

Колісник О. П., Коц І. В., канд. техн. наук

ВИКОРИСТАННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО НАГРІВАННЯ ПРИ ТЕПЛОВОЛОГІСНІЙ ОБРОБЦІ БЕТОННИХ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація. У статті розглянуто тепловий баланс при тепловологісній обробці бетонних дорожніх конструкцій в пропарювальній камері з аеродинамічним нагрівачем роторного типу. Наведено схему технологічного процесу виготовлення бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагрівання.

Ключові слова: тепловологісна обробка, пропарювальна камера, аеродинамічний нагрівач роторного типу, автомобільна дорога, технологічні режими, бетонні дорожні конструкції.

Аннотация. В статье рассмотрен тепловой баланс при тепловлажностной обработке бетонных дорожных конструкций в пропарочной камере с аэродинамическим нагревателем роторного типа. Приведена схема технологического процесса изготовления бетонных изделий с использованием аэродинамического нагрева.

Ключевые слова: тепловлажностной обработки, пропарочная камера, аэродинамический нагреватель роторного типа, автомобильная дорога технологические режимы, бетонные дорожные конструкции.

Annotation. The paper considers the heat balance in the treatment of thermal and humidity of concrete road construction in curing chamber with aerodynamic rotor type heater. Shows a diagram of the process of manufacturing concrete products using aerodynamic heating.

Keywords: thermal and humidity treatment, curing chamber, heater aerodynamic rotor type, road, technology modes, concrete road construction.

Вступ

З розвитком технічного прогресу, збільшенням транспортного вантажопотоку і створенням розгалуженої дорожньої мережі, необхідні ще

більш досконалі матеріали і вироби для спорудження доріг. Дорожнє полотно, а також його складові бетонні дорожні конструкції, не повинні руйнуватися протягом тривалого часу і при цьому мати велику пропускну спроможність та витримувати великі навантаження. Максимально наближеними до вимог висунутих до дорожнього полотна є бетонні дорожні плити, які широко застосовуються для будівництва доріг під автотранспорт з великою тоннажністю. Бетонні дорожні плити, камені бетонні і залізобетонні бортові, мостові конструктивні елементи виготовляються з важкого бетону з використанням арматури, як напруженої, так і без напруження. Такі вироби повинні бути достатньо міцними і мати тривалий термін експлуатації, що досягається завдяки тепловологісній обробці, а також використанню спеціальних добавок, які покращують їх фізико-механічні властивості [1]. Комплексне використання на підприємствах нової енергозберігаючої автономної системи та відповідного устаткування для тепловологісної обробки бетонних виробів із аеродинамічним нагрівачем роторного типу дозволяє підвищити якість бетонних дорожніх конструкцій, а також оптимізувати, або повністю відмовитись від малоефективних і високовартісних технологічних мереж, виключити тепловтрати під час транспортування теплоносія, покращити екологію виробництва.

Метою роботи є дослідження процесу тепловологісної обробки бетонних дорожніх конструкцій в пропарювальній камері з використанням аеродинамічного нагрівання на основі порівняння енергетичних балансів існуючого обладнання для теплової та тепловологісної обробки бетонних виробів.

Основна частина

Зміна стану пароповітряного середовища при тепловологісній обробці відбувається при тепловій або механічній чи при сумарній тепловій і механічній дії. Теплова дія відбувається при передачі теплоти пароповітряному середовищу, механічна – при здійсненні даним об'ємом деякої роботи або в наданні йому зовнішньої роботи. Відомо, що кількість теплоти Q , Дж, отриманої від витраченої роботи A , Дж, чисельно дорівнює цій роботі. Згідно першого закону термодинаміки [2] теплота ΔQ передана пароповітряному середовищу витратиться, частково, на підвищення його температури, тобто на збільшення внутрішньої енергії ΔU пароповітряного середовища та, частково, на здійснення зовнішньої роботи A ,

$$\Delta Q = \Delta U + A. \quad (1)$$

Під час переміщення пароповітряного середовища частина теплоти витрачається на зміну кінетичної енергії, тоді рівняння балансу енергії, згідно [1], матиме наступний вигляд:

$$\Delta Q = \Delta U + A + \Delta(v^2/2), \quad (2)$$

де $\Delta(v^2/2)$ – зміна кінетичної енергії пароповітряного середовища.

Загальна формула теплового балансу при тепловологісній обробці бетону виробів в камерах періодичної дії [1]:

$$Q = K(Q_6 + Q_m + Q_{np}), \quad (3)$$

де Q – витрата теплової енергії, МДж/м³;

K – коефіцієнт, враховуючий втрати теплоти з конденсатом;

Q_6 – витрата теплової енергії на розігрівання бетону виробів з врахуванням тепловиділення, МДж/м³;

Q_m – витрата теплової енергії на розігрівання металу форм, МДж/м³;

Q_{np} – витрата теплової енергії на розігрівання елементів камери, МДж/м³.

$$Q_{np} = (q_1F_1 + q_2F_2 + q_3F_3 + q_4F_4 + q_5F_5)/V_6, \quad (4)$$

де F_1 – площа поверхні зовнішніх стін блоку камери вище нульової відмітки підлоги, м²;

F_2 – площа поверхні зовнішніх стін блоку камери нижче нульової відмітки підлоги, м²;

F_3 – площа поверхні днища, м²;

F_4 – площа поверхні кришки, м²;

F_5 – площа поверхні перегородок, м²;

V_6 – об'єм бетону прогріваних виробів, м³;

$q_1 - q_5$ – питомі втрати теплової енергії 1 м² поверхні окремих огорожень при різних температурах розігрівання виробів, МДж/м².

В загальному випадку повна енергія газу складається з його внутрішньої енергії (ентальпії) та роботи, яка здійснюється зі зміною його об'єму. Оскільки, вільний об'єм камери практично залишається незмінним під час

ТВО, тому зміна повної внутрішньої енергії пароповітряної суміші в камері буде приблизно дорівнювати зміні її ентальпії [3, 4, 6].

Таким чином, баланс енергії для пароповітряного об'єму ямної пропарювальної камери можна записати в наступному вигляді:

$$\frac{d(h^y M^y)}{d\tau} = Q^{III} + Q^{PK} + Q^{3T} - Q^{y,1} - Q^{y,2} - Q_{заг}^{\Phi} - Q_{заг}^B - Q_{заг}^K - Q_{заг}^{KL}, \tau > 0 \quad (5)$$

$$h^y M^y = h_0^y M_0^y, \tau = 0$$

де h_0^y , M_0^y – початкове значення, відповідно, ентальпії та маси пароповітряної суміші у вільному об'ємі установки;

$Q^{III} = G^{III} h^{III}$ – тепло, яке надходить в камеру за одиницю часу з технологічною парою через паропровід, Дж/с;

$Q^{PK} = G^{PK} h^{\Pi}$, $Q^{3T} = G^{3T} h^{\Pi}$ – тепло, яке надходить за одиницю часу з повітрям відповідно з припливного каналу і зворотної труби, Дж/с;

$Q^{y,1} = G^{y,1} h^y$, $Q^{y,2} = G^{y,2} h^y$ – тепло, яке втрачається за одиницю часу з потоками пароповітряної суміші, відповідно, з припливного каналу і зворотної труби, Дж/с;

$Q_{заг}^{\Phi} = S^{\Phi} q_{заг}^{\Phi}$ – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу формам виробів, Дж/кг;

$Q_{заг}^B = Q_{заг}^{B\epsilon} + Q_{заг}^{Bн}$ – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу верхній і нижній поверхні виробу ($Q_{заг}^{B\epsilon} = S^{B\epsilon} q_{заг}^{B\epsilon}$, $Q_{заг}^{Bн} = S^{Bн} q_{заг}^{Bн}$), Дж/с;

$Q_{заг}^K = S^K q_{заг}^K$ – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу корпусу камери, Дж/кг;

$Q_{заг}^{KL} = G^{B\epsilon} h^{B\epsilon} + G^{Bн} h^{Bн} + G^{\Phi} h^{\Phi} + G^K h^K$ – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу конденсату, Дж/кг;

h^{III} , h^{Π} , $h^{B\epsilon}$, $h^{Bн}$, h^{Φ} , h^K – питома ентальпія, відповідно, технологічної пари, повітря у виробничому приміщенні, а також конденсату який утворюється відповідно на верхній і нижній поверхні виробів, формах та корпусі камери, Дж/кг;

G^{III} – витрата технологічної пари, кг/с;

G^{PK} , G^{3T} – маса пари, яка надходить за одиницю часу, відповідно, з припливного каналу і зворотної труби, кг/с;

$G^{y,1}$, $G^{y,2}$ – кількість пари, яка втрачається з установки за одиницю часу, відповідно, через витяжний канал і зворотну трубу, кг/с;

$G^{B\phi}$, $G^{Bн}$, G^{Φ} , G^K – маса пари, яка конденсується за одиницю часу, відповідно, на верхній і нижній поверхні виробів, формах і корпусі камери, кг/с;

S^{Φ} , $S^{B\phi}$, $S^{Bн}$, S^K – площа теплосприймальної поверхні, відповідно, форм, верхньої і нижньої частини виробів, камери, м².

Після перетворень та з врахуванням вище викладеного рівняння (5) матиме вигляд:

$$\frac{d(h^y M^y)}{d\tau} = G^{III} h^{III} + (G^{PK} + G^{3T}) h^{\Pi} - (G^{y,1} + G^{y,2}) h^y + (G^{B\phi} - G^{Bн}) h^{B\phi} - (G^{B\phi} h^{B\phi} + G^{Bн} h^{Bн} + G^{\Phi} h^{\Phi} + G^K h^K) - Q_{заг}^{\Phi} - Q_{заг}^K, \tau > 0 \quad (6)$$

$$h^y M^y = h_0^y M_0^y, \tau = 0$$

Баланс енергії для пароповітряного об'єму пакетної установки можна записати в наступному вигляді [3]:

$$\frac{d(h^y M^y)}{d\tau} = Q^{III} - Q_{заг}^{\Phi} - Q_{заг}^B - Q_{заг}^K - Q_{заг}^{KD}, \tau > 0 \quad (7)$$

$$h^y M^y = h_0^y M_0^y, \tau = 0$$

Після перетворень рівняння (7) матиме вигляд:

$$\frac{d(h^y M^y)}{d\tau} = G^{III} h^{III} + (G^{B\phi} - G^{Bн}) h^{B\phi} - (G^{B\phi} h^{B\phi} + G^{Bн} h^{Bн} + G^{\Phi} h^{\Phi} + G^K h^K) - Q_{заг}^{\Phi} - Q_{заг}^K, \tau > 0 \quad (8)$$

$$h^y M^y = h_0^y M_0^y, \tau = 0$$

Для теплової обробки бетонних виробів значення корисної енергії визначається величиною енергії витраченої на розігрівання виробів в середині камери [3]:

$$Q_{кор} = m c (t_k - t_n) \quad (9)$$

де m – маса бетонних виробів, кг;

c – теплоємність бетону, Дж/кг °С;

t_k – температура теплової обробки бетону, °С;

t_n – початкова температура бетону, °С.

Проаналізувавши залежності (1 – 9) запишемо рівняння теплового балансу при тепловологісній обробці бетонних дорожніх конструкцій в пропарювальній камері з аеродинамічним нагріванням [11]:

$$Q_{АНРТ} + Q_B = Q_{\sigma} + Q_M + Q_{np} \quad (10)$$

де $Q_{АНРТ}$ – генерація теплової енергії аеродинамічним нагрівачем роторного типу, МДж/м³;

Q_B – кількість теплової енергії, що надходить разом з розпиленою водою над аеродинамічним нагрівачем роторного типу, МДж/м³;

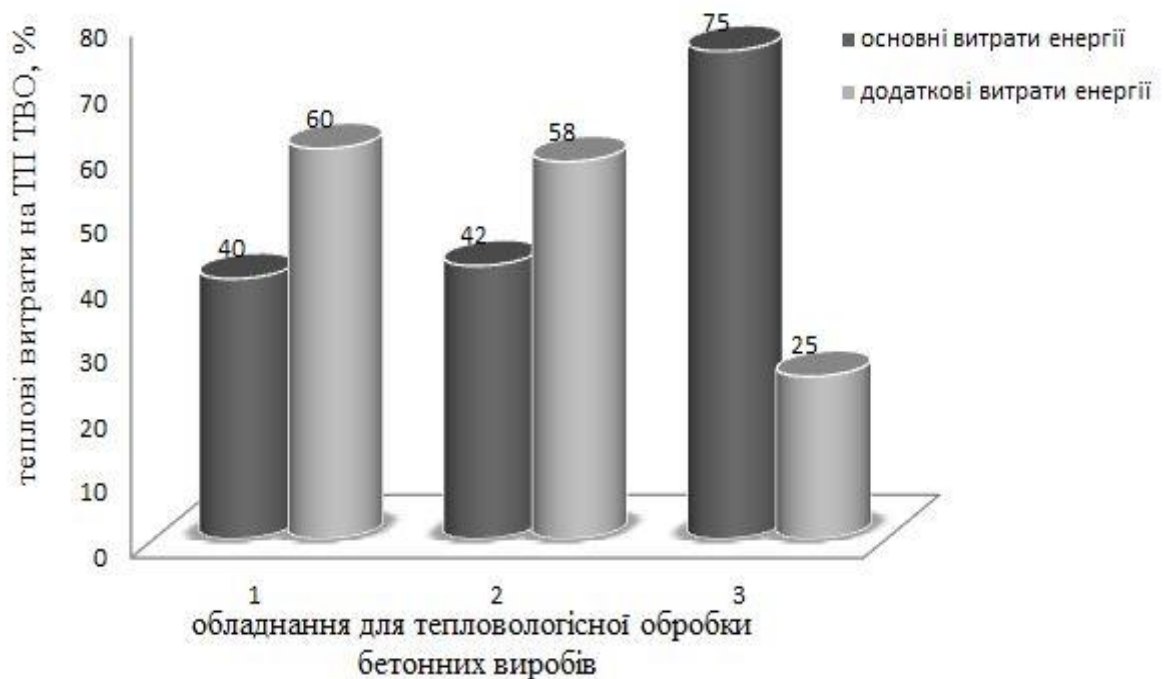
Величина загальних теплових витрат на реалізацію технологічного процесу тепловологісної обробки бетонних дорожніх конструкцій залежить від [8, 9]:

- основних витрат – кількості електроенергії необхідної для виготовлення 1 м³ бетону, не більше 80 кВт-год/м³;
- додаткових витрат:
- теплових витрат через огорожуючі конструкції пропарювальної камери, залежно від конструктивного виконання пропарювальної камери приймаємо близько 10%;
- механічні втрати – втрати в колесі ротора, приймаємо 5%;
- електричні втрати – втрати в двигуні, приймаємо 10%.

В результаті розрахунку витрат теплової енергії за наведеними тепловими балансами енергії для пароповітряного середовища залежності 5, 7, 10 отримано значення основних та додаткових витрат енергії рис. 1.

Переваги способу тепловологісної обробки бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагрівання у порівнянні з аналогами полягають в:

- скороченні непродуктивних витрат тепла в навколишнє середовище;
- значному економічному ефекті від економії енергоресурсів за рахунок розміщення джерела утворення пароповітряного середовища безпосередньо в пропарювальній камері.



1 – ямна пропарювальна камера, 2 – пакетна установка, 3 – пропарювальна камера з використанням аеродинамічного нагрівання

Рисунок 1 – Витрата теплової енергії на технологічний процес тепловологісної обробки бетонних виробів

Технологічний процес виробництва бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагріву (рис. 2) здійснюється в наступній послідовності [8 – 10]:

1. Підготовка форм:
 - очищення металу форм від бруду;
 - змащення спеціальним маслом для полегшення розбирання форми після виготовлення виробу;
 - протягування дроту через форму для фіксації внутрішнього каркасу виробу;
 - збирання форм.
2. Приготування бетонної суміші:
 - доставка складових бетонної суміші (щебінь, пісок, цемент, вода);
 - підготовка складових бетонної суміші;
 - дозування матеріалів за допомогою вагових дозаторів;
 - змішування складових бетонної суміші.
3. Укладання бетонної суміші у форму.
4. Віброущільнення бетонної суміші.

5. Встановлення форми в пропарювальну камеру.

6. Ввімкнення пропарювальної камери. Швидкість нагрівання 10-20°C/год до температури 80-85°C, тривалість 3 год; витримка при температурі 80-85°C, тривалість 6 год.; швидкість охолодження 10-20°C/год до температури 40°C, тривалість 3 год. Загальна тривалість процесу 12 год

7. Вимкнення пропарювальної камери та розпалублення виробів, перед розпалубленням різниця температури виробів і зовнішнього середовища не повинна перевищувати 20-40 °С.

8. Складування готових виробів.

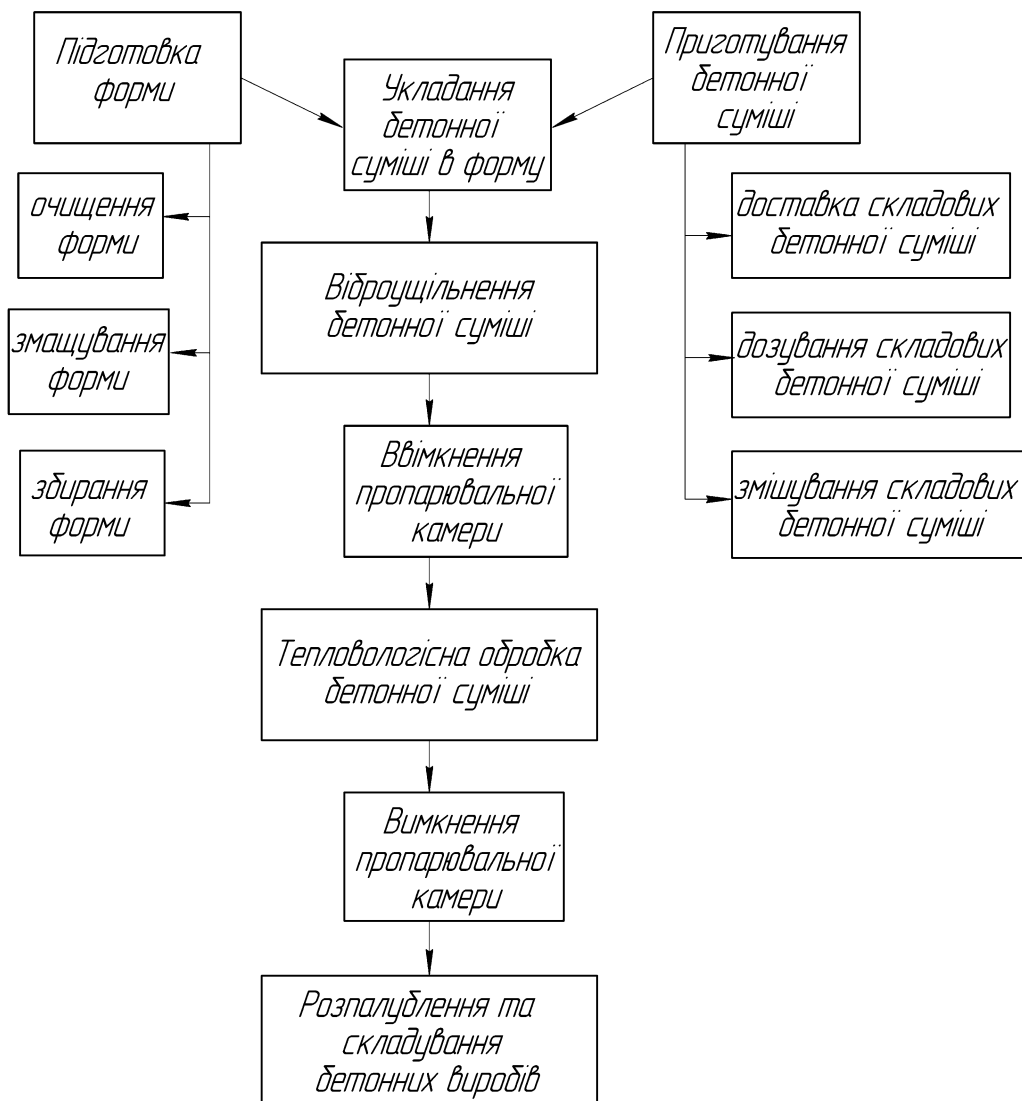


Рисунок 2 – Технологічна схема виготовлення бетонних виробів в пропарювальній камері з використанням аеродинамічного нагрівання

Висновок

В ході даної роботи було виконано порівняння енергетичних балансів пароповітряного середовища існуючого обладнання для виготовлення бетонних виробів і пропарювальної камери з використанням аеродинамічного нагрівання. Виконано порівняння основних та додаткових теплових витрат для досліджуваного обладнання для тепловологісної обробки. Складено баланс енергії пароповітряної суміші в пропарювальній камері з аеродинамічним нагрівачем роторного типу, на підставі розв'язання систем рівнянь якого можливо встановити раціональні параметри і режими технологічного процесу, які забезпечуватимуть підтримання температури та вологості пароповітряної суміші, відповідно до технологічного регламенту, на кожному етапі технологічного процесу тепловологісної обробки бетонних виробів в пропарювальній камері з аеродинамічним нагрівачем роторного типу. Запропоновано технологічну схему виготовлення бетонних виробів в пропарювальній камері з використанням аеродинамічного нагрівання

Література

1. ДСТУ Б В.2.7.-237:2010. Камені бетонні та залізобетонні бортові. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
2. Пособие по тепловой обработке сборных железобетонных конструкций и изделий [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.complexdoc.ru/>
3. Перегудов В. В. Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий и деталей / М. И. Роговой, В. В. Перегудов // М. : Стройиздат, 1983. – 416 с.
4. Подгорнов Н. И. Термообработка бетона с использованием солнечной энергии: Научное издание. / Н. И. Подгорнов – М.: Издательство АСВ, 2010. – 328 с.
5. Романюк В. Н. Основы эффективного энергоиспользования на производственных предприятиях дорожной отрасли / В. Н. Романюк, В. Н. Радкевич, Я. Н. Ковалев. – Минск, 2001. – 287 с.
6. Малинина Л. А. Тепловлажностная обработка бетона / Л. А. Малинина – М.: Стройиздат, 1977. – 159 с.
7. Электронная библиотека: [Общие вопросы бетона](http://www.hydrobeton.ru) [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://www.hydrobeton.ru>.
8. Посібник до ДБН А.3.1-7-96. Виробництво бетонних та залізобетонних виробів. – К. : Держкоммістобудування України. 1998. – 141 с.
9. ДБН А.3.1-7-96 Виробництво бетонних та залізобетонних виробів. – Київ: Держкоммістобудування України, 1997. – 54 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-69-98. Будівельні матеріали. Добавки для бетонів. Методи визначення ефективності. – Київ: Укрархбудінформ. 1998 – 39 с.
11. Патент 40453. МПК С04В 40/00 Пропарювальна камера/ О. П. Колісник, І. В. Коц. – № u200812905; Заявлено 05.11.2008; Опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.