

УДК 621.43.016 : 666.94

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

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕПЛОВИХ ВИТРАТ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ У ПЕРІОД ІЗОТЕРМІЧНОЇ ВИТРИМКИ В УСТАНОВЦІ ЯМНОГО ТИПУ**

Наведена методика оптимізації використання енергоресурсів на підприємствах будівельної галузі, на яких використовуються традиційні пропарювальні камери ямного типу, або ковпакові камери. Наведені результати дослідження, для уможливлення переходу пропарювальних камер вище наведеного типу в автономний режим тепlopостачання в період ізотермічної витримки виробів за допомогою удосконалення шару теплової ізоляції камери. Обраний найбільш доцільний теплоізоляційний матеріал, який можна застосовувати для камер даного типу.

**Ключові слова:** оптимізація, залізобетон, екзотерія цементу, ізотермічна витримка, пропарювальна камера.

### **Вступ**

Твердіння залізобетонних виробів може відбуватися в природних умовах при нормальній температурі і в умовах теплової обробки (штучні умови тверднення). Теплова обробка, яка дозволяє прискорити тверднення бетонної суміші, є неодмінною операцією при заводському виготовленні залізобетонних виробів.

Для формування структури бетону, особливо важливим критерієм є – вологосні умови твердіння, тому в багатьох випадках слід віддати перевагу тепловологісній обробці залізобетонних виробів (пропарюванню і запарюванню). Теплову обробку залізобетонних виробів проводять до досягнення бетоном міцності близько 70 % від необхідної проектної, що дозволяє транспортувати вироби на будівельний майданчик і монтувати конструкції з них.

Пропарювання при нормальному тиску проводять в камерах періодичної або безперервної дії, яке є найбільш економічним способом теплової обробки. З-поміж камер пропарювання періодичної дії найбільш широке застосування мають камери ямного типу.

Відформовані вироби, що знаходяться в формах або на піддонах, завантажують у камеру в кілька рядів по висоті, після чого камеру закривають кришкою, що перешкоджає втраті тепла і пари. Пар в камеру подається з котельні постійно залежно від встановленого режиму пропарювання так, що забезпечує швидкість підвищення температури в камері від 20 до 35 °С в годину, до максимальної – 85–100 °С. При цьому виріб прогрівається на всю товщину і витримується при цій температурі 6–8 годин, після чого поступово охолоджується. Тривалість становить близько 14–20 годин для пластичних бетонних сумішей і 4–8 годин – для жорстких[1].

### **Постанова завдання**

Необхідність економії паливно-енергетичних ресурсів змусила шукати можливості зниження витрат пари на тепловологісну обробку, одним з таких шляхів для традиційних ямних камер та камер ковпакового типу, які можуть стати альтернативою ямних за усіма параметрами, може стати перехід установки в автономний режим під час ізотермічної витримки виробів за рахунок повної компенсації витрат у навколишнє середовище за рахунок тепла екзотерії цементу шляхом удосконалення ізоляційного шару установки.

© Ю.В. Шультгін, Я.В. Жнітов, 2015

Процес твердіння бетону, як відомо, супроводжується виділенням тепла внаслідок екзотермічної реакції гідратації цементу. Тепло, що виділяється тільки за перші 3–4 години, складає порядку 20 % усього тепла, яке витрачається на нагрів виробів і повинне враховуватися при теплотехнічних розрахунках [2]. В період ізотермічної витримки тепло екзотерії цементу, яке виділяється під час цього процесу також має великий потенціал і може повністю покрити потреби апарата у притоці тепла в цей період, при умові зменшення витрат тепла через корпус установки та зменшення витрат через нещільності корпусу за рахунок використання шару з теплоізоляційного матеріалу.

**Проведення теоретичного дослідження**

Задавшись втратами тепла через ізоляцію, рівними теплу від процесу екзотермії цементу при протіканні процесу ізотермічної витримки:

$$Q_{\text{екз}} = Q_{\text{н.с.}}; \tag{1}$$

$$Q_{\text{екз}} = 0,0023 Q_{\text{e28}} \left( \frac{B}{C} \right)^{0,44} \bar{t}_2^n \tau_2 G_{\text{ц}}; \tag{2}$$

$$Q_{\text{н.с.}} = k F \Delta t \tau_2. \tag{3}$$

Тут формула 2 – вираз для знаходження тепла екзотермії цементу, за час ізотермічної витримки, а формула 3 – вираз для знаходження втрат тепла через стінки камери за той самий час.

Таким чином підставивши у формулу (1) значення з формул (2) та (3) та провівши необхідні математичні операції можна отримати необхідне значення коефіцієнту теплопередачі, при якому стане можливим перехід у автономний режим тепlopостачання в період ізотермічної витримки виробів.

Результати необхідного значення коефіцієнту  $k$  в залежності від марки цементу (300, 400, 500) наведено у таблиці 1.

Таблиця 1.

Необхідне значення коефіцієнту теплопередачі, в залежності від марки цементу

Марка цементу	$Q_{\text{e28}}$ , кДж/(кг·°C)	$Q_{\text{екз}}$ , кДж	$k$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
300	334	269124,3	1,1
400	419	337614,1	1,4
500	501	403686,5	1,7

Умовно, для подальших розрахунків, позначимо необхідний коефіцієнт теплопередачі як  $k_2$ , а коефіцієнт характерний для звичайних ямних апаратів без додаткової ізоляції як  $k_1$ , його значення знаходиться в межах 5–7 Вт/(м<sup>2</sup>·°C). Для розрахунків приймемо значення 6 Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

Таким чином для знаходження товщини ізоляції

$$\delta = \left( \frac{1}{k_2} - \frac{1}{k_1} \right) \lambda_{\text{із}}. \tag{4}$$

Для апарату обираємо декілька видів ізоляції з [3], їх переваги та недоліки наведено у таблиці 2. Для кожного виду проводимо обчислювання за формулою (4) і зводимо данні в таблицю 3. А розрахунки грошових затрат зведено у таблицю 4.

Таблиця 2.

Переваги та недоліки ізоляційних матеріалів

Матеріал	Переваги	Недоліки
Мінвата	Дозволяє накопичувати тепло, перешкоджає вільній передачі теплового випромінювання	Працювати небезпечно, може виділяти фенол
Пінобетон 1000	Високий рівень теплозбереження, високий рівень шумоізоляції, легкість. Термін експлуатації не обмежений	Низька міцність, високий рівень водопоглинання, можлива деформація
Пінобетон 300		
Пінопласт	Високі теплоізоляційні властивості, легкість, простота обробки, стійкий до впливу хімічних речовин	Не стійкий до механічного впливу, горючий, виділяє токсичні речовини
Полістирол	Мінімальний рівень вологопоглинання, міцність, легкість, пожежобезпечність	Підтримує горіння при постійному джерелі вогню
Кермазитобетон	Екологічність, високий ступінь проникності, не гниє, не іржавіє	Висока ціна, не легкий
Скловата	Підвищена міцність і пружність, вібростійкість, м'якість, еластичність	Гігроскопічність, необхідність обережності при укладенні
Монтажна піна	Проста у застосуванні, розширюючись – заповнює усі важкодоступні місця	Не виносить впливу ультрофіолетових промінів, вимагає додаткову обробку після застигання

Таблиця 3.

Зведені данні для ізоляційних матеріалів

Матеріал	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	Міцність $\sigma$ , МПа	Допустима температура використання, °С	Товщина шару ізоляції в залежності від марки цементу, $\delta$ , мм		
				300	400	500
Мінвата	0,056	0,02	700	42	31	24
Пінобетон 1000	0,29	0,05	1200	215	159	122
Пінобетон 300	0,08	0,06	1200	59	43	33
Пінопласт	0,047	0,05–0,2	160–200	35	26	20
Полістирол	0,082	0,07	1000	61	45	35
Кермазитобетон	0,2	0,05–0,2	200–400	150	110	84
Скловата	0,0377	0,02	450	28	21	16
Монтажна піна	0,04	0,03	100	30	22	17

Зведені данні для вирахування затрат

Матеріал	Вартість, грн./м <sup>3</sup>	Повна вартість з умов необхідної товщини, в залежності від марки цементу, грн.		
		300	400	500
Мінвата	575	3623	2674	2070
Пінобетон 1000	625	20156	14906	11438
Пінобетон 300	770	6815	4967	3812
Пінопласт	520	2730	2028	1560
Полістирол	950	8693	6413	4988
Керамзитобетон	630	14175	10395	7938
Скловата	200	840	630	480
Монтажна піна	500	2250	1650	1275

### Результати дослідження та висновки

1) Доведена принципова можливість автономної теплової обробки бетонних виробів, в період ізотермічної витримки, при використанні тепла екзотермії цементу без застосування додаткових джерел теплової енергії.

2) Визначені основні параметри теплової ізоляції термокамер для обробки бетонних виробів при роботі в автономному температурному режимі з використанням попутної енергії екзотермії цементу.

3) У якості ізоляційного матеріалу виходячи з наведеного рекомендується використовувати: мінвату, пінопласт, скловату, або монтажну піну, з огляду на товщину шару необхідної ізоляції для забезпечення умов автономної роботи установки в період ізотермічної витримки та з огляду на ціну цих матеріалів. Але найбільш ефективним з огляду на переваги та недоліки матеріалів та з огляду на особливості монтажу найбільш доцільним буде використання монтажною піни.

**Список літератури:** 1. 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. 2. Мар'ямов, Н. Б. Тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона. Процессы и установки [Текст] : учеб. пособие / Н. Б. Мар'ямов. – М. : Стройиздат, 1970. – 226 с. 3. Братута, Е. Г. Пористі теплоізоляційні матеріали [текст] : моногр. / Е. Г. Братута, А. М. Павленко, А. В. Кошляк, О. В. Круглякова. – Харків : ТОВ «ЕДЕНА», 2010. – 107 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Koshel'nik, V. M., et al. *Osnovi proektuvannja teplotehnichnih ustanovok pidpriemstv promislovosti budivel'nih materialiv*. Kharkiv : NTU "KhPI", 2013. ISBN 978-966-2426-85-4. Print. 2. Mar'jamov, N. B. *Teplovaja obrabotka izdelij na zavodah sbornogo zhelezobetona. Processy i ustanovki*. Moscow : Strojizdat, 1970. Print. 3. Bratuta, E. G., et al. *Poristi teploizoljacijni materialy*. Kharkiv : TOV "EDENA", 2010. Print.

*Поступила (received) 09.02.2015*