

УДК 621.43.016 : 666.94

Ю. В. ШУЛЬГІН, канд. техн. наук, доц.; доц. НТУ «ХПІ»;
Я. В. ЖНІТОВ, аспірант НТУ «ХПІ»

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОБЕТОНУ

Теплові установки застосовуються для тепловологісної обробки бетонних виробів. Тепловологісна обробка здійснюється в теплових установках різної конструкції, але із застосуванням різних видів теплоенергоносіїв. У зв'язку з цим є актуальним виявлення раціонального теплоенергоносія з точки зору мінімальної собівартості тепловологісної обробки. Представлена авторами стаття є дослідженням ефективності енергоносіїв, які застосовуються в теплових установках для теплової обробки залізобетонних виробів.

Ключові слова: тепла обробка, енергоносії, витрата, бетон, енергоефективність.

Постановка завдання у загальному вигляді

В основі сучасного інтенсивного виробництва виробів збірного залізобетону і прискореного зведення монолітних залізобетонних конструкцій лежить теплотехнологія бетону. Саме ця технологія, використовувана в Україні стосовно до самотвердіючої системі «цемент-вода», є економічно обґрунтованою та успішно вирішує завдання досягнення необхідної якості виробів при високій продуктивності. Однак цей процес і в цілому виробництво бетону та залізобетону ще досить енергоємні, і дієвим стимулом і напрямком їх розвитку є енерго- та ресурсозбереження.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Дослідження багатьох авторів показують [1], що питання енергозбереження та раціонального використання енергоносія є визначальним у формуванні ціни на залізобетонні вироби. Визначення раціонального енергоносія повинно проводитися для кожної країни індивідуально, виходячи з конкретної економічної ситуації [2].

Виділення невирішеної частини загальної проблеми

Висока енергоємність при виробництві залізобетону обумовлює необхідність пошуку, розробки та аналізу шляхів зниження енергоємності і матеріальних витрат.

Формулювання цілей статті

Метою статті є аналіз існуючих способів виробництва залізобетонних виробів та визначення перспективних напрямків їх вдосконалення.

Виклад основного матеріалу

Результати виконаного енергетичного обстеження декількох Харківських заводів бетону і залізобетону дозволили уточнити структуру заводських енерговитрат (табл. 1) розкрити значні резерви енергозбереження, зокрема, економії теплової енергії і палива (табл. 2).

Сучасні українські підприємства, що успадкували потужні централізовані внутрішньозаводські енергетичні системи, не можуть працювати за принципом високої енергоефективності. При цьому відношення спожитої енергії до виробленої не повинно бути нижче 0,9.

А відношення корисної енергії до спожитої – не нижче 0,8. Такі показники з результуючим ККД не нижче 0,7 не досяжні для централізованих заводських систем і, в першу чергу, систем теплових і стисненого повітря, що працюють з ККД, рівним 0,1..0,3.

Шляхи підвищення енергоефективності існуючих централізованих енергосистем досить затратні і малоефективні. Децентралізація цих систем – найбільш результативний шлях підвищення заводської енергоефективності. При загальній користі цього напрямку з системи централізованого енергопостачання насамперед слід вивести технологічне енергоспоживання, що становить (40–60) % в енергобалансі підприємства [3].

Таблиця 1.

Структура теплоспоживання на заводах бетону і залізобетону в зимовий період

№ п/п	Споживачі теплової енергії	Енерговитрати, %	Резерв енергозбереження, %
1	Котельня підприємства	8	3
2	Заводські теплотраси	12	2
3	Технологія: теплова обробка виробів; підігрів інертних матеріалів; підігрів води при приготуванні бетонних матеріалів	40 12 3	15 6 1
4	Опалення, вентиляція, гаряче водопостачання	25	8
5	Загалом	100	35

Таблиця 2.

Показники резерву енергозбереження в теплових системах підприємств бетону та залізобетону

№ п/п	Найменування підприємства	Об'єм виробництва річний, тис. м ³	Витрата газу фактична за рік, млн. нм ³	Економія газу за рік при забезпеченні нормативного теплоспоживання, млн. нм ³
1	ПАТ «Курязький домобудівний комплекс»	300	16,5	3,3
2	ЗАТ Завод ЗБК-5	130	8,70	1,75
3	Загалом: середнє значення	215	12,6	2,52

Технічні варіанти децентралізації заводського теплопостачання можуть бути вирішені на базі наступних автономних систем:

1) газових на основі: автономних парових або водогрійних котлів; теплогазогенераторів прямого та непрямого нагріву; газопроменевих нагрівачів модульних або лінійних;

2) рідкопаливних на основі: парогенераторів; генераторів гарячого повітря прямого та непрямого нагріву (теплогенераторів);

3) електричних на основі: автономних котлів парових або водогрійних калориферів; нагрівачів панельних або ТЕНів; інфрачервоних нагрівачів; індукційних нагрівачів; електродного нагріву бетонної суміші.

Найбільш ефективними автономними способами теплової обробки бетону, порівняно з існуючим централізованим паропрогрівом, є електророзігрів бетонної суміші і термообробка виробів у середовищі продуктів згоряння газу (табл. 3).

Прикладами ефективного застосування автономних газових теплогенераторів прямого нагріву типу ТРГ (камери теплової обробки виробів ямні та тунельні), ВЗ – повітрянагрівачі змішувальні (бункери з підігрівом піску та щебню), ВГС та ВРК (нагрів середовища у виробничих приміщеннях) є підприємства ПАТ «Курязький домобудівельний комплекс» та ЗАТ «Завод ЗБК-5» (обидва м. Харків).

Незалежно від способу тепlopідвода та системи теплопостачання теплових агрегатів, режими теплової обробки виробів у них повинні відповідати критеріям

енергоефективності, згідно з яким визначається мінімальна тривалість активного періоду теплової обробки, пов'язаного з енергоспоживанням. Одним з таких критеріїв обмеження технологічного енергоспоживання є міцність бетону на рівні (30–40) % R_m , якій відповідає певний, залежний від групи цементу, розмір переданих бетону градусогодин, після якого процес твердіння при повільному охолодженні має ланцюговий характер, незалежний від зовнішнього теплового впливу.

Шлях технічного удосконалення відомих теплових методів з зовнішнім по відношенню до ущільненого бетону теплопідводом по результативності практично себе вичерпав у разі використання продуктів згоряння газу. Він дозволяє підняти тепловий ККД процесу до 30 %, а іноді до 60 % [4].

Таблиця 3.

Енергетичні характеристики способів теплової обробки бетону

№ п/п	Способи теплової обробки бетону	Характеристики способів		
		Середній тепловий ККД у період розігріву	Витрата енергії питома	Витрата палива питома, кг·у.п. м ³
1	Електророзігрів бетонної суміші	0,93	30–40 кВт·год/м ³	9,6–12,8
2	Електрообігрів виробів у камерах	0,42	80–120 кВт·год/м ³	25,6–38,4
3	Теплова обробка у середовищі продуктів згоряння газу	0,26	15–20 нм ³ /м ³	17,1–22,8
4	Теплова обробка з використанням рідкопаливних теплогенераторів	0,22	15–20 кг/м ³	20,3–27,1
5	Паропрогрів централізований: фактичний; нормативний	0,10	0,3–0,4 Гкал/м ³	51–68
		0,20	0,15–0,2 Гкал/м ³	25,5–34
6	Паропрогрів автономний (газ-пар)	0,30	0,12–0,15 Гкал/м ³	20–25

Нова тепла схема теплотехнології бетону передбачає реалізацію прискореного електророзігріву бетонної суміші до її укладання у форми і ущільнення.

Принципи такої схеми є якісно новими, незважаючи на те, що в основі своїй відомі:

1) використання бетонної суміші як провідника електричного струму з хорошими на ранній стадії електропровідними властивостями;

2) реалізація раннього, швидкого і рівномірного прогрівання бетону:

а) з початковим цільовим розігрівом розчинної складової, що активізує процеси гідратації цементу та структуроутворення бетону;

б) подальшим нагріванням шляхом теплопередачі крупного заповнювача як акумулятора теплової енергії для наступної стадії «термоса»;

в) ущільненням (вібрація, пресування, трамбування, центрифугування, привантажувач) розігрітого бетону і практичною реалізацією при цьому прихованих фізичних резервів підвищення енергоефективності та якості виробів;

г) термосним витримуванням виробів і конструкцій на постах ліній і в традиційних теплових агрегатах з використанням акумульованої енергії без енергоспоживання до набору бетоном розпалубочної міцності.

Електророзігрів бетонної суміші, заснований на використанні електропровідних властивостей цементноводної рідкої фази, є енергетично і технологічно ефективним тепловим методом прискорення твердіння бетону, що дозволяє:

1) сконцентрувати процес теплової обробки бетону в часі і просторі як у заводських, так і в будівельних умовах;

2) прогрівати бетон швидко в ранньому віці, в період найбільшої концентрації реагуючих речовин;

3) витіснити при подальшому ущільненні бетону повітря і водяну пару, що розширилися, забезпечивши цим сприятливий термонапружений стан, і отримати в подальшому, при охолодженні, бетон без тріщин з більш щільною структурою;

4) ефективно акумулювати теплову енергію в масі бетону в період його найбільшої електро- і теплопровідності з незначною тепловіддачею малотеплоємкому матеріалу форм або опалубки;

5) здійснювати розігрів, укладання і ущільнення бетонної суміші в широкому діапазоні температур в залежності від умов;

6) ефективно поєднувати тепловий вплив з застосуванням пластифікуючих хімічних добавок прискорювачів твердіння бетону;

7) істотно спростити і підвищити надійність системи автоматичного керування, регулювання і контролю.

Технічне рішення електророзігріву бетонної суміші повинно відповідати наступним принципам:

1) відсутність, по можливості, значних за обсягом скупчень попередньо розігрітої бетонної суміші поза формами або опалубками; швидкий і рівномірний розігрів суміші в межах невеликих ділянок або обсягів;

2) відсутність можливості передчасного схоплювання бетонної суміші; збереження електропровідних властивостей і рухливості бетонної суміші за час розігріву;

3) непорушність суцільності прогріваємого об'єму бетонної суміші; самоочищення електродів;

4) технічна простота, надійність, безпека; сумісність з будь-якими бетонованими конструкціями і технологіями.

Існуюча в даний час тепла схема теплотехнології бетону, розподілена в часі (досить тривалий) і просторі (багато камер, стендів, агрегатів із системою теплопостачання), недостатньо використовує енергетичний і міцностний потенціал вхідних матеріалів [5].

Оцінка комплексного ефекту, який дає заводська теплотехнологія бетону на основі електророзігріву бетонної суміші, у порівнянні з традиційним паропрогрівом виробів наведена в табл. 4: енергетичний ефект – витрата палива скорочується більш ніж в 3 рази (п. 3); екологічний ефект – обсяг спалюваного газу і викиди в атмосферу скорочуються майже в 2,5 рази.

Оцінити технічні переваги теплотехнології бетону з електророзігрівом бетонної суміші і порівняти цю технологію за техніко-економічними показниками з найбільш ефективним прогріванням бетону в середовищі продуктів згоряння природного газу дають можливість дані наведені у табл. 5.

Таблиця 4.

Показники ефективності нової схеми тепло технології бетону

№ п/п	Найменування показників	Одиниця вимірювання	Значення показників при тепловій обробці	
			з паропрогрівом виробів	з електророзігрівом суміші
1	Витрата енергії агрегатна	Гкал/м ³	0,20–0,3	—
		кВт·год/м ³	—	30–40
2	Витрата енергії повна	Гкал/м ³	0,25–0,37	—
		кВт·год/м ³	—	37–50
3	Витрата палива	кг у.п./м ³	42,5–64	12–16

Окончание таблицы 4

4	Витрата газу	нм ³ /м ³	37,3–56	10,5–14
5	Оцінка маси шкідливих викидів в атмосферу в еквіваленті CO ₂ (технологічна): маса викидів питома	кг/м ³	64	21,5–28,6
6	Маса річна на завод с об'ємом виробництва 100 тис. м ³ : втрата газу річна на технологію маса викидів річна	млн. нм ³ т	3,125 6400	1,05–1,4 2150–2860

Таблиця 5.

Техніко-економічні показники методів теплової обробки залізобетонних виробів з використанням продуктів згоряння природного газу та електророзігріву бетонної суміші

№ п/п	Найменування показників	Одиниця вимірювання	Значення показників при теплової обробці виробів з використанням	
			Продуктів згоряння природного газу	Електророзігріву бетонної суміші
1	Продуктивність лінії	м ³	25000	25000
2	Кількість камер ямних	шт.	10	10
3	Витрата енергії питома: електрична; теплова; газу; палива	кВт·год/м ³ Гкал/м ³ нм ³ /м ³ кг·у.п./м ³	— 0,15–0,2 18–25 20,5–28,5	28 (Δt = 40 °C) 0,024 — 9
4	Тепловий ККД	%	12–16	95
5	Оцінка капітальних витрат на основне обладнання	грн.	500 000	125 000

Висновки по роботі і перспективи

На основі порівняння результатів дослідження певних заводів і методик теплової обробки бетону можна зробити висновок про доцільність застосування електророзігріву для теплової обробки бетону. Розглянуті методи та технічні рішення енергозберігаючої технології виготовлення залізобетонних виробів і конструкцій визначають як конкретні шляхи вдосконалення виробництва на основі децентралізації внутрішньозаводських енергосистем, так і напрямок, що забезпечує в перспективі комплексний енерготехнологічний ефект.

Список літератури: 1. *Торопова, М. В.* Влияние тепловлажностной обработки на структурообразование и эксплуатационные свойства бетона [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / Мария Владиевна Торопова. – Иваново, 2002. – 130 с. : ил. РГБ ОД. 2. *Кошельник, В. М.* Основи проектування теплотехнічних установок підприємств промисловості будівельних матеріалів [Текст] : навч. посібник / В. М. Кошельник, Ю. В. Шульгін, О. В. Кошельник, В. В. Соловей ; Харківський політехнічний ін-т, нац. техн. ун-т. – Харків : Підручник НТУ «ХПІ», 2013. – 216 с. – ISBN 978-966-2426-85-4 3. *Баженов, Ю. М.* Технология бетонных и железобетонных изделий [Текст] / Ю. М. Баженов, А. Г. Комар. – М. : Стройиздат, 1984. – 215 с. 4. *Перегудов, В. В.* Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий и деталей [Текст] / В. В. Перегудов, М. И. Роговой. – М. : Стройиздат, 1983. – 187 с. 5. *Безверхий, А. А.* Изменение прочности бетонов во времени [Текст] / А. А. Безверхий // Технологии бетонов. – 2009. – № 5. – с. 38–40. – ISSN 1813-9787.

Bibliography (transliterated): 1. *Toropova, M. V.* *Vlijanie teplovlazhnostnoj obrabotki na strukturoobrazovanie i jekspluatacionnyje svojstva betona.* Ivanovo, 2002. Print. 2. *Koshel'nik, V. M., et al.* *Osnovi proektuvannja teplotehnichnih ustanovok pidpriemstv promislovosti budivel'nih materialiv.* Kharkiv : NTU "HPI", 2013. ISBN 978-966-2426-85-4. Print. 3. *Bazhenov, Ju. M., and A. G. Komar.* *Tehnologija betonnyh i zhelezobetonnyh izdelij* Moscow : Strojizdat, 1984. Print. 4. *Peregudov, V. V., and M. I. Rogovoj* *Teplovyje processy i ustanovki v tehnologii stroitel'nyh izdelij i detalej.* Moscow : Strojizdat, 1983. Print. 5. *Bezverhij, A. A.* "Izmenenie prochnosti betonov vo vremeni." *Tehnologii betonov* 5 (2009): 38–40. ISSN 1813-9787. Print.

Поступила (received) 09.02.2015