

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

І. В. Коц, О. П. Колісник

**ТЕПЛОВОЛОГІСНА ОБРОБКА
БЕТОННИХ ВИРОБІВ
З ВИКОРИСТАННЯМ
АЕРОДИНАМІЧНОГО НАГРІВАННЯ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2013

УДК 666.97.035.56:621.186.1

ББК 38.626.3

К 75

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 3 від 25 жовтня 2012 р.)

Рецензенти:

І. П. Гамеляк, доктор технічних наук, професор

І. Н. Дудар, доктор технічних наук, професор

Коц, І. В.

К 75 Тепловологісна обробка бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагрівання : монографія / І. В. Коц, О. П. Колісник. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 100 с.

ISBN 978-966-641-509-0

В монографії розглянуто питання ресурсозбереження під час тепловологісної обробки бетонних виробів в пропарювальних камерах з використанням аеродинамічного нагрівання. Запропоновано нові конструктивні вирішення обладнання для здійснення технологічного процесу тепловологісної обробки. Запропоновані математичні моделі процесів тепломасообміну під час тепловологісної обробки з використанням аеродинамічного нагрівання. Наведені аналітичні залежності, які можна застосовувати при виконанні проектних розрахунків параметрів конструкцій аналогічного обладнання та при виборі раціональних режимів їх функціонування.

УДК 666.97.035.56:621.186.1

ББК 38.626.3

ISBN 978-966-641-509-0

© І. Коц, О. Колісник, 2013

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ	7
1.1 Сучасний стан технології та дослідження в галузі тепловологісної обробки бетонних виробів	7
1.1.1 Способи для прискорення тверднення бетонних виробів	7
1.1.2 Обладнання для тепловологісної обробки (ТВО) бетонних виробів.	8
1.1.3 Гідратація цементу в бетонних виробках.	13
1.1.4 Режими тепловологісної обробки.	20
1.1.5 Тепломасообмінні процеси тепловологісної обробки. ...	28
1.2 Аналіз конструктивних вирішень теплогенераторів аеродинамічного типу.	35
2 АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕПЛОВОЛОГІСНОЇ ОБРОБКИ З ВИКОРИСТАННЯМ АЕРОДИНАМІЧНОГО НАГРІВАННЯ ..	42
2.1 Обґрунтування генерації теплової енергії в установках із аеродинамічним нагрівачем роторного типу.	42
2.1.1 Аналіз балансу енергії при генерації тепла в робочому колесі.	42
2.1.2 Фізична природа генерації тепла в робочому колесі.	47
2.2 Принципові та конструктивні схеми виконання обладнання для тепловологісної обробки.	49
2.3 Вибір об'єкта дослідження.	54
3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТЕПЛОВОЛОГІСНОЇ ОБРОБКИ БЕТОННИХ ВИРОБІВ В ПРОПАРЮВАЛЬНІЙ КАМЕРІ З АЕРОДИНАМІ- ЧНИМ НАГРІВАННЯМ	56
3.1 Основні обмеження і припущення математичної моделі процесу тепловологісної обробки.	56
3.2 Математичне моделювання процесів, що відбуваються у виробках.	58
3.2.1 Математична модель процесів тепломасообміну у виробках.	58
3.2.2 Математична модель гідратації цементу.	63

3.3	Матеріальний баланс пароповітряного середовища пропарювальної камери.	70
3.4	Енергетичний баланс пароповітряного середовища пропарювальної камери.	71
3.5	Ексергетичний баланс пароповітряного середовища пропарювальної камери.	73
4	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОВОЛОГІСНОЇ ОБРОБКИ БЕТОННИХ ВИРОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АЕРОДИНАМІЧНОГО НАГРІВАННЯ .	77
4.1	Методика і програма досліджень.	77
4.2	Експериментальні стенди, обладнання та апаратура	80
4.3	Характеристика використовуваних матеріалів.	85
4.4	Планування багатофакторного експерименту та параметрична оптимізація значень величин міцності бетону. . . .	86
	ВИСНОВКИ	93
	ЛІТЕРАТУРА.	94

ВСТУП

При виготовленні будівельних виробів теплова обробка є одним з найбільш енергоємних етапів, при якій споживається близько 60 % від загальної кількості енерговитрат. Теоретично на нагрів виробу із бетону і металоформ необхідно всього лише 10–15 % теплової енергії, а решта, що витрачається за відомими технологіями, – заплановані і незаплановані втрати, які досягають майже 50 % від загальної кількості енерговитрат. Сучасний стан устаткування підприємств з виготовлення будівельних виробів, зокрема із бетону, потребує проведення подальшої реконструкції і модернізації виробництва з метою збільшення асортименту та якості, а також зниження собівартості продукції в умовах сучасного ринку. При цьому енергетична ефективність нових технологій та ефективна система управління процесом повинні бути одними з головних критеріїв їх вибору.

Енергетична ефективність є одним із основних критеріїв технології виробництва будівельних виробів разом з такими показниками, як собівартість, трудомісткість, матеріаломісткість, а також питомі капіталовкладення. Саме тому останнім часом використовують домішки, які прискорюють тверднення будівельних виробів. Використання даних домішок дозволяє виготовляти будівельні вироби без тепловологісної обробки, але залишається низка будівельних виробів, які потребують обробки при підвищених температурі і тиску. Тверднення бетонних і залізобетонних виробів на заводах при звичайній температурі (15–20 °С) є нераціональним, оскільки час тверднення бетону досить тривалий (тривалість тверднення бетону становить близько 28 діб). Це зменшує оборотність форм, відповідно збільшує металоємність виробництва за рахунок збільшення парку форм, затримує випуск готової продукції.

Російський вчений К. Д. Хрущов в кінці XIX ст., вперше, запропонував технологію виготовлення автоклавних матеріалів при достатньо високій температурі пари і при досить високому тиску. В результаті проведених досліджень відомих вітчизняних та зарубіжних дослідників було з'ясовано, що в наш час тепловологісна обробка будівельних матеріалів здійснюється в установках, які мають різні конструктивні особливості. Конструктивне виконання розглянутих установок потребує великих витрат на влаштування допоміжного обладнання (котель-

ні і комунікації). Зважаючи на великі витрати на влаштування допоміжного обладнання доцільно замінити котельню і комунікації на джерело пароутворення безпосередньо в установці.

Готовність бетонних виробів, їх якість та собівартість продукції залежать, головним чином, від технології виконання процесу тепловологісної обробки. Альтернативою розглянутим технологіям може стати застосування новітньої технології аеродинамічного нагрівання. Згідно запропонованою технологією основний теплогенеруючий пристрій – аеродинамічний нагрівач роторного типу (АНРТ) здійснює безперервну рециркуляцію повітряного потоку. При русі якого, внаслідок аеродинамічних втрат, відбувається постійний нагрів повітряного середовища у замкненому просторі теплоізольованої робочої камери. Нагрівальні установки з АНРТ не потребують рідкого або газоподібного палива та високовартісних електричних нагрівачів. Металеві частини конструкції установки нагріваються рівномірно по всьому об'єму робочої камери. Передача тепла відбувається за рахунок конвективного теплообміну, що забезпечує рівномірність нагрівання. В таких установках відсутня небезпека враження електричним струмом обслуговуючого персоналу або вибуху. Установки можливо повністю автоматизувати.

Таким чином, **актуальність цієї наукової роботи** полягає у подальшому розвитку, вдосконаленню і підвищенню ефективності технології та устаткування, що призначені для виготовлення бетонних виробів.

Метою цієї роботи є розробка варіантів конструктивного виконання і вибір оптимальної конструктивної схеми устаткування та технології виготовлення бетонних виробів з заданими показниками міцності, довговічності та щільності шляхом узгодженого впливу температури і вологи на процеси структуроутворення бетонних будівельних виробів в установках для тепловологісної обробки із аеродинамічним нагрівом.

Наукова робота виконана в НДЛ гідродинаміки ВНТУ та на кафедрі ТГП Вінницького національного технічного університету.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Сучасний стан технології та дослідження в галузі тепловологісної обробки бетонних виробів

1.1.1 Способи для прискорення тверднення бетонних виробів

Тепловологісна обробка є завершальною технологічною операцією направленою на прискорення тверднення бетонних виробів і набуття необхідних властивостей. На основні властивості бетону великий вплив роблять фізико-хімічні і структуроутворюючі процеси. Зміна пористої структури дисперсних тіл, форм і видів зв'язку, поглиненої ними води безпосередньо залежить від кінетики і динаміки тепломасообмінних процесів, що протікають при тепловій обробці колоїдних капілярно-пористих тіл. Остаточні технологічні властивості матеріалу в процесі тепловологісної обробки залежать від форми і виду зв'язку води з речовиною і від механізму перенесення води і теплоти. Процес тепловологісної обробки бетонних виробів є процесом тепломасообміну в системі дисперсного середовища при наявності фазових і хімічних перетворень. Кінцевий результат різних дій на тверднучу бетонну суміш залежить від моменту їх застосування, інтенсивності і тривалості, визначається узгодженістю прикладеної дії з фізико-хімічними процесами, що протікають в цементному тісті і процесами структуроутворення бетону.

Останніми роками розроблено і впроваджено цілу низку новітнього устаткування для теплової обробки бетонних виробів. Для прискорення тверднення бетону використовують різні способи, а саме [1 – 4]: механічні; хімічні; теплові.

Механічні способи прискорення тверднення передбачають збільшення витрати цементу, використання швидкотверднучих цементів високих марок, зниження відношення В/Ц, застосування спеціальних способів укладання та ущільнення сумішей (пресування, вакуумування тощо). Але ці заходи пов'язані з ускладненням процесу виробництва.

Хімічні способи прискорення тверднення засновані на введенні в суміш хімічних добавок.

Теплові способи прискорення тверднення бетонних виробів в наш час є найбільш ефективними і універсальними, а тому широко застосовуються у виробництві збірних залізобетонних виробів і конструкцій. До таких способів відносять: пропарювання при атмосферному тиску і підвищених температурі та вологості навколишнього середовища; запарювання при підвищених температурі, тиску і вологості в автоклавах; контактний обігрів, електротермообробка (електропрогрівання, електрообігрів, індукційне нагрівання), попереднє розігрівання бетонної суміші. Перші два способи дають можливість зберегти вологу в бетоні, необхідну для хімічних реакцій гідратації цементу, а тому теплову обробку бетону з умовою збереження вологи в матеріалі називають тепловологісною обробкою.

Найбільшого поширення на заводах набув тепловий спосіб прискорення тверднення бетону, а також комбінований, який поєднує в собі механічний, хімічний і тепловий способи.

Суть тепловологісного способу обробки бетонних виробів полягає в тому, що при підвищених відносній вологості навколишнього середовища (більшій 95 %) і температурі 60–100 °С і більше, швидкість реакції гідратації цементу збільшується (у 10–20 разів), процес тверднення бетону прискорюється, і вироби в коротший термін набувають міцність, необхідну для їх розформування, транспортування і монтажу.

1.1.2 Обладнання для тепловологісної обробки (ТВО) бетонних виробів

Умови для прискореного тверднення бетону за рахунок збільшення його температури створюються в теплових установках [2, 5], які розрізняють за режимом дії, типом технологічних ліній та конструкцією (рис. 1.1). Безпосередньо теплову обробку бетонних виробів класифікують за способом теплової обробки, видом теплоносія та способом передачі теплоти (рис. 1.2).

У камеру періодичної дії вироби завантажують краном і встановлюють в декілька рядів по висоті. Потім камеру закривають кришкою і подають насичену пару.

Камера безперервної дії є тунелем, в якому вироби у формах, встановлених на вагонетки, проходять послідовно зони підігріву, ізотермічної витримки і охолодження.

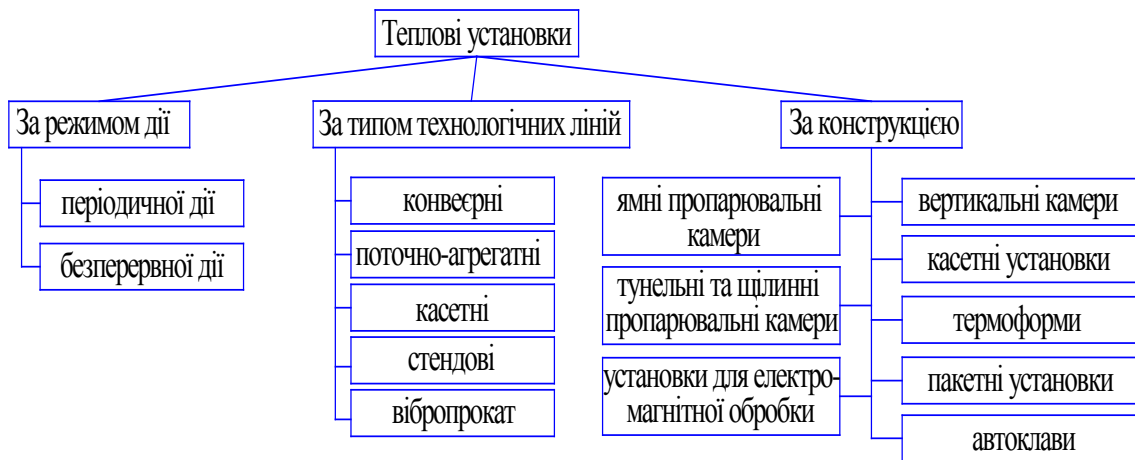


Рисунок 1.1 – Обладнання для теплової обробки бетонних виробів

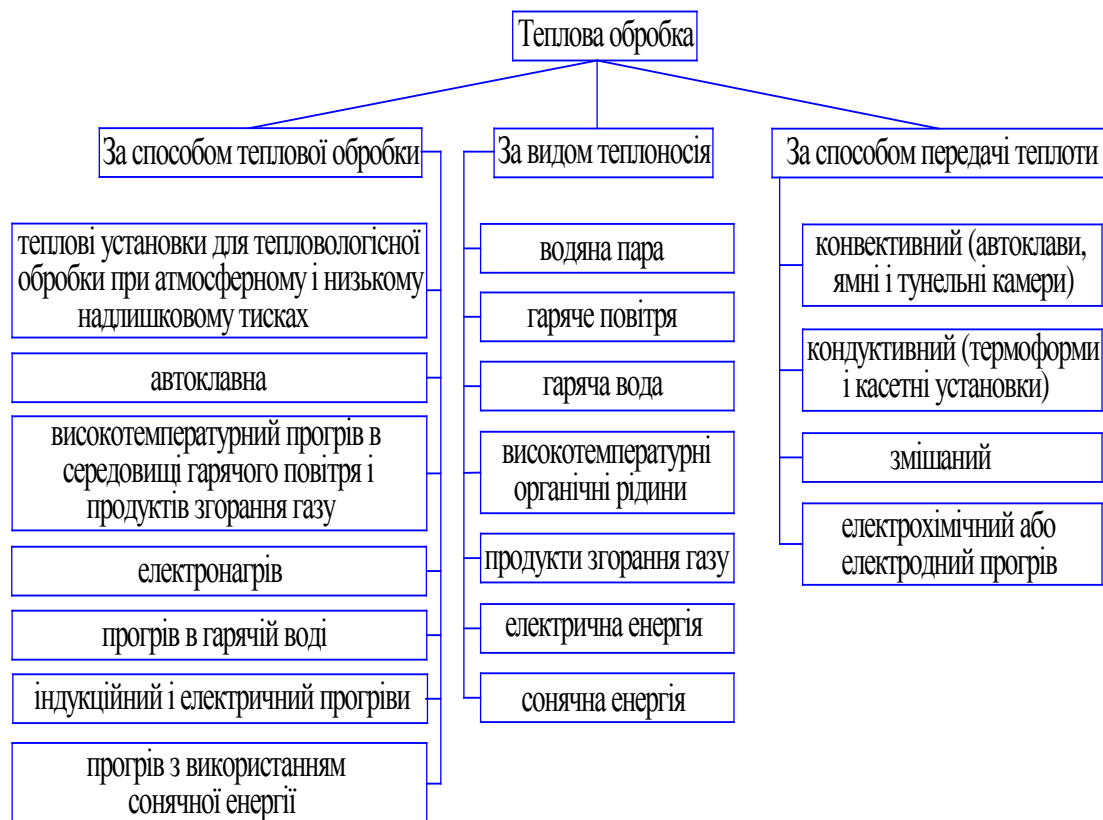


Рисунок 1.2 – Способи теплової обробки

При стендовому способі вироби витримують у нерухомих формах (на стенді). Механізми (бетоноукладачі, вібратори тощо) по черзі підходять до стенду для виконання необхідних операцій. Цим способом

виготовляють, як правило, великогабаритні вироби (ферми, колони, балки) на полігонах.

Касетний спосіб – варіант стендового способу, основою якого є формування виробів в стаціонарно встановлених касетах, що складаються з декількох вертикальних металевих форм-відсіків. У форму закладають арматурний каркас і заповнюють її бетонною сумішшю. Теплову обробку проводять контактним обігрівом через стінки форм. Після теплової обробки стінки форм розбирають і вироби виймають. Касетним способом виготовляють плоскі вироби (панелі перекриттів, стінові панелі тощо).

При поточно-агрегатному способі форми з виробами переміщуються від одного технологічного агрегату до іншого краном, а при конвеєрному вони стоять на вагонетках, які рухаються по рейкових напрямних.

При конвеєрному способі тепловологісну обробку здійснюють безперервним методом. Конвеєрний спосіб – високопродуктивний, але на кожній лінії конвеєра можна випускати виріб тільки одного типу-розміру.

При способі вібропрокату процеси отримання залізобетонного виробу відбуваються на одній установці безперервної дії – стані вібропрокату. Стан вібропрокату – це конвеєр із сталевий обгумованої формуючої стрічки, яка рухається уздовж постів укладання арматури і бетону, віброущільнення бетону і контактної теплової обробки. Способом вібропрокату отримують плити перекриттів, легкобетонні панелі зовнішніх стін тощо. Цей спосіб найпродуктивніший, але перехід з випуску одного виду виробів на інший складний, оскільки пов'язаний з повним переоснащенням стану [2, 5].

Теплова обробка бетонних виробів із бетону в апаратах безперервної дії має низку істотних переваг в технологічному відношенні перед установками періодичної дії [6, 7]. Зокрема, вона характеризується:

- безперервністю роботи установки і потоковою лінією виробництва залізобетонних виробів;
- вищою порівняно з періодичною продуктивністю апаратів;
- зменшенням тривалості теплової обробки і, у зв'язку з цим, поліпшенням якості виробів;
- раціональнішим використанням води і пари, ніж в апаратах періодичної дії.

Проте установки безперервної дії, порівняно з установками періодичної дії, є менш універсальними, а тому майже не застосовуються в гнучких технологічних виробництвах. Універсалізація ж апаратів безперервної дії досягається або істотним ускладненням їх конструкції, або проведенням високовартісних і тривалих переналагоджень. Окрім того, до інших недоліків установок теплової обробки бетонних виробів безперервної дії можна також віднести їх високу вартість, складність в експлуатації та обслуговуванні, недостатню надійність складної і громіздкої кінематики приводних механізмів.

Таким чином, основним устаткуванням для теплової обробки бетонних виробів залишаються установки періодичної дії, які застосовуються на більшості підприємств будівельної промисловості.

У камерах періодичної дії водяна пара, як правило, змішується з повітрям, що знаходиться в камері, і обробка виробів здійснюється пароповітряною сумішшю, температура якої в безнапірних камерах завжди нижча 100 °С. Оскільки гаряча пара легша за повітря і має вищу температуру, вона накопичується у верхній частині камери, а нижче розташовується пароповітряна суміш з поступово зменшуваною концентрацією водяної пари. В зв'язку з цим, по висоті камери спостерігається перепад температур, який призводить до нерівномірного прогрівання бетонних виробів. Для усунення цього недоліку розроблені камери з інтенсивною примусовою циркуляцією теплоносія, що забезпечують високі показники теплообміну і рівномірний нагрів виробів.

Основні способи прискорення тверднення бетону, які дозволяють отримати необхідну міцність бетону за 2,5–14 годин, – пропарювання в камерах при температурі до 100 °С і атмосферному тиску та запарювання в автоклавах при температурі насиченої водяної пари 175–200 °С і тиску 0,8–1,3 МПа. Відмінна особливість цих способів – інтенсивний теплообмін між тепловологісним середовищем і бетоном.

Пропарювальні камери ямного типу [6] застосовують як в закритих цехових приміщеннях, так і на відкритих майданчиках-полігонах. Вони мають істотні переваги:

- універсальність застосування і, у зв'язку з цим, можливість використання їх для теплової обробки великої номенклатури бетонних виробів, що виготовляються;

- низьку вартість і відносно незначні витрати на експлуатацію і обслуговування.

Крім того, використання в пропарювальних камерах пари, яка безпосередньо контактує з відкритою поверхнею виробів, запобігає випаровуванню вологи з матеріалу. Але з іншої сторони широко розповсюджені на заводах ямні камери з позицій енерговитрат є досить низько ефективними тепловими установками, оскільки їх ККД не перевищує 0,1–0,15, а оборотність в середньому складає 1–1,2 рази на добу. Велика кількість тепла втрачається при завантаженні і вивантаженні виробів із відкритої камери. Крім того, ще й досі на багатьох заводах відсутнє автоматичне регулювання і контроль режимів ТВО.

З метою економного використання енергії при тепловій обробці слід переходити від ямних камер до ефективніших щілинних і вертикальних камер, використання заздалегідь розігрітих бетонних сумішей, прогрівання в касетних установках чи в пакетах термоформ тощо. Контактне прогрівання бетонних виробів в таких установках здійснюється шляхом контакту перегрітого теплоносія (гострою парю, перегрітою водою тощо) з формою, її окремими елементами або перегородками, при цьому виключається можливість вологообміну між тепловологісним середовищем і бетонним виробом. В середньому використання цих способів термообробки дозволить значно зменшити енерговитрати приблизно в 1,2–1,3 рази.

Теплові способи прискорення тверднення бетону вимагають додаткових паливно-енергетичних витрат. Одним із резервів економії тепла є також підвищення теплової ефективності ізоляції корпусу теплових установок. Сумарні тепловтрати через стіни і днище камер в процесі пропарювання і охолодження після відключення подачі пари і під час завантаження і розвантаження камер складають близько 70 % від загальної витрати тепла, внаслідок високої теплопровідності і теплоємності існуючих типових захисних конструкцій.

Автоклавну обробку бетонних виробів при підвищених температурах (175–200 °С) і тиску насиченої водяної пари (0,8–1,3 МПа) застосовують при виготовленні дрібнозернистих та чарункових бетонів. Підвищений тиск насиченої пари попереджує перехід води з рідкого в пароподібний стан, завдяки чому значно прискорюються процеси тверднення бетонних виробів та утворюються нові цементуючі сполуки (гідросилікати кальцію і магнію), що підвищують міцність бетону. Ця

особливість зумовлює можливість заміни портландцементу місцевими в'язучими речовинами і застосування промислових відходів.

Іншою серйозною проблемою є створення і експлуатація великого парового господарства, питома вага якого в загальній кошторисній вартості підприємства складає 26–28 %, а енергетична складова в собівартості продукції перевищує 21 %, тоді як частка корисного використання енергії знаходиться в межах 0,12–0,34 [7].

Електротермообробка в автоклавних установках [7] забезпечує отримання готової продукції з необхідною вологістю, завдяки чому поліпшуються теплофізичні характеристики елементів захисних конструкцій. Недоліком такої обробки є те, що тепло, яке виділяється електричними нагрівачами, нерівномірно прогріває весь простір автоклавної установки, а отже й вироби, які оброблюються, навіть при наявності вентилятора і теплових екранів. Конструкція нагрівальних елементів неспроможна забезпечити низькотемпературне нагрівання, а тому для забезпечення ефективності технологічного процесу необхідно розігрівати нагрівальні прилади до високої температури, в результаті чого, виникає суттєва різниця температур між нагрівальним елементом і виробом, який підлягає тепловій обробці. Через надлишок тепла у виробі виникає перегрів, що призводить до виникнення дефектів у ньому. Цей негативний фактор спричиняє погіршення властивостей оброблюваних виробів, а також може створювати пожежонебезпечну ситуацію.

1.1.3 Гідратація цементу в бетонних виробках

Огляд наявної в літературі інформації щодо впливу тепла, як технологічного чинника, на якість бетону, на швидкість набору його міцності і на величину енерговитрат показує, що якість бетону і швидкість його тверднення визначаються характером процесів, пов'язаних з перетворенням суміші на бетон.

Дослідженню процесів, що відбуваються в бетонній суміші і тверднучому бетоні під впливом підвищених температур, присвячені роботи А. С. Арбенєва, Ю. М. Баженова, В. С. Баталова, Ю. М. Бутта, В. П. Ганіна, П. Г. Комохова, Б. М. Красновського, Б. А. Крилова,

Л. А. Малініної, С. А. Міронова, А. М. Невіля, Г. В. Клаусека і інших [3, 7, 8, 9, 10, 11].

У роботах цих вчених наведено, що теплова обробка бетону є найбільш поширеним і ефективним методом прискорення тверднення бетону. Підвищені температури тверднучого бетону впливають на кінетику структуроутворення, динаміку набору міцності, властивості отримуваних кристалічних структур. Дослідженнями І. В. Кравченко і М. Г. Власової було встановлено, що швидкість хімічних реакцій у тверднучому бетоні в порівнянні з нормальними умовами зростає в шість разів при температурі 30 °С і вдесятеро – при температурі 100 °С [12].

При цьому істотних відмінностей у складі продуктів гідратації не знайдено. Л. А. Малініна узагальнила результати досліджень в області тепловологісної обробки бетону та вважає, що немає суттєвої різниці між кінцевим фазовим складом новоутворень, що виникають при твердненні в нормальних умовах і при прогріванні. При цьому прогрівання не тільки не зменшує ступінь гідратації, але навіть дещо збільшує її [13].

З підвищенням температури прискорюється кінетика процесів, послідовність і повнота фазових перетворень, скорочується індукційний період тверднення. Незалежно від температури тверднення сумарне тепловиділення (екзотермічне тепло) пропорційне ступеню гідратації цементу [14].

Процес гідратації в'язучого і розвитку структури тверднення зводиться до розчинення у воді первинної твердої дисперсної фази твердої речовини з утворенням розчину, перенасиченого по відношенню до кристалів гідратного новоутворення, і до викристалізування з цього розчину нової фази кристалічного гідрату з утворенням просторової структури тверднення, тобто штучного каменю. При цьому спочатку виникає каркас, а потім він обростає частинками гідрату [47].

Н. Штейн і Х. Стевенс [15] встановили, що відразу після розчинення водою на поверхні мінералу утворюється плівка високоосновного гідросилікату кальцію (C_3SH_k), який не видно навіть в електронний мікроскоп. Такий гідросилікат послідовно перетворюється спочатку на $CSH(B)$, а потім в (C_2SH_2) . Це підтвердили С. Брунауер і Д. Кантро, а також Дж. Калоузек [11], прийшовши до висновку про наявність трьох стадій гідратації.

Первинним продуктом гідратації основного мінералу клінкеру є гідрат, багатий вапном – (C_3SH_k) , який потім переходить у менш основний гідросилікат C-S-H. Запропоновано такий механізм гідратації цього мінералу:

$C_3S + H \rightarrow C_3SH_k$ – первинний гідрат;

$C_3SH_k \rightarrow CH + \text{від } 0,8 \text{ до } 1,5 \text{ CSH}$ – вторинний гідрат;

$\text{від } 0,8 \text{ до } 1,5 \text{ CSH} + CH \rightarrow 1,5 - 2 \text{ CSH}$ – третинний гідрат.

Первинний гідрат утворює непроникний для води протягом 2–6 год. прикордонний шар. Цей час відповідає індукційному періоду гідратації.

Вищезгадані вчені встановили, що залежно від В/Ц змінюється основність гідросилікату кальцію.

Великий внесок у вирішення питання про склад продуктів і ступеня гідратації цементу, що твердне при підвищених температурах 50–100 °С ТВО внесли Ю. М. Бутт, П. Л. Будников, Т. М. Беркович, І. В. Кравченко, М. М. Маянц, Ю. С. Малінін, С. А. Міронов, В. І. Тімашев, Х. Тейлор, Дж. Калоузек, Р. Нерс і багато інших. Їм не вдалося виявити істотної різниці між складом продуктів гідратації, що утворюються при нормальному твердненні й при пропарюванні. Було встановлено, що швидкість хімічної реакції прискорюється лише з підвищенням температури, при температурі до 80 °С в 6 разів і при 100 °С в 10 разів в порівнянні з швидкістю гідратації при 20 °С.

За даними О. М. Астрєєвої [16] процес гідратації і виникнення структури може бути побудований за такою схемою. При контакті з водою в'язка речовина розчиняється і утворюється пересичений (по відношенню до гідрату) розчин. У пересиченому розчині виділяються зародки гідрату. Кристали гідрату, що ростуть, зближуються і з'єднуються, утворюючи каменеподібну структуру. Враховуючи це, процес тверднення розділяють на елементарні стадії: розчинення початкової речовини, утворення зародків нової фази (гідрату), зростання кристалів гідрату, утворення колоїдної і кристалізаційної структур.

За даними І. Н. Ахвердова [17], кінцеві фізико-технічні властивості цементного каменю обумовлюються коагуляційним структуроутворенням. Перша стадія процесу пов'язана із зменшенням кількості вільної води, збільшенням концентрації розчину електроліту до початку схоплювання з подальшим зменшенням її по експоненті. Одночасно відбувається інтенсивний процес перерозподілу води і скріплення її

твердою фазою до тих пір, поки вона повністю не вступить в адсорбційний зв'язок. Перераховані процеси обумовлюють кінець формування коагуляційної структури цементного тіста.

Якраз з цієї миті починається процес кристалізаційного структуроутворення цементного каменю. Відбувається інтенсивне зменшення кількості вільних молекул в пересиченому розчині (гелі) через виникнення центрів кристалізації, що обумовлюють формування субмікрокристалічної структури навколо непрогідратованих зерен цементу. Одночасно з цим виникають зв'язки між кристалічними новоутвореннями, що веде до зростання їх інтегральної міцності з часом.

Таким чином, на думку вищезазначених вчених, вплив теплової обробки на фізико-хімічні процеси зводиться, в основному, до прискорення гідратації цементу. Проте, при цьому мінералогічний склад цементу має вплив на вибір режиму теплової обробки.

Міцність штучного каменю визначається не стільки міцністю окремих кристалів новоутворень, скільки міцністю і характером зростка, що формується з них, а також капілярно-пористою структурою каменю в цілому.

Тепловологісна обробка бетону в межах до 40 °С відноситься до м'яких режимів прогрівання. При температурі вищій 50 °С характер набору міцності бетоном на різних цементах стає диференційованим і тим більшим, чим вища температура прогрівання. Прогрівання бетону на портландцементі при температурі 70–80 °С може призвести до зниження міцності до 20 % по відношенню до зразків нормального тверднення. Змішані цементами, навпаки, дають приріст міцності з підвищенням температури теплової обробки. За даними С. А. Міронова відносна міцність бетону, витриманого 28 діб після пропарювання або електропрогрівання, по відношенню до зразків нормального тверднення складає 80–110 % - для портландцементу та 110–130 % – для шлакопортландцементу [18]. Пояснюється це тим, що тонкомолоті активні добавки, особливо доменний гранульований шлак, при підвищених температурах залучаються до процесу тверднення, забезпечуючи приріст міцності бетону.

Тепловологісна обробка бетону, не помітно впливає на зміну фазового складу новоутворень, ступінь і глибину гідратації цементу, а позначається на зміні капілярно-пористої структури бетону. Розглянемо це детальніше.

Згідно з П. А. Ребіндером, в оводнених капілярах спостерігаються такі форми зв'язку води: хімічна; фізико-хімічна, в основному адсорбційна мономолекулярних шарів і волога з осмотичним зв'язком; фізико-механічна, що знаходиться в капілярах; адсорбційна полімолекулярних шарів, а також рідина змочування. На початку тверднення хімічно зв'язується не більше 1 % води від ваги цементу (перші 2 години), отже, переважає вода з фізико-механічним зв'язком. З часом тверднення кількість хімічно зв'язаної води незначно зростає, але не перевищує протягом 28 діб 18–22 %. Надлишкова вода поступово випаровується, залишаючи за собою пори.

В свіжоукладеному бетоні завжди міститься газоподібна фаза, джерелами формування якої є: повітря, що залучається до бетонної суміші в процесі приготування, укладання і віброущільнення з розмірами бульбашок 0,005–0,2 см; повітря, адсорбційно зв'язане з поверхнями твердих частинок; повітря, розчинене у воді і, яке переходить у вільний стан під впливом вібрації і нагрівання. Наприклад, при нагріванні 1 л звичайної водопровідної води від 15 до 90 °С виділяється 10 см³ повітря [23]. Крім того, в результаті реакції розчинення дисперсного заліза, що міститься в цементі, у воді виділяються водень та інші гази.

Отже, на початку тверднення свіжий бетон містить 170–200 л/м³ води, 30–40 л/м³ газоподібної фази. Таким чином, пористість складається з об'єму, зайнятого випаруваною водою, і об'ємом газоподібної фази.

За даними А. К. Шейкіна [19] загальна пористість цементно-піщаних розчинів, підданих тепловій обробці, була в середньому на 8 – 15 % більшою по відношенню до зразків нормального тверднення. Дослідження Л. А. Малініної також вказують на збільшення загальної пористості прогрітого бетону на 10–13 % [14].

На думку низки вчених [2, 8, 11, 12] причинами порушення структури бетону, що твердне в умовах підвищеної температури, є:

- об'ємні зміни, викликані відмінністю теплових розширень компонентів бетону, головним чином води, пароповітряної фази і повітря, зокрема залученого в процесі приготування і укладання бетонної суміші, адсорбційного та виділеного з води при нагріванні;
- надмірний тиск пароповітряної фази, що виникає в порах бетону;
- міграція вологи;

- об'ємні зміни, пов'язані з внутрішнім і зовнішнім масообміном.

Внаслідок деструктивних явищ, викликаних тепловою обробкою бетону, втрати його міцності складають 17–23 %. Низкою технологічних прийомів (попередня витримка, м'які ступінчасті режими підйому температури) можна зменшити негативні наслідки деструктивних процесів, але повне їх виключення неможливе.

Кардинальним вирішенням проблеми зниження негативного впливу підвищених температур на структуру бетону є метод попереднього розігрівання бетонної суміші, запропонований А. С. Арбенським в 1962 році. Суть методу полягає в тому, що тепло вноситься не в тверднучий бетон, а в бетонну суміш до її укладання та ущільнення.

Метод попереднього розігрівання отримав подальший розвиток в працях Б. А. Крилова [20], П. Г. Комохова [9], В. С. Баталова [8], Б. М. Красновського та інших вчених.

Все різноманіття методів попереднього розігрівання принципово не змінює його первинної сутності. При внесенні теплоти у суміш перед укладанням в форми об'ємні розширення її компонентів відбуваються, коли суміш знаходиться в пластичному стані. Ущільнення суміші при укладанні усуває наслідки теплових об'ємних розширень її компонентів, а наступне поступове охолодження бетону сприяє формуванню щільної структури. Змінюється характер пористості, але порівняно з прогріванням бетону зменшується число капілярних пор і збільшується кількість замкнених пор.

При попередньому розігріванні бетонна суміш акумулює теплову енергію, яка потім поступово витрачається на прискорення фізико-хімічних процесів тверднення цементного каменю і підтримку позитивної температури укладеного бетону.

Попереднє розігрівання здійснюється протягом 10–20 хвилин при порційному розігріванні і за 1–3 хвилини при безперервному режимі, скорочуючи загальний цикл теплової обробки бетону.

Попереднє розігрівання бетонної суміші істотно впливає на інтенсивність протікання фізико-хімічних процесів в бетоні. Після розігрівання бетонної суміші активізуються реакції гідратації цементу, в тому числі швидкість тепловиділення цементу. Разом з розглянутими перевагами попереднього розігрівання йому властиві і деякі недоліки, особливо характерні для ранніх етапів його розвитку. Істотним недоліком методу є втрата рухливості розігрітої бетонної суміші. Із збіль-

шенням температури розігрівання суміш швидше втрачає рухливість. При продовженні процесу розігрівання понад 5 хвилин втрата рухливості суміші також зростає. При порційному розігріванні має місце значне обростання електродів бетонною сумішшю, що веде до нерівномірного використання електричної потужності, та до збільшення значення необхідної потужності.

Величина енерговитрат на теплову обробку бетону залежить від багатьох чинників, основними з яких є вид енергоносія й спосіб його використання. Найбільше розповсюдження отримало пропарювання виробів і конструкцій. Завдяки великому числу досліджень і розробок вітчизняних і зарубіжних вчених і фахівців деякі підприємства мають достатньо хороші показники за енерговитратами на пропарювання (до $0,2\text{--}0,3$ Гкал/м³). Проте в цілому метод пропарювання дуже енергоємний – в середньому $0,5$ Гкал/м³ або 580 кВт-год/м³. Пояснюється це такими причинами. Баланс енерговитрат складається з наступних: $10\text{--}20\%$ тепла втрачається при виробленні пари; $10\text{--}15\%$ – при транспортуванні пари; $5\text{--}10\%$ – на розширення при виході пари з паропроводів в камери. У пропарювальних камерах залишається не більше 50% тепла палива, що спалюється в топках. З врахуванням низького ККД камер (близько 40%) загальний ККД не може перевищувати $25\text{--}28\%$. Насправді ККД пропарювання становить $10\text{--}12\%$ [6].

Виходячи з вищесказаного, можна сформулювати такі висновки:

1. Застосування тепла, як засобу прискорення тверднення бетону, є найбільш поширеним при виробництві збірних і при зведенні монолітних конструкцій. Стосовно будівельних умов термообробка бетону розглядається ще і як один з основних методів зимового бетонування.

2. Фазовий склад моноутворень, що є продуктами гідратації цементу, що твердне при різних умовах витримки, в тому числі при різних температурах, залишається практично однаковим.

3. Внесення тепла до тверднучого бетону, незалежно від того, яким способом воно здійснюється, має недолік, викликаний деструктивними процесами, які відбуваються в тверднучому бетоні при накладанні на нього температурного поля. Пояснюється це істотною різницею об'ємних температурних деформацій компонентів бетону.

4. Вирішенню завдань інтенсифікації бетонних робіт в більшій мірі задовольняє попереднє розігрівання бетонної суміші. Це зумовлюється такими обставинами:

- внесення тепла в бетонну суміш до її укладання і ущільнення зводить до мінімуму негативні впливи деструктивних процесів;

- відповідно до принципу Ле-Шательє при поступовому охолодженні бетону, приготованого з розігрітої суміші, відбувається глибша гідратація цементу;

- метод найбільш економічний, оскільки: електрична енергія перетворюється теплову безпосередньо в бетонній суміші в момент її максимальної електропровідності; ефективно використовується екзотермія цементу, максимум якої досягається через 1,5–2 години після розігрівання суміші, виключається безповоротна втрата нагрівальних дротів, електродів та інших допоміжних матеріалів;

- легше, ніж при інших способах термообробки бетону, керувати процесами його структуроутворення;

- вища надійність методу і менша трудомісткість в порівнянні із способами, заснованими на внесенні тепла до тверднучого бетону. На тверднучий бетон з розігрітої суміші менше впливають непередбачені виробничі та інші випадкові чинники.

Для усунення недоліків попереднього розігрівання, яке здійснюється в порційному режимі (небезпека втрати рухливості бетонної суміші, обростання електродів тощо) і для посилення його переваг доцільно розігрів суміші здійснювати в безперервному режимі і поєднувати його з іншими технологічними операціями, зокрема, з вібраційною обробкою суміші.

1.1.4 Режими тепловологісної обробки

Весь цикл ТВО в пропарювальних камерах ділять на чотири періоди: попередня витримка, підігрів до максимальної температури, ізотермічна витримка і охолодження. Тривалість ТВО визначається необхідною міцністю виробів, їх товщиною, витратою цементу і його активністю, мінімальними приведеними витратами тощо. Вона виражається сумою окремих його періодів в годинах.

Період попередньої витримки, зазвичай, складає 1–5 год. Швидкість підйому температури в другий період не повинна перевищувати 60 °С/год; тривалість цього періоду становить 2–3,5 год. Оптимальна температура ізотермічної витримки для бетонів на портландцементі

ЛІТЕРАТУРА

1. Будівельне матеріалознавство / П. В. Кривенко., К. К. Пушкарьова, В. Б. Барановський та ін. – К. : ЕксОб, 2004. – 704 с. – ISBN 966-7769-35-6.
2. Влияние тепловлажностной обработки на эксплуатационные свойства бетона [Электронный ресурс] / С. В. Федосов, С. М. Бабанов, М. В. Акулова, М. В. Торопова. // Изв. вузов. Строительство, 2003. – №7. С. 47 – 50 Режим доступа к журн.: <http://old.sibstrin.ru/izv2003.html>. – ISBN 5-9296-0333-2.
3. Малинина Л. А. Тепловлажностная обработка бетона / Л. А. Малинина. – М. : Стройиздат, 1977. – 159 с.
4. Марьямов Н. Б. Тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона / Н. Б. Марьямов. – М. : Стройиздат, 1970. – 272 с.
5. Бутт Ю. М. Твердение вяжущих при повышенных температурах / Ю. М. Бутт, В. Н. Рашкович. – М. : Стройиздат, 1965. – 263 с.
6. Электронная библиотека : Общие вопросы бетона [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.hydrobeton.ru>.
7. Баженов Ю. М. Технология бетона [Электронный ресурс] : учеб. пособие для технол. спец. строит. вузов. / Ю. М. Баженов. – 2-е изд., перераб. – М. : Высш. шк., 1987. – 415 с. Режим доступа : <http://www.twirpx.com/file/65050/>.
8. Баталов В. С. Структурно-механические свойства шлакопортландцемента при горячем формовании / В. С. Баталов, Т. П. Носова. // Применение методов электротермии в технологии бетонных работ. – Магнитогорск : МГМИ, 1969. – С. 13–17.
9. Комохов П. Г. Структурная механика и теплофизика легкого бетона [Электронный ресурс] / П. Г. Комохов. – Вологда : изд-во Вологодского научного центра, 1992. – 321с. Режим доступа: <http://www.allbeton.ru/article/47/13.html>.
10. Невилль А. М. Свойства бетона / А. М. Невилль. – М. : Сфойиздат, 1972. – 344с.
11. Kalousek G. L. The reactions of cement hidration of elevated temperatures / G. L. Kalousek. // Proc. 3d Intern. Svmp, Chem, Cem.-London, 1952. – P. 334–355.
12. Кравченко И. В. О структуре цементного камня при ускоренном пропаривании / И. В. Кравченко, М. Т. Власова. // Научное сообщение НИИЦементa. – 1960. – № 8.

13. Малинина Л. А. Физические основы твердения бетона при тепловой обработке / Л. А. Малинина. // Тепловая обработка бетона. – М. : НИИЖБ, 1967. с. 17–32.
14. Малинина Л. А. Ускорение твердения бетона / Л. А. Малинина, С. А. Миронов. – М. : Стройиздат, 1964. – 347 с.
15. Steln H. N. Loc mecanisme de L'hydratation du ileate tricdeigw/ H. N. Steln, L. M. Stevels. // Silikatesindustr. – 1967. – No. 10. – P. 32–34.
16. Астреева О. М. Изучение процессов гидратации цементов / О. М. Астреева. – М. : Центральный институт научной информации по строительству и архитектуре АС и А СССР, 1960. – 64 с.
17. Ахвердов И. Н. Высокопрочный бетон / И. Н. Ахвердов. – М. : Госстройиздат, 1963. – 128 с.
18. Миронов С. А. О структуре и прочности бетона, подвергнутого пропариванию / С. А. Миронов, Л. А. Малинина. // Структура, прочность и деформации бетонов. – М. : Стройиздат, 1966. – 366 с.
19. Шейкин А. Е. Структура прочность и трещиностойкость цементного камня / А. Е. Шейкин. – М. : Стройиздат, 1974. – 191 с.
20. Крылов Б. А. Теоретические основы форсированного электро-разогрева бетонной смеси и виброуплотнения ее в горячем состоянии / Б. А. Крылов. // Обобщение практики зимнего бетонирования с электро-разогревом смеси. – Новосибирск : ПИСИ, 1972. – С. 20–32
21. Шейкин А. Е. Цементные бетоны высокой морозостойкости / А. Е. Шейкин, Л. М. Добщиц. – Л. : Стройиздат, 1989. – 127 с.
22. Миронов С. А. Развитие методов тепловой обработки бетона в промышленности сборного железобетона / С. А. Миронов. // Тепловая обработка бетона : материалы семинара. – М. : Стройиздат, 1967. – 143 с.
23. Строительные материалы и технологии [Электронный ресурс]: – Режим доступа : <http://msd.com.ua/str/27.html>.
24. Швець В. В. Термосиловий вплив, як метод управління структуроутворенням при твердненні бетону / В. В. Швець, І. Н. Дудар. // Науковий вісник будівництва. – Харків. : ХДТУБА, 2001. – Вип. 14. – С. 140–143.
25. Тевис П. И. Рециркуляционные установки аэродинамического нагрева / П. И. Тевис, В. А. Ананьев, Е. Г. Шадек. – М. : Машиностроение, 1986. – 208 с.
26. Поляков В. В. Насосы и вентиляторы / В. В. Поляков, Л. С. Скворцов. – М. : Стройиздат, 1990. – 336 с.
27. Сушильные камеры аэродинамические. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://aero.sron.com/paero.html>.

28. Растимешин С. А. Технические средства для местного обогрева / С. А. Растимешин. – М. : Росагропромиздат, 1990. – 78 с.
29. Фокин В. М. Эксплуатация теплогенерирующих установок : учеб. пособие / В. М. Фокин. – Волгоград, 1999. – 80 с.
30. Патент 18723. Україна МПК В01J 3/04. Автоклавна установка тепловологісної обробки / О. П. Сліпенька, С. Б. Сторожук, І. В. Коц, заявник і патентовласник ВНТУ. – № u 200605904; заявлено 29.05.2006 ; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.
31. Сліпенька О. П. Аналітичне дослідження автоклавних установок із аеродинамічним нагрівом / О. П. Сліпенька, І. В. Коц. // Вісник Хмельницького національного університету, 2006. – № 5. – С. 93–98.
32. Патент 6545. Україна МПК F26B 3/06 Спосіб сушіння рослинної та іншої сировини / І. В. Коц, Л. В. Скородзієвська, заявник і патентовласник ВНТУ. – № 20040907844 ; заявлено 27.09.2004 ; опубл. 16.05.2005, Бюл. № 5.
33. Патент 10712. Україна МПК F26B 3/06 Спосіб сушіння рослинної сировини / І. В. Коц, І. Г. Мельник, заявник і патентовласник ВНТУ. – № 94086490 ; заявлено 04.08.1996 ; Бюл. № 4.
34. Патент 35967. Україна МПК F26B 3/00 Установа для сушіння сировини / І. В. Коц, К. В. Бауман, заявник і патентовласник ВНТУ. – № u200805829 ; заявлено 05.05.2008 ; опубл. 10.10.2008, Бюл. № 19.
35. Комиссаров А. П. Теоретические основы расчета величин нагрева воздуха в двухроторной аэродинамической камере / А. П. Комиссаров, В. В. Швецов, С. В. Швецова. // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 7. – Режим доступа : <http://www.rae.ru>.
36. Колісник О. П. Термоопалубка для теплової обробки бетонних виробів / О. П. Колісник. // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій : зб. наук. пр. – Львів : Каменярь, 2009. – Випуск 8. – С. 458–465.
37. Колісник О. П. Процеси тепломасобміну при теплової обробці бетонних виробів / О. П. Колісник. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2008. – № 38. – С. 82–87.
38. Москвіна С. М. Проблеми оптимізації управління технологічним процесом виготовлення цегли / С. М. Москвіна, Д. О. Ковалюк. // Вісник ХНУ, 2005. – № 5. – С. 121–125.

39. Внедренные и действующие АСУ технологическими процессами и энергосберегающие. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.uralreg.ru>.
40. Патент 2256209. Россия МКИ G05D27/00. Устройство для автоматического управления процессом тепловой обработки бетона / Н. М. Плотников, В. В. Ходикин, А. М. Киргизов – № 2003130713/28 ; заявлено 17.10.03 ; опубл. 10.07.05.
41. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л. А. Заде. – М. : Мир, 1976. – 167 с.
42. Автоматизація технологічного процесу тепловологісної обробки. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zgbmk.narod.ru/automation>.
43. Колісник О. П. Математична модель тепловологісної обробки бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагріву. / О. П. Колісник. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2009. – № 45. – С. 16–20.
44. Зедгинидзе И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И. Г. Зедгинидзе. – М. : Науки, 1976. – 390 с.
45. 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.
46. Бондарь А. Г. Планирование эксперимента в химической технологии / А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха. – К. : Вища школа, 1976. – 183 с.
47. Чистяков В. В. Фізико-хімічні аспекти інтенсифікації процесів гідрато- та структуроутворення мінеральних в'язучих систем : Автореф. дис. ... д. т. н. : спец. 05.23.05 / Чистяков В. В., КНУБА. – Київ, 1994. – 33 с.
48. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів : навч. посіб. / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер [та ін.]; під ред. В. І. Братчуна. – Макіївка : ДонНАБА, 2006. – 303 с.
49. Сліпенька О. П. Энергозбереження при автоклавному обробленні будівельних виробів / О. П. Сліпенька. // Вісник ВПІ. – 2007. – № 4. – С. 24–27.
50. Аксёнова Л. Л. Энергетические аспекты тепловой обработки легобетонных изделий и конструкций / Л. Л. Аксёнова, Л. Х. Загороднюк, А. С. Тарасов. // Сборник Международной научно-методической конференции «Экология – образование, наука и промыш-

шленность», 2002. Режим доступа : http://www.bstu.ru/research/scientific_work/conf.

51. Колісник О. П. Перспективи використання автоклавної обробки будівельних виробів / О. П. Колісник. // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : наук.-техн. зб. – 2007. – № 4. – С. 75–78.

52. Патент 2082701. Россия МКИ С04В40/02, В28В11/24. Способ термовлажностной обработки, преимущественно блочных бетонных изделий / А. Н. Шичков, Е. Б. Гительман, С. Б. Ябко и др. – № 5067018/03 ; заявлено 4.04.92; опубл. 27.06.97, Бюл. № 13.

53. Строительство и реконструкция. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.stroymart.com.ua/ru/publications>.

54. Патент 2121468. Россия МКИ С04В40/02, В28В11/24. Способ тепловлажностной обработки строительных материалов с рекуперацией тепла и установка для его осуществления / З. М. Хаимский. – № 97102075/03 ; заявлено 13.02.97; опубл. 10.11.98, Бюл. № 21.

55. Патент 2115635. Россия МКИ С04В40/02. Способ термовлажностной обработки известково-кремнеземистых изделий автоклавного твердения / В. В. Цыро, М. А. Секержицкий, Ю. М. Поташников, В. П. Зенков, Г. Н. Степанов, А. З. Курбанов, В. И. Луцки, Ю. В. Чурсанов, А. И. Плужников. – № 97108261/03 ; заявлено 20.05.97 ; опубл. 20.07.98, Бюл. № 14.

56. Патент 2136635. Россия МКИ 6 С04В40/02, С04В38/08. Способ тепловой обработки полистиролбетонных изделий и конструкций / В. А. Рахманов, В. И. Мелихов, В. В. Девятов, А. И. Козловски, В. И. Шумилин. – № 97102984/03; Заявлено 26.02.97; Опубл. 10.09.99, Бюл. № 17.

57. Патент 2028996. Россия МКИ С04В40/02. Способ тепловой обработки изделий из тяжелого бетона / С. А. Дикань, М. А. Коршунов, Н. Н. Куприянов. – № 4947604/33 ; заявлено 24.06.91 ; опубл. 20.02.95, Бюл. № 4.

58. Патент 2297025. Россия МКИ G05D 27/00. Способ автоматизированного управления процессом тепловой обработки бетона в условиях открытой строительной площадки / Н. М. Плотников, А. М. Киргизов – № 2005122237/28 ; заявлено 2005.07.13 ; опубл. 2007.04.10.

59. Патент 533649. СССР МКИ С21D9/00. Аэродинамический нагреватель / А. П. Поклонский, Н. Ф. Карташов, А. И. Тюмеров, А. Л. Дудник. – № 2197164/02 ; заявлено 30.10.73 ; опубл. 04.11.76, Бюл. № 40.

60. Патент 487290. СССР МКИ F27D7/00. Аэродинамический нагреватель / А. Л. Дудник, А. П. Поклонский, А. И. Тюмеров. – № 1978953/22-1 ; заявлено 20.12.73 ; опубл. 05.10.76, Бюл. № 37.

61. Патент 309133. СССР МКИ C21D9/00. Рециркуляционная нагревательная установка / П. И. Тевис, В. А. Ананьев, В. М. Крюков, Д. М. Митин, А. Г. Печеркин, С. К. Тимошенко, И. К. Зырянов, В. М. Павлютенков. – № 1380728/22-3; заявлено 15.09.68 ; опубл. 09.07.71, Бюл. № 40.

62. Патент 40453. Україна МПК C04B 40/00 Пропарювальна камера / О. П. Колісник , І. В. Коц , заявник і патентовласник ВНТУ. – № u200812905 ; заявлено 05.11.2008 ; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.

63. Патент 40455. Україна МПК C04B 40/00 Спосіб тепловологісної обробки будівельних виробів / О. П. Колісник , І. В. Коц , заявник і патентовласник ВНТУ. – № u200812911 ; заявлено 05.11.2008 ; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.

64. Патент 45422. Україна МПК C04B 40/02 Спосіб виготовлення бетонних опор для садових та виноградних шпалер/ В. В. Дикий, О. П. Колісник , І. В. Коц , С. Б. Сторожук, заявник і патентовласник ВНТУ. – № u200905576 ; заявлено 01.06.2009 ; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21.

65. Романюк В. Н. Основы эффективного энергоиспользования на производственных предприятиях дорожной отрасли / В. Н. Романюк, В. Н. Радкевич, Я. Н. Ковалев. – Минск, 2001. – 287с.

66. Бродянский В. М. Эксергетический метод и его приложения / В. М. Бродянский, В. К. Фратшер, К. П. Михалек. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 288 с.

67. Колісник О. П. Енергозбереження при тепловологісній обробці бетонних виробів / О. П. Колісник. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – 2009. – № 33. – С. 225–227.

68. Сліпенька О. П. Енергозбереження при автоклавному обробленні будівельних виробів / О. П. Сліпенька. // Вісник ВПІ. – 2007. – № 4. – С. 24–27.

69. Чепурний М. М. Основы технічної термодинаміки : підручник / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко. – Вінниця : Поділля–2000, 2004. – 352 с.

Наукове видання

**Коц Іван Васильович
Колісник Олена Петрівна**

**ТЕПЛОВОЛОГІСНА ОБРОБКА БЕТОННИХ ВИРОБІВ
З ВИКОРИСТАННЯМ АЕРОДИНАМІЧНОГО НАГРІВАННЯ**

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено Колісник О. П.

Підписано до друку 31.01.2013 р.
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. др. арк. 5,77
Наклад 300 (1-й запуск 1–75) Зам № 2013-021

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 у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.