЯМ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК.....	60

4.1	Визначення міцності бетону на стиск	60	
4.2	Визначення стиранності бетону	62	
4.3	Визначення пористості бетону	65	
4.4	Визначення водопоглинання бетону	67	
4.5	Визначення морозостійкості бетону	69	
4.6	Дослідження структури бетону	73	
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ			
ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕРМОСИЛОВОГО СПОСОБУ			
ВИГОТОВЛЕННЯ БЕТОННИХ ВИРОБІВ У ВИРОБНИЦТВО			82
5.1	Виготовлення бетонних виробів за термосиловою технологією з використанням хімічних добавок.....	82	
5.2	Технологічна схема виробництва бетонних виробів за допомогою термосилового впливу з використанням хімічних добавок.....	82	
5.3	Розрахунок економічної ефективності впровадження ТСВ у виробництво	84	
ВИСНОВКИ.....			90
ЛІТЕРАТУРА			92

ВСТУП

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

В останні роки в усіх індустріально розвинених країнах поширюється застосування високоміцного і високоякісного бетону міцністю на стиск вище 60 МПа. Їх використання дозволяє суттєво знизити матеріаломісткість і підвищити довговічність конструкцій будівель і споруд в порівнянні з конструкціями зі звичайного бетону міцністю 20–40 МПа [10].

Середня міцність бетонів, які застосовуються в Україні, майже вдвічі нижча, ніж в США і на 30–50 % нижча, ніж в Європейських країнах. Для будівництва будівель і споруд в Україні максимальна міцність бетону складає – М 800. Ефективні конструкції з важких бетонів складають в Україні 0,5 % від загального об'єму, в США більше 1,0 % від загального об'єму, в Норвегії більше 10 % [9].

Розвиток ринкової економіки починає змінювати тенденцію, що склалася, і в даний час в Україні користуються попитом, хоча і дуже рідко, не лише бетони В15–В30, але й високоміцні бетони. Основна увага в розвитку бетонознавства в майбутньому буде приділятися не економії якого-небудь матеріалу, наприклад, цементу, а отриманню якісних конкурентоспроможних бетонів, до числа яких слід віднести бетони з високою ранньою і нормативною міцністю.

В найближчий час відбудеться поступова заміна звичайних традиційних бетонів багатокомпонентними. В таких бетонах використовуються як індивідуальні хімічні модифікатори, які поліпшують укладання бетонної суміші і сприяють підвищенню їх фізико-механічних показників, так і комплексні добавки, які включають в себе кілька індивідуальних хімічних добавок різного функціонального призначення. Особлива роль в модифікації структури бетону надається і реакційно-активним тонкоподрібненим мінеральним компонентам природного і техногенного походження, а також мікроармуючим елементам.

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 актуальними.

Застосування хіміко-термосилового способу виробництва бетонних виробів дозволить не лише зменшити витрату матеріалів, але й підвищити показники міцності, морозостійкості та інших фізико-механічних властивостей бетону.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕТОННИХ ВИРОБІВ

1.1 Хімічні добавки та їх вплив на структуроутворення бетону

Найбільш універсальним і ефективним способом моделювання структури і регулювання властивостей бетону є введення в бетонну суміш додаткових компонентів – добавок [128–131].

На даний час в економічно розвинених країнах весь бетон, що випускається, виготовляється із застосуванням різноманітних хімічних добавок. Номенклатура відомих добавок дуже різноманітна, починаючи з класифікації вчених В. Б. Ратінова та Т. І. Розенберга, які поділили їх на 4 класи: добавки, які змінюють розчинність в'язучих речовин; добавки, які реагують із в'язучими речовинами з утворенням важкорозчинних або малодисоційованих сполук; добавки – готові центри кристалізації (кристалічні затравки); органічні поверхнево-активні речовини [45, 64, 67, 70, 83, 117].

За функціональним призначенням та основним ефектом дії розрізняють добавки, які регулюють властивості бетонних сумішей, добавки, що поризують, добавки, які регулюють процеси тужавіння і тверднення та добавки, які змінюють характер процесів структуроутворення бетону і надають йому спеціальних властивостей [2, 18, 97].

Добавки одного класу можуть помітно відрізнятися за ефективністю. В таких випадках застосовується додаткова класифікація добавок за класами [11, С.43, 108]. Так добавки першого класу поділяються на пластифікуючі; стабілізуючі; водоутримуючі; добавки, які поліпшують перекачування сумішей, регулюючи збереження суміші; поризуючі; піноутворювачі; газоутворювачі. Добавки, які регулюють терміни тверднення бетону поділяються на сповільнювачі тверднення та прискорювачі. До третього класу відносяться ущільнювальні, повітровтягувальні та інгібітори корозії сталі. Четвертий клас поділяється на протиморозні та гідрофобні [25].

Розглянувши техніко-економічну ефективність кожної з добавок, можна зробити висновок, що ефективність введення пластифікуючих добавок проявляється в економії цементу для різних бетонів, в зменшенні розшарування бетонної суміші, підвищенні щільності та непроникності бетону, збільшенні міцності бетонів [61].

Найбільшого поширення в Україні набули добавки пластифікатори С-3, Дофен, 10-03, 40-03, ЛСТМ, ОП-7, Мельмент, Компласт, Релаксол, Динамон [18].

Добавки, які регулюють тужавлення та тверднення бетонної суміші дозволяють прискорити або сповільнити строки тужавлення бетонної суміші [25, 38].

Дія добавок-прискорювачів тужавлення бетону полягає в активізації процесу гідратації цементу, що приводить до прискореного утворення гелів, які поглинають в свої комірки велику кількість рідкої фази і внаслідок цього викликають швидке тужавлення і наступне інтенсивне зміцнення цементного каменю [61, с. 57, 38].

Найпоширенішими в практиці прискорювачами є: хлорид кальцію CaCl_2 , сульфат натрію Na_2SO_4 , поташ K_2CO_3 , нітрати кальцію $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ та натрію NaNO_3 [18, 127].

Як правило, добавки-прискорювачі схоплювання та тверднення бетону являють собою електроліти (солі, кислоти, основи), тому при розчиненні цих добавок у воді утворюються сольвати – міцні з'єднання молекул добавок з молекулами води. В результаті хімічні та фізичні властивості води змінюються.

Прискорювачі тверднення при введенні в бетонну суміш в кількості 0,3-0,5 % від маси цементу інтенсифікують процеси гідратації та мають позитивний вплив на формування структури цементного каменю [112].

Застосовуючи добавки-прискорювачі схоплювання та тверднення, слід враховувати, що вони, зменшуючи електричні заряди часток цементу та скорочуючи терміни їх схоплювання, прискорюють процеси гідратації та ущільнюють структуру цементного каменю в ранні строки її формування. Чим вищий вміст три кальцієвого алюмінату, тим сильніше проявляється ущільнювальна дія добавок [29, 107, 119, 126].

Механізм дії добавок-сповільнювачів тужавлення бетону полягає в сповільненні процесів гідратації і гідролізу клінкерних мінералів, тобто зумовлює сповільнене виділення вільного вапна в розчин і сповільнює процеси коагуляції та наближення зерен цементу і його гідратних новоутворень. В результаті цього інтенсивність тужавлення зачиною водою клінкерного цементу сповільнюється [61, С 48].

Для молекул суперпластифікатора (СП) характерне зниження поверхневого натягу на межі розділення фаз «рідина – верде тіло», в той час як більшість поверхнево-активних речовин (ПАР) знижують поверхневий натяг на межі розподілу фаз «газ – рідина». Для них притаманно чинити диспергуючий ефект на частки в'язучого. В результаті чого частка дрібних фракцій в присутності СП збільшується в 2 рази, що підвищує в'язучу якість цементу [58, 93].

В механізмі дії СП типу нафталін-формальдигідних поліконденсатів, сульфованих меланін-формальдегідних поліконденсатів та лігносульфонатів переважає ефект електростатичного відштовхування час-

ток цементу та стабілізації, викликаний тим, що адсорбційні шари з молекул СП підвищують величину дзета-потенціалу на поверхні цементних часток [58, с. 27, 99].

В механізмі дії СП типу полікарбоксилатів та поліакрилатів роль дзета-потенціалу менша, а взаємне відштовхування часток цементу та стабілізації суспензії забезпечується за рахунок переважаючого стеричного ефекту.

Вплив СП на морозостійкість та водонепроникність пов'язаний зі зміною капілярно-пористої структури цементного каменю в бетоні, яка, як відомо, залежить від складу бетонної суміші. Зі зменшенням водоцементного співвідношення (В/Ц) вона ущільнюється – стає менш проникною [58].

Повітровтягувальні (мікропіноутворюючі) добавки збільшують вміст і сприяють зменшенню розмірів бульбашок повітря в бетонних сумішах завдяки адсорбції на поверхні розподілу «повітря – рідина» і зменшенню величини поверхневого натягу останньої. Молекули поверхнево-активних речовин орієнтуються полярними групами у бік води, а неполярними – у бік бульбашок повітря, що перешкоджає їх коалесценції (злипанню). В результаті забезпечується також гідрофобізація твердих частинок. Із збільшенням вмісту добавок кількість залученого повітря зростає, зазвичай, за параболічною залежністю [76].

Основне призначення повітровтягувальних добавок – радикальне підвищення морозостійкості бетону в результаті створення раціональної системи повітряних бульбашок для видалення частини води при заморожуванні. Добавки цього класу були запропоновані наприкінці 30-х років минулого століття після виявлення ефекту підвищення морозостійкості дорожніх плит, виготовлених на цементі, при помелі якого вводилися присадки відповідних ПАР [41].

Разом з підвищенням морозостійкості бетону повітровтягувальні добавки полегшують укладання бетонних сумішей, зменшують їх розшарування і водовідділення, підвищують сульфатостійкість і непроникність бетону [115].

Повітровтягувальні добавки з високою піноутвірною здатністю застосовуються для виготовлення легких поризованих бетонів і пінобетонів. Об'єм залученого повітря в бетоні, залежно від його функціонального призначення, може знаходитися в широкій області: від 2–3 % – для важких бетонів до 70–80 % – для пінобетонів. На об'ємний вміст залученого повітря впливають багато чинників, обумовлених складом бетонної суміші і технологічними параметрами [35, 125].

Газотвірні добавки представлені в основному полігідросилоксанами, що відносяться до кремнійорганічних з'єднань (136-41 (кол. ГКЖ-94), 136-157М (кол. ГКЖ-94М) та ін.), а також алюмінієвою пу-

дрою. В результаті взаємодії цих добавок з гідроксидом кальцію виділяється водень у вигляді найдрібніших газових бульбашок. Зі зростанням концентрації добавки кількість утвореного газу збільшується, практично, лінійно. Кількість газу, що виділився, збільшується із зростанням вмісту лугів в цементі і водоцементного відношення [19, 118].

Разом з отриманням мілкої, рівномірно розподіленої пористості цементного каменя в бетоні при введенні полігідросилоксанів, має місце гідрофобізація внутрішньої поверхні комірок і капілярів. Вона особливо важлива для підвищення стійкості бетону в умовах капілярного підсосу, випаровування розчинів солей, а також періодичного зволоження і висушування, заморожування і відтаювання [3].

В якості протиморозних добавок застосовують як електроліти, так і неелектроліти, що не надають помітної прискорювальної дії на тверднення бетону або схоплювання, які належать до сповільнювачів тверднення: аміак, спирти, карбамід та ін. [60, 61, 78].

Застосування протиморозних добавок ефективно в поєднанні з електророзігрівом бетону. При такій технології зимового бетонування добавки – електроліти, разом з прискоренням тверднення бетону, підвищують електропровідність рідкої фази, що дозволяє вести електропрогрівання при температурі бетонної суміші нижче 0 °С [58, С.122].

Бетони з протиморозними добавками, що містять хлориди, а також поташ, не допускаються до застосування для попередньо напружених конструкцій [105, 122], оскільки вони викликають корозію арматури і, як наслідок, руйнування конструкцій при експлуатації.

1.2 Вплив температури прогрівання на бетонну суміш з хімічними добавками

Температура прогрівання – це фактор інтенсифікації процесу тужавлення бетонної суміші на ранніх стадіях, зміни швидкості структуроутворення та забезпечення заданих властивостей бетону [123].

Як відомо, теплова обробка бетону – це найбільш ефективний спосіб прискорення тужавлення, що знайшов більш широке застосування при заводському виготовленні бетонних виробів. Температура має значний вплив на тужавлення портландцементу. Завдяки підвищенню температури бетонних сумішей відбувається значне прискорення їх набору міцності. Він стає помітним вже при температурі бетонної суміші 30–40 °С. Різке прискорення процесів тужавлення цементної суспензії та бетонної суміші настає при температурі 70–90 °С і вище. Проте використання таких підвищених температур призводить до подорожчання самих виробів. Виходом з цієї ситуації може бути застосування хімічних добавок, які дозволять знизити температуру нагрівання, не зменшуючи швидкість набору міцності [80, 81].

Як зазначають багато вчених [4, 5, 28, 65, 82–85, 87, 88, 90, 91, 95, 96, 103, 112, 116], температура має значний вплив на формування та зміну властивостей бетону. Підвищення температури при тужавленні прискорює хімічні реакції гідратації, що позитивно впливає на приріст міцності бетону, рис. 1.1, 1.2.

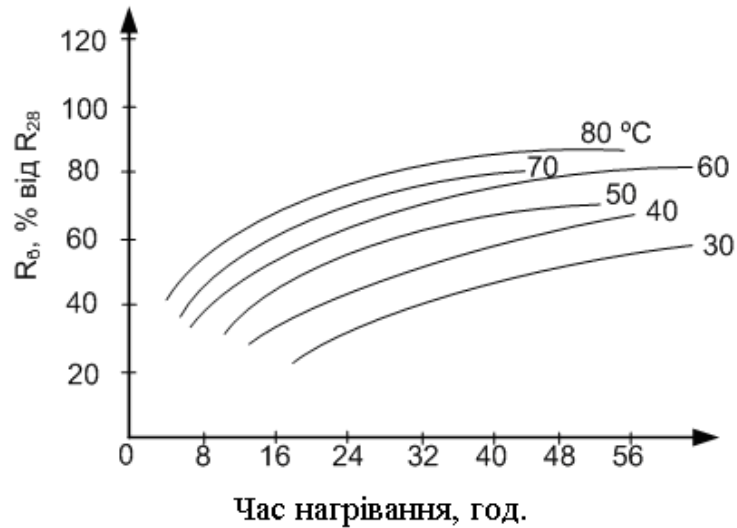


Рисунок 1.1 – Криві зростання міцності бетону при прогріванні (портландцемент) [41]

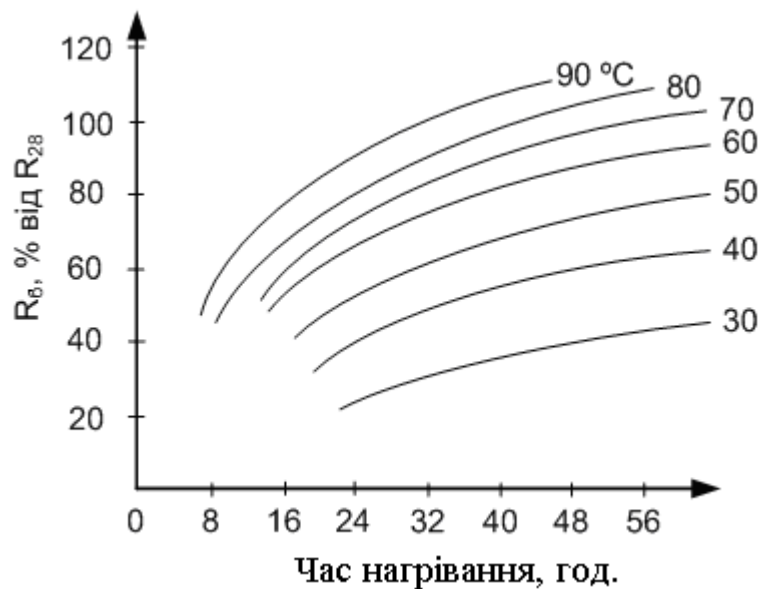


Рисунок 1.2 – Криві зростання міцності бетону при прогріванні (шлакопортландцемент) [41]

Відомо, що попереднє витримування бетонної суміші до теплової обробки підвищує кінцеву міцність бетону, дозволяє застосовувати більш форсовані режими, що скорочує тривалість теплової обробки. Особливо попереднє витримування необхідне при прогріві виробів без форм або з великою відкритою поверхнею. Прогрівання ж виробів, які знаходяться в металевих формах, закритих з усіх боків, не потребує попереднього витримування, оскільки форма перешкоджає розширенню бетону. У цьому випадку можливий різкий підйом температури [41, 89].

Термосиловий спосіб виготовлення дрібнорозмірних бетонних виробів з використанням хімічних добавок не потребує попереднього витримування бетонної суміші. Нагрівання здійснюється форсованим електророзігрівом у формах або попереднім розігрівом бетонної суміші з наступним укладанням у підігріту форму. І хоча ця технологія потребує додаткового устаткування для розігріву бетонної суміші, однак, перспективність цього способу виготовлення дрібнорозмірних бетонних виробів полягає в можливості збільшення оборотності прес-форм, зменшенні тривалості прогріву та підвищенні якості бетону.

Багато вчених [4, 5, 28, 65, 82-96, 103, 113, 119] досліджували вплив прогріву бетону на фазовий склад новоутворень, які виникають при гідратації C_3S та C_2S . Ними встановлено, що прогріті зразки мають меншу кількість гелю, чи меншу кількість води, яка зв'язана з гелем, що зникає на перших стадіях нагрівання зразка. Що стосується ефектів на диференціальних кривих нагрівання зразків, що тверділи в різних умовах після прогрівання, то вони не містили в собі нічого нового в порівнянні з ефектом, що спостерігався у зразків, які тверділи при $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$.

Дослідження вченими процесів гідратації C_3S при температурах $50\text{--}90\text{ }^\circ\text{C}$ показали, що при твердненні композитів спостерігаються ті ж закономірності, що й при нормальному твердненні [106].

Кінетика гідратації алюмомістних мінералів в температурному режимі від 20 до $90\text{ }^\circ\text{C}$ показала, що швидкість гідратації цих мінералів значно підвищується в міру зростання температури тверднення [100].

За кількістю $Ca(OH)_2$, який виділяється, та зв'язаної води було встановлено, що в порівнянні з процесами гідратації при $20\text{ }^\circ\text{C}$, прогрівання при $80\text{ }^\circ\text{C}$ прискорює реакції гідратації в 6 разів, а при $100\text{ }^\circ\text{C}$ – в 10 разів [101].

При нормальних умовах тверднення формування структури відбувається у відносно спокійних умовах, оскільки основні складові бетону не зазнають значних об'ємних змін під дією температури. В цих умовах температурні градієнти виникають лише за рахунок саморозігріву бетону в результаті екзотермічних реакцій при гідратації цементу [72].

Як відомо, процес прогрівання складається з таких чотирьох процесів: підвищення температури, витримування на проміжку визначеного часу при максимальній температурі та охолодження виробу до температури навколишнього середовища [51].

Температурний градієнт призводить до виникнення температурних напружень, оскільки зовнішні більш нагріті шари збільшуються в об'ємі в більшій мірі, ніж внутрішні. В цей період, особливо при швидкому нагріванні бетону, можуть виникнути значні напруження, в результаті яких утворюються тріщини, а також відбувається порушення контактів між цементним каменем та заповнювачем [41, С. 388–394]. Це є досить значним недоліком.

Температурний градієнт між зовнішніми та внутрішніми шарами спостерігається до тих пір, поки виріб не прогріється по всьому об'єму. При тепловій обробці бетон, в результаті температурного розширення, збільшується в об'ємі. Якщо бетон твердіє у формі, яка фіксує його об'єм, то при нагріванні складові бетону будуть намагатись зайняти об'єм повітряних комірок чи заважати їх температурному розширенню. Внаслідок цього парціальний тиск пароповітряної суміші в порі буде значно підвищуватись. Якщо металева форма закрита з усіх боків, то явних структурних порушень не спостерігається [72].

Таким чином, на стадії підвищення температури створюються сприятливі умови для хімічних реакцій. При підвищеній температурі в бетоні повністю зберігається, і навіть збільшується, кількість води в порівнянні із введеною при замішуванні [67].

Вплив температури на бетонну суміш з хімічними добавками досліджували такі вчені як В. Б. Ратінов, В. Б. Грап, С. А. Міронов, Л. А. Малінін, В. С. Ізотов, Г. П. Іноземцев, В. Н. Сізов, Л. А. Кайсер, Р. С. Чехова, Ю. М. Бутт, В. В. Тімашов та ін.

Більшість хімічних добавок на 10–20 % підвищують міцність бетону одразу після прогрівання. У 28-ми добовому віці вони не лише зменшують недобір міцності бетону по відношенню до марочного (без добавок), але й забезпечують одержання більшої міцності [3].

Наприклад, міцність бетону з добавками ННК та ННХК при температурі 40–50 °С перевищує міцність контрольних зразків через 2–4 години в 4–12 разів. В зв'язку з цим рекомендується змінювати прийняті режими прогрівання, включаючи додатково період ізотермічного прогрівання при температурі біля 50 °С. Застосування двостадійної теплової обробки виробу з добавками ННХК та ННК дозволяє вирішити задачу підвищення довговічності бетону [9, 117].

Перевірка впливу добавки С-3 на тверднення бетонів при звичайній температурі та при прогріванні показала, що для всіх композицій, які випробовувались, характерне значне збільшення міцності бетонів з

добавкою при тепловій обробці, як в ранні терміни, так і в місячному віці. Причому в ранньому віці відносна величина приросту міцності більш значна, ніж в 28 добовому віці [58].

Прискорювачі тверднення, інтенсифікуючи процеси гідратації та позитивно діючи на формування структури цементного каменю, приводять до прискорення тверднення бетону, що витримується в природних умовах, а також до збільшення міцності бетону одразу після теплової обробки, а також у віці 28 діб. Це дозволяє зменшити терміни набору розпалубної міцності, зменшити тривалість теплової обробки бетону на 10–20 % при застосуванні високоалюмінатних цементів. За рахунок прискорення темпів тверднення бетону виникає можливість знизити витрату цементу [58, с. 78; 44; 47; 62; 73].

Хлорид кальцію як каталізатор прискорює гідратацію C_3S та C_2S . Вплив його як при нормальному твердненні, так і при прогріванні однаковий. Технологія прогрівання з добавкою хлористого кальцію змінюється. При оптимальному дозуванні добавки можна зменшувати наполовину час витримки виробів. Оптимальна температура прогрівання бетону на портландцементях зменшується на 10–15 °С. Максимальний ефект при використанні хлориду кальцію досягається в бетонах, отриманих із жорстких сумішей, а також в бетонах при короткому режимі пропарювання [58, С.77].

Добавки прискорювачі тверднення найбільш ефективні при таких режимах теплової обробки, для яких характерні не тривала попередня витримка, велика швидкість піднімання температури та короткочасний ізотермічний прогрів [36, С.16].

Застосування пластифікатно-повітровтягувальних та повітровтягувальних добавок, як правило, призводить до зниження міцності бетону та розчину, а особливо при їх твердненні в умовах теплової обробки. Але втрата міцності в значній мірі може компенсувати В/Ц відношення внаслідок пластифікуючого ефекту добавок, застосуванням добавок – прискорювачів тужавлення та тверднення цементного тіста, добавок, що підвищують міцність бетонів та розчинів при стисканні. Попереднє витримування перед термічною обробкою бетону з цими добавками також може частково зменшити втрату міцності бетону, що викликається добавками [58, С. 122].

Добавка поташу знижує міцність бетону як одразу після прогрівання, так і при наступному тужавленні. Це пояснюється тим, що поташ не прискорює тужавлення при прогріванні в температурному інтервалі від 80 до 100 °С [61].

Технологія пропарювання з добавкою хлористого кальцію змінюється. При оптимальному вмісті добавки можна зменшувати наполовину час витримки виробів. Оптимальна температура пропарювання

бетонів на портландцементях знижується на 10–15 °С. Максимальний ефект при використанні хлориду кальцію досягається в бетонах отриманих з жорстких сумішей, а також в бетонах при короткому режимі пропарюванні. Із збільшенням питомої поверхні цементу (понад 400 м²/кг) вплив хлориду кальцію знижується [72].

Оптимальний вміст хлориду кальцію в бетоні на портландцементі знаходиться в межах від 0,6 до 1,0 %. У роботі [58] наводяться дані про дослідження добавки-прискорювача ННХК при форсуванні режимів теплової обробки залізобетонних виробів і конструкцій за касетною і прокатною технологією в умовах нетривалої попередньої витримки, високої швидкості підйому температури і короткочасної ізотермічної витримки. Для того, щоб такий процес протікав без погіршення структури бетону і його фізико-механічних властивостей, добавка повинна забезпечити прогресивне прискорення зростання міцності бетону. Добавка ННХК показала високу ефективність. При форсованих режимах теплової обробки покращувалася структура бетону і зростала міцність виробів. Це досягається завдяки прискоренню процесів розчинення клінкерних мінералів і формуванню новоутворень в кристалічній зросток.

Підсумовуючи вище зазначене, можна зробити висновок, що не всі види добавок можна використовувати при тепловій обробці бетонної суміші. Але оскільки під час теплової обробки в бетоні протікають деструктивні процеси, які негативно відображаються на характеристиках міцності, довговічності та якості бетонних виробів, то такі хімічні добавки, як пластифікатори, прискорювачі тверднення та ущільнювачі, сприяючи швидкому зростанню міцності бетону, перешкоджають розвитку деструкції, яка зумовлена явищами тепло-масообміну, а також температурними напруженнями.

1.3 Вплив тиску на бетонну суміш з хімічними добавками

Пресування бетонних сумішей дозволяє одержувати вироби з низькою пористістю. В процесі пресування у виробі створюються стисненні умови, і формування новоутворень відбувається у відмінних умовах ніж за звичайних умов. Пресовані вироби мають високі фізико-механічні властивості.

Спосіб пресування полягає в ущільненні бетонної суміші з виділенням вільної води при об'ємному обтисканні виробів, що формуються

При розгляданні механізму пресування бетонної суміші пресуванням, найбільше значення мають вільна та капілярна вода, а також вода адсорбційних оболонок. При досягненні певного тиску тверді частки

бетонної суміші зближуються, в результаті чого частина плівкової води переходить у вільний стан та може бути віджата [49].

Додатковий приріст міцності пресованих бетонів забезпечується за рахунок формування більш якісної структури, а саме – за рахунок зменшення радіуса пор, видалення макродефектів контактної зони та дефектів, пов'язаних із седиментаційними процесами [6, 53].

Високі фізико-механічні властивості бетону забезпечуються також при термосилової технології, оснований на комплексному впливі зовнішнього тиску та нагрівання. При цьому бетон знаходиться під дією тиску та температури до набуття критичної міцності, здатної витримувати напруження, що виникає після зняття тиску [54, 55].

Про роль тиску в процесі гідратації і тверднення цементного тіста існують деякі протиріччя. Вченими було висунуто припущення, що внаслідок позитивного об'ємного ефекту гідратації клінкерних матеріалів стискання вихідних речовин зменшує енергію цих процесів і зміщує рівновагу в бік вихідних продуктів. Невелика поправка при розрахунку реакції потрібна лише при тиску біля 800 МПа, який в практиці не застосовується [7].

В процесі прикладання тиску цементна паста починає деформуватися, відбувається видалення залишкового повітря та зменшення об'єму пор, відбувається віджимання поверхневої води, кількість якої регулює вміст міжшарової води, та зумовлює деформації кристалічної решітки клінкерних мінералів, що при наявності мікротріщин додатково інтенсифікує диспергацію [96].

Як зазначалося вище, для ущільнення бетонної суміші під тиском необхідно, щоб відбулася рівномірна компресія цементного гелю, зумовлена відтисканням рідкої фази. Такий процес відбувається лише тоді, коли бетонній суміші попередньо надають задану форму та забезпечують рівномірне навантаження. Тому перед будь-яким пресування обов'язково бетонна суміш повинна ущільнюватися [11].

Оскільки цементний гель – це трифазна система, яка містить тверду, рідку та газоподібну фази, то при зближенні часток цементу сили взаємодії між ними зростають та одночасно активніше проявляються сили відштовхування. Подолання енергетичного бар'єра при компресії цементного гелю супроводжується адіабатичним стисканням газоподібної фази, тобто накопиченням внутрішньої потенціальної енергії, яка пропорційна квадрату прикладеного тиску [17, 49].

Якщо одразу після пресування зняти зовнішній тиск, тоді через деякий час остаточна об'ємна деформація зменшиться внаслідок пружності і структура цементного гелю розущільниться. І чим менше води замішування, тим більший негативний вплив на щільність та міцність запресованого цементного каменю [12, 37]. Якщо ж збільшити

кількість води замішування, то погіршиться міцність самого бетонного виробу. Виходом з цієї ситуації служить застосування хімічних добавок, а саме, пластифікаторів та суперпластифікаторів, які при мінімальному застосуванні води замішування збільшують рухомість бетонної суміші [8, 94, 104].

Позитивний вплив тривалої витримки тиску пресування полягає в тому, що в процесі тверднення цементного гелю локалізуються деструктивні явища від деформації усадки та зростає ущільнююча дія повзучості, рис. 1.3.

В цих умовах індукційний період формування структури цементного каменю буде супроводжуватися накопиченням зворотної потенціальної енергії. Внутрішні деформації створюють в структурі цементного каменю попередньо напружений стан стискання, що сприяє збільшенню його міцності [42, 49].

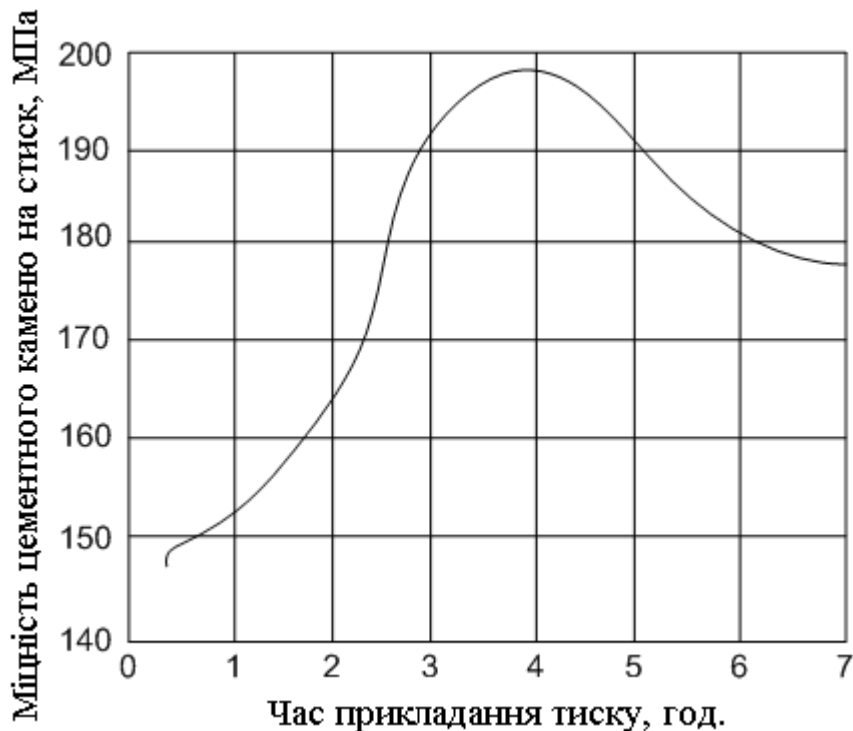


Рисунок 1.3 – Вплив часу прикладання тиску пресування на міцність цементного каменю [49]

Встановлення оптимального часу пресування, яке сприяє більш повному проявленню іонообмінного процесу, в поєднанні з високоякісним ущільненням, змінює характер тверднення та міцність цементного каменю. Зі збільшенням часу витримки об'ємна маса та міцність пресованого цементного каменю збільшується. Найбільша зміна цих

характеристик може бути отримана при певних поєднаннях тиску пресування та часу його витримки [11].

Поєднання двох таких факторів як температура та тиск дозволяє протягом короткого часу (0,2–1 год.) отримувати більш міцний цементний камінь в порівнянні з пресуванням при нормальних умовах [50, 96].

По мірі підвищення температури при пресуванні, спостерігається інтенсифікація процесів гідратування. Гелеподібні гідрати, деформуєчись під тиском, заповнюють порожнини в пористій структурі, виконуючи при цьому роль змащувача між частками цементу. Таким чином, дисперсна система додатково ущільнюється. В подальшому при накопиченні гелеподібних гідратів утворюються фазові перетворення первинних новоутворень та їх кристалізація. В результаті виникнення кристалізаційного тиску всередині виробу цементний камінь додатково ущільнюється [53, 63].

З підвищенням температури пресування частка зв'язаної води зменшується в 1,5 рази. Це пов'язано з утворенням менш зводнених форм гідратів, а також з випаровуванням частки зв'язаної води [96].

Проведені вченими дослідження з визначення оптимальної температури прогрівання при пресуванні показали, що найбільш доцільною температурою є температура, яка не перевищує 100 °С. Застосування більш високої температури призводить до зниження міцності бетону, оскільки бетон втрачає воду замішування на ранніх стадіях тужавлення [72].

С. А. Миронов зазначає, що при термосилової обробці з метою підвищення обігу форм доцільно застосовувати двостадійну теплову обробку. При цьому, первинна теплова обробка під тиском повинна проходити протягом 30–60 хв. при 100 °С, а вторинна при 80 °С протягом 4–6 год. Різниця між цими стадіями термосилової обробки повинна бути мінімальна [72, с. 272]. Але враховуючи те, що тривала обробка температурою призводить до значних економічних витрат, цю проблему можна вирішити додаванням до бетонної суміші хімічних добавок, що дозволить скоротити час обробки бетонної суміші, не погіршуючи якість вихідного продукту.

Вивченню таких двох факторів, як температура та тиск присвячено багато робіт. Зокрема, у Вінницькому національному технічному університеті такими питаннями займалися І. Н. Дудар, В. П. Загреба, Н. М. Слободян, В. В. Швець.

В роботі І. Н. Дударя «Термосилова технологія бетону» розглядається поєднання температури та тиску. Запропонована термосилова технологія бетону ґрунтується на узгодженому впливі зовнішнього тиску та нагрівання, в результаті чого відбувається формування структури бетону, а отже і його властивостей, в умовах створення пластичного деформування кристалічного каркасу цементного каменю [55, с. 6].

Автор зазначає, що термосиловий режим може бути високотемпературним та низькотемпературним. При застосуванні низькотемпературного режиму необхідно використовувати підвищені тиски. А високотемпературний режим приводить до прискорення фізико-хімічних процесів гідратації цементу і структуроутворення бетону.

Залежність величини тиску від температури бетону наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Залежність величини тиску пресування від середньої температури бетону і перепаду температур у виробі

Найменування параметрів	Середня температура бетону, °С										
	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Необхідна величина тиску $P_{прес} \times 10^{-1}$ МПа	1,42	2,02	2,78	3,77	5,0	6,48	8,30	0,46	3,02	6,02	9,83
Тиск насиченої пари $P_{н} \times 10^4$ МПа	1,01	1,43	1,98	2,70	3,61	4,76	6,18	7,92	0,03	2,55	5,55
Величина додаткового тиску через перепад температури $(T_6 - T) = 10$ °С	0,41	0,55	0,80	1,07	1,39	1,72	2,12	2,54	3,0	3,48	4,28

Взаємозв'язок параметрів тиску та температури при термосиловому впливі під час прогріву наведений на рис. 1.4 [55, с. 75].

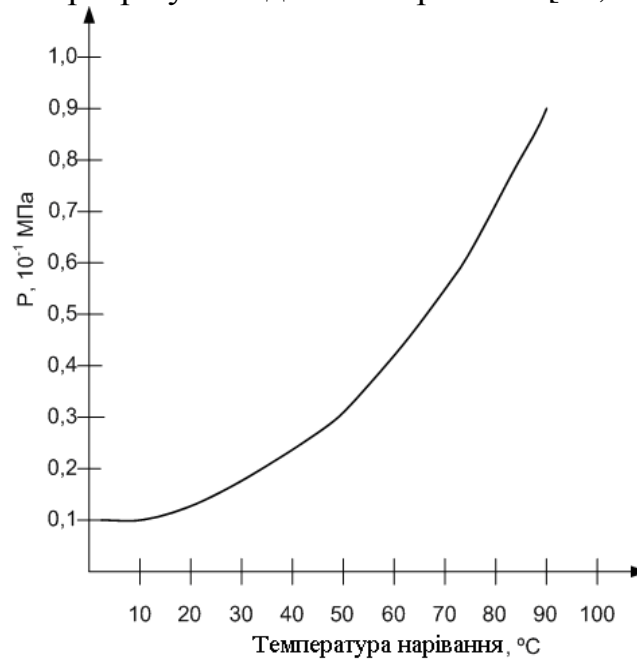


Рисунок 1.4 – Взаємозв'язок тиску P і температури T при термосиловому впливі

До недоліків цієї технології слід віднести підвищені енергетичні витрати, необхідність спеціальних термосилових форм чи установок, що забезпечують прикладання підвищеного тиску і температури. Така технологія найчастіше використовується при виробництві напірних труб в заводських умовах.

Вібротермосилова технологія виготовлення дрібнорозмірних бетонних виробів, яку розробив к. т. н. В. В. Швець, полягає в поєднанні повторної вібрації, тиску та температури.

Ця технологія ґрунтується на узгодженому комплексному впливі технологічних операцій попереднього та повторного вібрування бетонної суміші, стискання бетону і нагрівання в період тужавлення та тверднення, в результаті яких здійснюється формування структури бетону, а отже, і його властивостей, в період пластичного деформування кристалічного каркасу цементного каменю [124].

На думку автора, зміна інтенсивності операцій теплового та силового впливу при вібраційному термосиловому впливі, дозволяє регулювати і змінювати структуру та властивості бетону в потрібному напрямку. У свою чергу попереднє та повторне вібрування суттєво збільшує ефект термосилового впливу.

На рис. 1.5 наведений графік зміни тиску в бетоні в процесі вібраційного термосилового впливу [109, с. 21].

Така технологія дозволяє отримувати протягом робочої зміни виробу з міцністю, яка достатня для їх розпалублення, транспортування та використання за призначенням без тривалого висушування.

До недоліків цієї технології слід віднести малу продуктивність через тривалість обробки бетонних виробів. Для покращення продуктивності вібраційної термосилової технології необхідно збільшити кількість капіталовкладень для закупки додаткового обладнання, що є економічно не вигідним.

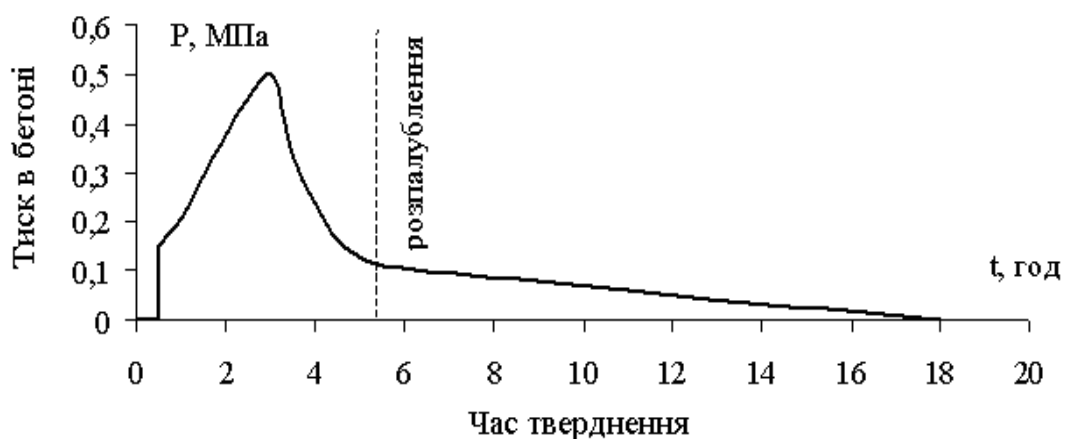


Рисунок 1.5 – Зміна тиску в бетоні в процесі вібраційного термосилового впливу та подальшого тверднення в нормальних умовах

Зменшити тривалість обробки бетонних виробів можна за рахунок введення хімічних добавок [48].

В роботі Н. М. Слободян «Вібросилова технологія формування декоративних бетонних виробів» проведено порівняння різних видів силового навантаження, наведені переваги та недоліки кожного з них. Автор вважає, що основними параметрами вібро-формування бетонних виробів є амплітуда і частота коливань, тиск привантаження на поверхні виробу та час на ущільнення суміші.

На рис. 1.6 наведено криві осідання поверхні суміші в залежності від величини привантаження.

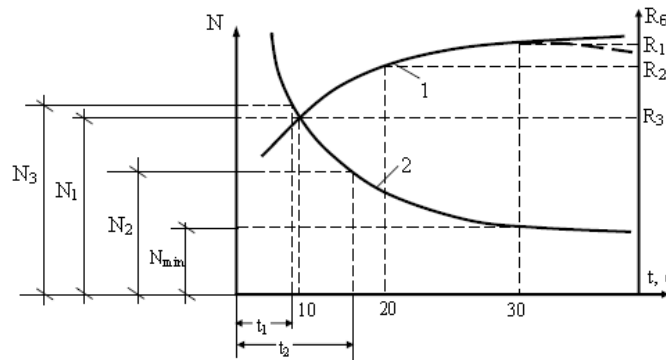


Рисунок 1.6 – Вплив часу ущільнення на міцність бетону (крива 1) та інтенсивність вібрації (крива 2)

За даними автора, застосування привантаження спільно з віброуванням значно прискорює процес ущільнення бетонної суміші, підвищує міцність бетону і покращує якість поверхні виробу.

Застосування лише одного вібропресування не дасть бажаного ефекту при формуванні бетонних виробів. Звичайно витіснення залишкової води з бетонної суміші покращує щільність бетонного виробу, але це не прискорює тривалість виготовлення бетонного виробу. До того ж ця технологія потребує додаткових витрат на придбання віброустановок. Така технологія має низку недоліків, одним з яких є неможливість одержати високі фізико-механічні властивості бетону.

За даними В. П. Загреби найбільшого ефекту при виробництві бетонних виробів можна досягти застосовуючи метод пульсуючого пресування [56]. Цей метод дозволяє зменшити зовнішнє тертя та досягти якнайповнішого упакування зерен заповнювача в одиниці об'єму. Це дозволяє сумістити операції з рівномірного розподілу бетонної суміші у формі і її примусового силового ущільнення, а також зберегти можливість тиксотропного розрідження і коагуляційного ущільнення цементного тіста.

На рис. 1.7 показаний графік залежності міцності бетону від величини тиску пресування при пульсуючому пресуванні [56, с. 28].

ЛІТЕРАТУРА

1. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Наука, 1976. – 280 с.
2. Ареф'єва М. Г. Використання добавок до бетонів і розчинів на КВП ВАТ «Київметробуд» / М. Г. Ареф'єва, В. Б. Барановський // Бетон и железобетон в Украине. – 2005. – № 5. – С. 15–16.
3. Афанасьев Н. Ф. Добавки в бетоны и растворы / Н. Ф. Афанасьев, М. К. Целуйко. – К. : Будивэльнык, 1989. – 128 с.
4. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. – М. : Стройиздат, 1981. – 464 с.
5. Бабаєвська Т. Н. Бетони на цементах, модифікованих комплексною добавкою : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / Тетяна Вікторівна Бабаєвська. – Одеса, 2003. – 17 с.
6. Бабій І. М. Механоактивовані цементні суспензії та бетони на їх основі: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / І. М. Бабій. – Одеса, 2002. – 19 с.
7. Бабич Є. М. Тривало пресований бетон : монографія / Є. М. Бабич. – Рівне : Видавництво УДУВГП, 2003. – 126 с.
8. Бабушкин В. И. Роль коллоидно-химических и осмотических явлений в процессах структурообразования, формирования свойств и обеспечения стойкости цементных систем / В. И. Бабушкин, В. И. Кондратенко // Бетон и железобетон в Украине. – 2007. – № 3. – С. 22–26.
9. Баженов Ю. М. Модифицированные высокопрочные бетоны / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 368 с.
10. Баженов Ю. М. Современная технология бетона / Ю.М. Баженов // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2010. – № 36. – С. 10–17.
11. Баженов Ю.М. Технология бетона : учебник / Ю. М. Баженов. – М. : АСВ, 2002. – 500 с.
12. Берг О. Я. Высокопрочный бетон / О. Я. Берг, Е. Н. Щербаков, Г. Н. Писанко. – М. : Издательство литературы по строительству, 1971. – 208 с.

13. Бетоны. Методы определения водопоглощения : ГОСТ 12730.3-78 – Введ. 1978-12-01. – М. : Государственный комитет СССР по делам строительства, 1980. – 3 с. – (Межгосударственный стандарт).
14. Бетоны. Методы определения истираемости : ГОСТ 13087-81. – Введ. 1982-01-01. – М. : Государственный комитет СССР по делам строительства, 1982. – 5 с. – (Межгосударственный стандарт).
15. Бетоны. Методы определения показателей пористости: ГОСТ 12730.4-78. – Введ. 1980-01-01. – М. : Стандартиформ, 2007. – 6 с. – (Межгосударственный стандарт).
16. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-90. – Введ. 1991-01-01. – М. : Стандартиформ, 1991. – 30 с. – (Межгосударственный стандарт).
17. Болотских О. Н. Самоуплотняющийся бетон и его диагностика / О. Н. Болотских // Бетон и железобетон в Украине. – 2006. – № 6. – С. 2–7.
18. Будівельне матеріалознавство : підруч. / [Пушкарбова К. К., Барановський В. Б., Кочевих М. О. та ін.]; за ред. П. В. Кривенка. – К. : ЕксОб, 2006. – 704 с.
19. Будівельне матеріалознавство: Цементи, бетони і розчини : навч. посіб. / Дворкін О. Л., Бордюженко О. М., Гарніцький Ю. В., Житковський В. В.]; за ред. Л. Й. Дворкіна. – Рівне : НУВГП, 2006. – 225 с.
20. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості: ДСТУ Б В.2.7-47-96. – Чинний від 1997-04-01. – К. : Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 9 с. – (Державний стандарт України).
21. Будівельні матеріали. Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні : ДСТУ Б В.2.7-49-96. – Чинний від 1997-04-01. – К. : Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 5 с. – (Державний стандарт України).
22. Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Класифікація : ДСТУ Б В.2.7-65-97. – Чинний від 1997-12-30. – К. : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. – 12 с. – (Державний стандарт України).
23. Будівельні матеріали. Добавки до бетонів. Методи визначення ефективності : ДСТУ Б В.2.7-69-98. – Чинний від 1999-01-01. – К. : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1998. – 39 с. – (Державний стандарт України).

24. Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7-32-95. – Чинний від 1995-10-31. – К. : Держкоммістобудування України, 1996. – 13 с. – (Державний стандарт України).

25. Будівельні матеріали. Правила застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах : ДБН В.2.7-64-97. – Чинний від 1998-04-01. – К. : Держбуд України, 1999. – 63 с. – (Державні будівельні норми України).

26. Будівельні матеріали. Суміші бетонні. Методи випробувань : ДСТУ Б В.2.7-114-2002. – Чинний від 2002-01-31. – К. : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2002. – 25 с. – (Державний стандарт України).

27. Будівельні матеріали. Цементи. Загальні технічні умови : ДСТУ Б В.2.7-112-2002. – Чинний від 2002-01-31. – К. : Держбуд України, 2002. – 36 с. – (Державний стандарт України).

28. Вергун О. О. Реологічні властивості бетонних сумішей та фізико-механічні характеристики важкого бетону з модифікованим плавом дикарбованих кислот : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / Оксана Олександрівна Вергун. – Дніпропетровськ, 2006. – 20 с.

29. Верстов В. В. Ускорение набора прочности бетона при комбинированном термовакuumном воздействии / В. В. Верстов, Г. М. Бадьин, Д. В. Заренков // Бетон и железобетон в Украине. – 2008. – № 4. – С. 13–18.

30. Визначення економічної ефективності впровадження хіміко-термосилового впливу в технології виробництва бетонних виробів: *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.

31. Вода для бетонов и растворов. Технические условия: ГОСТ 23732-79 – Введ. 1980-01-01. – М. : Государственный комитет СССР по делам строительства, 1980. – 2 с. – (Межгосударственный стандарт).

32. Возняк О. Т. Основи наукових досліджень у будівництві: навчальний посібник / О. Т. Возняк, В. М. Желих. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 176 с.

33. Гарнага В. Л. Дослідження фізико-механічних властивостей бетону, виготовленого з термосиловим впливом з використанням хі-

мічних добавок / В. Л. Гарнага // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 2. – С. 24–27.

34. Гарнага В. Л. Оптимізація міцності бетону з пластифікатором УПБ-М(НФ) виготовленого під дією термосилового впливу / В. Л. Гарнага // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : науково-технічний збірник – 2010. – № 1. – С.45–48.

35. Гах Н. Д. Дорожній цементобетон підвищеної тріщиностійкості та довговічності : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / Наталія Дмитрівна Гах. – К., 2000. – 20 с.

36. Грапп В. Б. Применение химических добавок для интенсификации процесса производства и повышения качества бетона и железобетона / В. Б. Грапп, В. Б. Ратинов. – Рига : ЛатНИИТИ, 1979. – 38 с.

37. Грушко И. М. Повышение прочности и выносливости бетона / И. М. Грушко, А. Г. Ильин, Э. Д. Чихладзе – Х. : Вища шк. изд-во Харьк. ун-та, 1986. – 152 с.

38. Дворкин Л. И. Влияние добавок-ускорителей на свойства вибропрессованного бетона / Л. И. Дворкин, В. В. Житковский // Бетон и железобетон в Украине. – 2006. – № 5. – С. 12–15.

39. Дворкин Л. И. Исследование влияния пластифицирующих добавок на свойства дисперсно-армированного пенобетона / Л. И. Дворкин, О. М. Бордюженко // Бетон и железобетон в Украине. – 2009. – № 4. – С. 2–7.

40. Дворкин Л. И. Методические рекомендации по расчету составов цементных бетонов разных видов / Л. И. Дворкин, Ю. В. Гарницкий, О. М. Бордюженко, В. В. Житковский // Бетон и железобетон в Украине. – 2005. – № 4. – С. 2–7.

41. Дворкин Л. И. Основы бетоноведения / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – СПб. : СБ, 2006. – 692 с.

42. Дворкін Л. Й. Структурутворення вібропресованого бетону з дисперсним гранітним наповнювачем / Л. Й. Дворкін, В. В. Житковський // Бетон и железобетон в Украине. – 2008. – № 4. – С. 2–5.

43. Дворкин О. Л. Проектирование составов бетона. (Основы теории и методологии) : монография / Олег Леонидович Дворкин. – Ровно : УДУВГП, 2003. – 265 с.

44. Добавки в бетон. Справочное пособие / пер. с англ. Т. И. Розенберг, С. А. Болдырева; под. ред. А. С. Болдырева, В. Б. Рапинова. – М. : Стройиздат, 1988. – 575 с.
45. Донилов А. С. Особенности выбора химических добавок для электропрогрева бетона / А. С. Донилов // Бетон и железобетон в Украине. – 2008. – №3. – С. 13–16.
46. Дорофеев В. Д. Инновационный менеджмент : учеб. пособие / В. Д. Дорофеев, В. А. Дресвянников. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 189 с.
47. Дослідження ролі хімічних добавок при термосиловому впливі: *Materialy IV międzynarodowej naukowe-praktycznej konferencji “Perspektywiczne opracowania nauki i techniki – 2008”*; (Przemysł, 7–15 listopada 2008 r.) / Sp. z o.o. “Nauka i Studia”. – Przemysł. : Nauka i Studia, 2008. – С. 33–36.
48. Дудар І. Н. 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 : науково-технічний збірник. – 2009. – № 1. – С. 19–22.
49. Дудар І. Н. Дослідження процесу пресування бетонних сумішей / І. Н. Дудар, В. Л. Дмитренко // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – № 2. – С. 1–6.
50. Дудар І. Н. Дослідження процесу тверднення вібропресованого бетону / І. Н. Дудар, В. Л. Дмитренко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : науково-технічний збірник. – 2007. – № 4. – С. 49–53.
51. Дудар І. Н. Дослідження режимів охолодження виробів із вібропресованого бетону / І. Н. Дудар, В. Л. Дмитренко // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – № 1. – С. 1–6.
52. Дудар І. Н. Розробка методів дослідження структуроутворення бетону в умовах термосилових впливів / І.Н. Дудар, В.Л. Дмитренко // Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». – 2008. – № 5. – С. 28–32.
53. Дудар І.Н. Тверднення цементного каменю під тиском / І. Н.Дудар, В. Л. Дмитренко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : науково-технічний збірник. – 2007. – № 4. – С. 69–74.

54. Дудар І. Н. Теоретичні основи технологій виробів із пресованих бетонів : монографія / Ігор Никифорович Дудар. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 89 с.
55. Дудар І.Н. Термосилова технологія бетону: монографія / Ігор Никифорович Дудар. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. – 146 с.
56. Зайченко М. М. Високоміцні тонкозернисті бетони з комплексною модифікованою мікроструктурою : автореф. дис. док. техн. наук : 05.23.05 / Микола Миколайович Зайченко, – Макіївка, 2009. – 34 с.
57. Закон України Про інвестиційну діяльність / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Закони України, 1996, С. 173–181.
58. Изотов В. С. Химические добавки для модификации бетона : монография / В. С. Изотов, Ю. А. Соколова. – М. : Палеотип, 2006. – 244 с.
59. Инновационный менеджмент. Концепции, многоуровневые стратегии и механизмы инновационного развития : учеб. пособие / под ред. В. М. Аньшина, А. А. Дагаева. – 3-е изд., перераб., доп. – М. : Дело, 2007. – 584 с.
60. Калий углекислый технический. Технические условия : ГОСТ 10690-73. – Введ. с 1975-01-01. – М. : Стандартиформ, 2006. – 24 с. – (Межгосударственный стандарт).
61. Касторных Л. И. Добавки в бетоны и растворы : учебно-справочное пособие / Л. И. Касторных. – 2-е изд. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 221 с.
62. Комохов П. Г. Модифицированный цементный бетон, структура и свойства / П. Г. Комохов, Н. Н. Шангина // Цемент. – 2002. – № 1–2. – С. 43–46.
63. Костюк Т. А. Принципы формирования плотной структуры цементного камня / Т. А. Костюк, Е. В. Кондращенко // Бетон и железобетон в Украине. – 2007. – № 3. – С. 29–32.
64. Кривенко П. В. Модифицированный шлакопортландцемент с пониженным содержанием клинкерной составляющей / П. В. Кривенко, О. Н. Петропавловский, А. Г. Гелевера // Бетон и железобетон в Украине. – 2006. – № 5. – С. 16–19.
65. Курбатова И. И. Химия гидратации портландцемента / Ирина Ивановна Курбатова. – М. : Стройиздат, 1977. – 159 с.

66. Кучеренко А. А. О механизме пластификации бетонных смесей / А. А. Кучеренко // Бетон и железобетон в Украине. – 2008. – № 4. – С. 5–9.
67. Кучеренко А. А. О модификации компонентов, их смеси и бетона / А. А. Кучеренко, Л. И. Демарский, Б. А. Родин, В. Т. Чепелев // Бетон и железобетон в Украине. – 2006. – № 5. – С. 29–32.
68. Кучеренко А. А. Теоретический расчет системы „Лигносульфонат – вода затворения” / А. А. Кучеренко, Е. А. Долобанько // Бетон и железобетон в Украине. – 2009. – № 3. – С. 22–27.
69. Левшина Е. С. Электрические измерения физических величин: (Измерительные преобразователи) : учеб. пособие для вузов / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинград. отделение, 1983. – 320 с.
70. Лукьяненко В. В. Влияние химических добавок на свойства бетонов на некондиционных заполнителях / В. В. Лукьяненко, Н. В. Костина, А. А. Кадаев, К. В. Киреев // Бетон и железобетон в Украине. – 2010. – № 1. – С. 13–17.
71. Мартин П. Управление проектами / П. Мартин, К. Кейт ; – СПб. : Питер, 2006. 224 с. – (Серия «Практика менеджмента»).
72. Миронов С. А. Ускорение твердения бетонов / С. А. Миронов, Л. А. Малинина. – М.: Издательство литературы по строительству, 1964. – 347 с.
73. Мороз В. С. Використання сучасних пластифікаторів в дорожньому бетоні / В. С. Мороз, Р. О. Грінченко // Бетон и железобетон в Украине. – 2007. – № 5. – С. 12–13
74. Наказ №218/446. Методика визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво : від 26.09.2001 / Міністерство економіки та з питань європейської інтеграції та Міністерство фінансів України. – Офіц. вид. – К. : Парлам. вид-во, 2001, 20 с.
75. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л. : Энергоатомиздат, 1985. – 114 с.
76. Носков А. С. Использование современных химических добавок при проектировании составов конструкционного полистиролбетона / А. С. Носков, В. П. Филиппов, В. А. Беляков // Бетон и железобетон в Украине. – 2005. – № 4. – С. 8–13.

77. Основин В. Н. Справочник по строительным материалам и изделиям / В. Н. Основин, Л. В. Шуляков, Д. С. Дубяго. – 3-е изд. – Ростов н/Д : Феникс, 2006. – 441 с.
78. Павлюк В. В. Модифіковані композиційні цементы для виконання робіт в зимових умовах / В. В. Павлюк, Л. В. Терещенко, К. В. Бондар // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2010. – № 38. – С. 28–32.
79. Пат. 43678 Україна, МПК(2009) В28В 1/08. Спосіб виготовлення бетонних виробів / Дудар І. Н., Швець В. В., Гарнага В. Л.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № и 2009 03276 ; заявл. 06.04.2009 ; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16.
80. Подгорнов Н. И. Термообработка бетона с использованием солнечной энергии / Н. И. Подгорнов. – М. : Издательство АСВ, 2010. – 328 с.
81. Попов Ю. А. Энергосберегающие управляемые режимы тепловой обработки бетона / Ю. А. Попов, В. В. Молодин, Ю. В. Лунев, А. С. Суханов // Бетон и железобетон в Украине. – 2007. – № 6. – С. 7–10.
82. Проектування і аналіз ефективності складів бетону : монографія / Дворкін О. Л., Дворкін Л. Й., Горячих М. В., Шмигальський В. Н. – Рівне : НУВГП, 2009. – 173 с.
83. Ратинов В. Б. Добавки в бетон / В. Б. Ратинов, Т. И. Розенберг. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1989. – 188 с.
84. Решетнік Л. М. Модифікування мікроструктури цементного каменю в бетоні комплексними хімічними добавками : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / Лариса Миколаївна Решетнік, – Харків, 2006. – 22 с.
85. Рыбьев И. А. Строительное материаловедение: учеб. пособие для строит. спец. вузов / И. А. Рыбьев. – 2-е изд. – М. : Высш. шк., 2004. – 701 с.
86. Руденко І. І. Добавки комплексної дії для лужних бетонів / І. І. Руденко, А. О. Гергало, В. В. Скорик // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2010. – № 38. – С. 38–44.
87. Сватовская Л. Б. Активированное твердение цементов / Л. Б. Сватовская, М. М. Сычев. – Л. : Стройиздат, 1983. – 160 с.

88. Сергиенко А. П. Применение суперпластификатора «ПОЛИПЛАСТ СП-1» в летнее время / А. П. Сергиенко // Бетон и железобетон в Украине. – 2006. – № 2. – С. 24–26.
89. Сердюк В. Р. Вплив теплових та вологісних режимів на процесі твердіння бетонів / В. Р. Сердюк // Бетон и железобетон в Украине. – 2009. – № 1. – С. 7–12.
90. Серебряков А. Н. Комплексная химическая добавка для зимнего строительства «КРИОПЛАСТ СП15-1» / А. Н. Серебряков // Бетон и железобетон в Украине. – 2006. – № 1. – С. 15–17.
91. Серия «Строитель». Бетоны. Материалы. Технологии. Оборудование. – М. : Стройинформ, Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 424 с.
92. Синайко Н. П. Добавки системи РЕЛАКСОЛ в сучасному будівництві / Н. П. Синайко, Т. В. Бабаєвська, А. Л. Гладун // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2010. – № 37. – С. 20–23.
93. Синайко Н. П. Новые бетоны самоуплотняющегося типа. Добавки RELANORM и средства испытаний / Н. П. Синайко, Т. В. Бабаевская, А. Л. Гладун // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2011. – № 39. – С. 95–101.
94. Слободянюк С. А. Метод начальных параметров виброползучести бетона / С. А. Слободянюк, А. П. Буратинский // Бетон и железобетон в Украине. – 2010. – № 5. – С. 6–8.
95. Соловьев В. И. Бетоны с гидрофобизирующими добавками / В. И. Соловьев. – Алма-Ата : Наука, 1990. – 112 с.
96. Теория цемента / под. ред. А. А. Пашенко. – К. : Будівельник, 1991. – 168 с.
97. Терещенко Т. А. Полимеры в технологии модифицированного цементобетона / Т. А. Терещенко // Бетон и железобетон в Украине. – 2007. – № 4. – С. 14–19.
98. Ткаченко И. Ю. Инвестиции : учеб. пособие для вузов / И. Ю. Ткаченко, Н. И. Малых. – М. : Академия, 2009. – 240 с.
99. Троян В. В. Дослідження факторів довговічності цементного каменю, пластифікованого суперпластифікаторами полікарбонатного типу / В. В. Троян, В. В. Осипенко, С. В. Терещенко // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2011. – № 39. – С. 109–114.
100. Управление инновационными проектами : учеб. пособие / под ред. проф. В. Л. Попова. – М. : ИНФРА-М, 2009. — 336 с.

101. Уяпов У. А. Твердение вяжущих с добавками-интенсификаторами / У. А. Уяпов, Ю. М. Бутт. – Алма-Ата : Наука, 1978. – 256 с.
102. Фаликман В. Р. Новое поколение суперпластификаторов / В. Р. Фаликман // Бетон и железобетон. – 2000. – № 5. – С. 6–7.
103. Фатхутдинов Р. А. Инновационный менеджмент : учеб. пособие / Р. А. Фатхутдинов. – СПб.: Питер, 2003. – 400 с. – (Серия «Учебники для вузов»).
104. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня / [В. И. Чих, М. А. Саницкий, Х. С. Соболев, С. К. Мельник] ; под. ред. Л. Г. Шпыновой. – Львов : Вища школа, 1981. – 160 с.
105. Хигерович М. И. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов / М. И. Хигерович, В. Е. Байер. – М. : Стройиздат, 1979. – 126 с.
106. Химические и минеральные добавки в бетон / под ред. О. В. Ушерова-Маршака. – Х. : Колорит, 2005. – 280 с.
107. Чемерис М. М. Бетони з комплексними модифікаторами пластифікуючи-прискорюючої дії : автореф. дис. я канд. техн. наук : 05.23.05 / Мирослав Миколайович Чемерис. – Львів, 2006. – 19 с.
108. Чистяков В. В. Вплив комплексної добавки на особливості твердіння і властивості цементобетону для покриття доріг / В. В. Чистяков, А. Г. Шургая, Ю. М. Дорошенко, Н. П. Чиженко, В. П. Сербін, Я. О. Дулевич // Будівельні матеріали, виробни та санітарна техніка. – 2011. – № 39. – С. 122–126.
109. Швець В. В. Вібротермосилова технологія залізобетонних виробів і конструкцій : монографія / В. В. Швець, І. Н. Дудар. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 87 с.
110. Шилюк П. С. Пластифіковані товарні бетонні суміші і бетони на основі пуццоланових цементів : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / Петро Степанович Шилюк. – К., 2006. – 19 с.
111. Pat. 3,287,145 USA. Chemical admixture for hydraulic cementitious mixtures / Herman Christian Fischer; assignor, by mesne assignments, to Union Carbide Corporation. – № 478,756; Aug. 10, 1965; patented Nov. 22, 1966.
112. Pat. 3,895,953 USA. Admixtures for reducing slump loss in hydraulic cement concretes / Povindar K. Mehta; assignee The Regents of the

University of California. – № 432,514; Jan. 11, 1974; patented July 22, 1975.

113. Pat. 4,052,220 USA. Method of making an improved concrete / Raymond C. Turpin, Jr.; assignee The Partners Limited. – № 612,138; Sept. 10, 1975; patented Oct. 4, 1977.

114. Pat. 4,109,033 USA. Process for impregnating concrete with polymers / Paul R. Blankenhorn. – № 768,022; Feb. 14, 1977; patented Aug. 22, 1978.

115. Pat. 4,137,210 USA. Method of cold-shaping of mixtures comprising poly[2.2.1]bicyclo-2-heptene or its short-chain / Claude Stein; assignee Societe Chimique des Charbonnages. – № 857,836; Dec. 5, 1977; patented Jan. 30, 1979.

116. Pat. 4,818,288 USA. Dispersant for concrete mixtures of high salt content / Alois Aignesberger; assignee SKW Trostberg Aktiengesellschaft. – № 195,425; May. 11, 1988; patented Apr. 4, 1989.

117. Pat. 5,120,367 USA. Concrete admixture device and method of using same / Dwight Smith, Jack L. Edwards; assignee Fritz Chemical Company. – № 592,568; Oct. 4, 1990; patented Jun. 9, 1992.

118. Pat. 5,122,554 USA. Enhanced polymer concrete composition / William C. Allen; assignee Union Oil Company of California. – № 458,988; Dec. 29, 1989; patented Jun. 16, 1992.

119. Pat. 5,203,629 USA. Method for modifying concrete properties / Stephen A. Valle, John E. Sorenson, Robert C. Hegger, Walter W. Wydra; assignee W.R. Grace & Co.-Conn. – № 683,214; Apr. 10, 1991; patented Apr. 20, 1993.

120. Pat. 5,223,036 USA. Additive composition for cement admixture / Hideo Koyata, Tomoyuki Tsutsumi; assignee W.R. Grace & Co.-Conn. – № 804,874; Dec. 6, 1991; patented Jun. 29, 1993.

121. Pat. 5,224,774 USA. Concrete additive product and method of use / Stephen A. Valle, John E. Sorenson, Robert C. Hegger, Walter W. Wydra; assignee W.R. Grace & Co.-Conn. – № 563,580; Aug. 7, 1990; patented Jul. 6, 1993.

122. Pat. 5,296,028 USA. Antifreeze admixture for concrete / Charles J. Korhonen, Edel R. Cortez; assignee The United States of America as represented by the Secretary of the Army. – № 59,395; May 11, 1993; patented Mar. 22, 1994.

123. Pat. 6,238,475 B1 USA. Ammoxodized lignosulfonate cement dispersant / Jerry D. Gargulak, Lori L. Bushar, Ashoke K. Sengupta; assignee

nee Ligno Tech USA, Inc. – № 09/296,093; Apr. 21, 1999; patented May. 29, 2001.

124. Pat. 6,352,952 B1 USA. Admixture and method for optimizing addition of eo/po superplasticizer to concrete containing smectite clay-containing aggregates / Leslie A. Jardine, Hideo Koyata, Kevin J. Folliard, Chia-Chih Ou, Felek Jachimowicz, Byong-Wa Chun, Ara A Jeknavorian, Christon L. Hill; assignee W.R. Grace & Co.-Conn. – № 09/446,590; Jun. 19, 1998; patented Mar. 5, 2002.

125. Pat. 6,482,258 B2 USA. Fly ash composition for use in concrete mix / Robert William Styron; assignee Mineral Resource Technologies. – № 09/888,691; Jun. 25, 2001; patented Nov. 19, 2002.

126. Pat. 2004/0072928 USA. Retarding admixture for concrete / Donald R. Lane, Jose A. Melendez; assignee Tomahavk, Inc. – № 10/269,764; Oct. 15, 2002; patented Apr. 15, 2004.

127. Pat. 2004/0118324 USA. Cement admixture having superior water-reducing properties and method for preparing the same / Byeong-Gil Choi, Dong-Kyu Kang, Kwang-Myung Park, Jong-Keun Song, Chan-Young Lee, Hee-Bong Song, Chang-Yeob Lee, Dong-Duck No, Dae-Joong Kim; assignee LG CHEM, LTD. – № 10/732,496; Dec. 10, 2003; patented Jun. 24, 2004.

128. Pat. 2006/0180052 A1 USA. Chemical admixture for cementitious compositions / Semyon A. Shimanovich; assignee Original Concrete Company. – № 11/283,561; Nov. 18, 2005; patented Aug. 17, 2006.

129. Pat. 7,312,291 B2 USA. Concrete admixture additive / Theresa Tsai; assignee Taiwan Gwan Chian Industrial Co. Ltd. – № 804,874; Sep. 4, 2003; patented Dec. 25, 2007.

130. Pat. 2008/0153942 A1 US. Composition for polymeric concrete / Nicolas Fernando Tejada Juarez; assignee Roylance, Abrams, Berdo&Goodman, L.L.P. – № 11/950,466; Dec. 5, 2007; patented Jun. 26, 2008.

131. Pat. 2009/0234046 USA. Concrete and mortar admixture / Tatsuo Izumi, Carsten Zanders, Marion Jansen-Bockting, Stefan Dikty; assignee The Nath Law Group. – № 11/921,184; Apr. 27, 2006; patented Sep. 17, 2009.

Наукове видання

**Гарнага Вікторія Леонідівна
Дудар Ігор Никифорович**

**ХІМІКО-ТЕРМОСИЛОВА ТЕХНОЛОГІЯ
ДРІБНОРОЗМІРНИХ БЕТОННИХ ВИРОБІВ**

Монографія

Редактор С. Малішевська
Оригінал-макет підготовлено В. Гарнагою

Підписано до друку 23.09.2013 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 6,01
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) Зам № 09-02

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.
21021, м. Вінниця, вул. Порики, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.