

УДК 666.97.035.56

О. П. Сліпенька

## ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ АВТОКЛАВНОМУ ОБРОБЛЕННІ БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ

*Розглянуто питання забезпечення енергозбереження під час тепловологісного оброблення будівельних виробів, а також зменшення витрат на влаштування допоміжного обладнання.*

### Вступ

Готовність будівельних виробів, їх якість, собівартість продукції залежать головним чином від технології виконання процесу теплової обробки. Виробничий досвід свідчить, що процес теплової обробки займає майже 70...80 % часу всього циклу виготовлення виробів і є досить енергоємним. На цю стадію припадає близько 80 % енерговитрат [1]. Саме тому останнім часом використовують добавки, які прискорюють тверднення будівельних виробів. Використання таких добавок дозволяє виготовляти будівельні вироби без тепловологісної обробки, але є вироби, які потребують обробки підвищеними температурами і тисками. В результаті розгляду відомих публікацій [1—4] було з'ясовано, що в наш час тепловологісне оброблення будівельних виробів здійснюється в установках, які мають різні конструктивні особливості. Конструктивне виконання цих установок потребує великих витрат на влаштування допоміжного обладнання (котельні і комунікації). Зважаючи на це доцільно замінити котельню і комунікації на джерело пароутворення безпосередньо в автоклаві.

### Постановка задачі

Задачею роботи є розробка заходів енергозбереження для автоклавної установки тепловологісного оброблення, дослідження якої сприятимуть удосконаленню запропонованої технології шляхом підбору і оптимізації основних параметрів технологічного процесу та його окремих операцій, що забезпечать підвищення енергоефективності установки в цілому.

### Основна частина

Схема автоклавної установки тепловологісного оброблення [5, 6] показана на рис. 1. Ця установка працює так. Візок 4 зі встановленим на ньому виробом 5, який підлягає тепловологісному обробленню, транспортують по рейкових напрямних 2 в робочу камеру 8 теплоізоляованого корпусу 1. Приводиться в дію аеродинамічний нагрівач роторного типу 9, в результаті рециркуляції повітряного потоку і внаслідок аеродинамічних втрат в ньому відбувається нагрів повітряного середовища. Потік гарячого повітря рециркулює в робочій камері 8, яка обмежена нижнім 6 та верхнім 7 тепловими екранами, та передає тепло елементам робочої камери 8 і рівномірно розігріває виріб 5, що розміщений на візку 4.

Тиск у повітряному середовищі в теплоізоляованому корпусі 1 створюється компресором 13 з пневморесивером 14. Стиснене повітря, проходячи через редуційний клапан 12 по трубопроводу 11, подається в робочу камеру 8. В процесі нагрівання виробу 5 відбувається видалення вологи з його поверхні та із внутрішнього об'єму в повітряне середовище робочої камери 8. В окремих випадках, коли всередині виробу під час нагрівання відбуватимуться процеси хімічної чи фізичної модифікації матеріалів, що пов'язані із поглинанням вологи (наприклад, процеси гідратації цементу у бетонних виробках), то для забезпечення необхідного тепловологісного балансу в повітряному середовищі робочої камери 8 необхідно додатково подавати воду. Для цього над аеродинамічним нагрівачем роторного типу 9 відбувається розбризкування води через форсунки 10. Вода під дією високої температури перетворюється в пару, яка разом із теплим повітрям рециркулює всередині робочої камери 8, створюючи відповідне за тиском і температурою пароповітряне середовище, що здійснює подальше нагрівання і зволоження поверхні та внутрішнього об'єму виробу 5. В разі потреби дотримання необхідного за технологічними вимогами тепловологісного режиму процеси подачі води періодично повторюються.

Виріб 5 витримується певний час при заданому рівні температури, вологості і тиску. Після закінчення технологічного процесу аеродинамічний нагрівач роторного типу 9 зупиняється і вмикається теплообмінник 3, який охолоджує повітря в автоклавній установці. Здійснюється розгерметизація робочої камери 8, внаслідок відкриття вентиля 16, що трубопроводом 15 з'єднаний із атмосферою. Сконденсована рідина видаляється з автоклавної установки через вентиль 17. Після охолодження робоча камера 8 відкривається і візок 4 зі встановленим на ньому виробом 5 вилучається назовні. Завантажується новий виріб і технологічний процес тепловологісної обробки повторюється.

Враховуючи вжиті заходи енергозбереження для тепловологісного оброблення будівельних виробів в автоклавній установці із аеродинамічним нагрівом було прийнято такі припущення:

1. Термічний опір, який створює плівка конденсату при конденсації пари нескінченно, малий порівняно, з опором дифузійного шару пароповітряної суміші. Наявність плівки конденсату та її товщина не впливає на процеси тепломасовіддачі.

2. Пароповітряне середовище камери є об'єктом із зосередженими параметрами.

3. Тепло поширюється від зовнішньої поверхні виробу всередину, внаслідок постійного його притоку від гарячого теплоносія, що циркулює в робочій камері. Кількість теплоти, яка віддається нагрітими тілами і стікаючим конденсатом, є нескінченно малою, порівняно з теплом, яке віддається пароповітряним середовищем.

4. Виріб бетону — однорідне та ізоморфне тіло: арматура і грубодисперсні заповнювачі не впливають на розповсюдження тепла за просторовими координатами.

5. Процес розповсюдження тепла однаковий в усіх виробках.

Автоклавна установка, із врахуванням наведених припущень, може бути розглянута як складна система, взаємодія підсистем якої між собою та з підсистемами зовнішнього середовища схематично зображена на рис. 2.

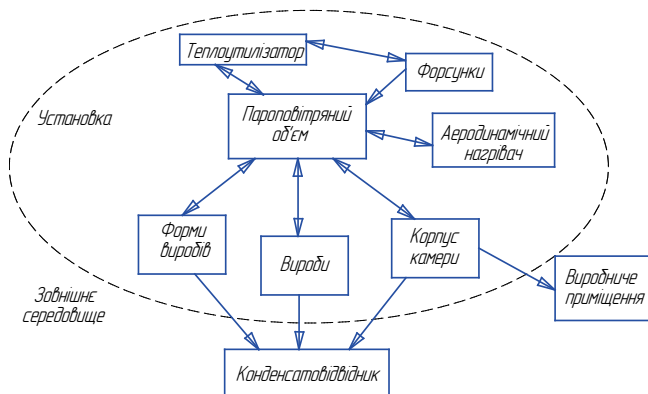


Рис. 2. Схема взаємодії теплових потоків в системі

Частина тепла пароповітряного середовища втрачається під час видалення конденсату через конденсатовідвідник, а також за рахунок тепловтрат через корпус камери.

Під час охолодження частина енергії може бути вилучена за рахунок тепломасообміну в утилізаторі теплової енергії і використана на нагрівання води необхідної для подальшого

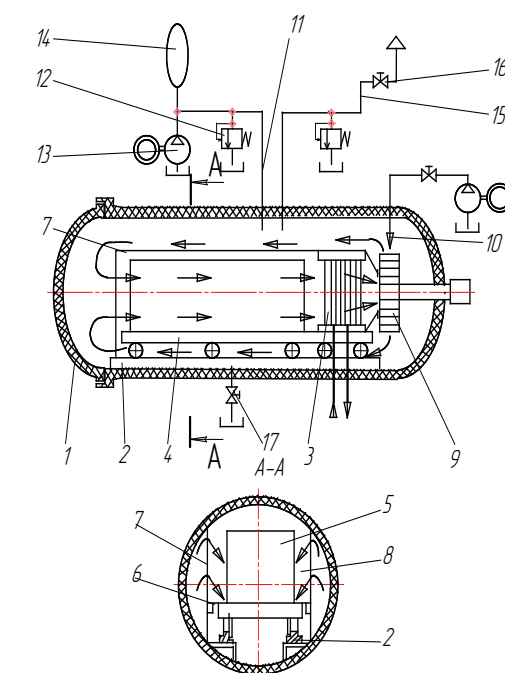


Рис. 1. Автоклавна установка тепловологісного оброблення: 1 — теплоізований корпус; 2 — рейкові напрямні; 3 — теплообмінник; 4 — візок; 5 — оброблюваний виріб; 6, 7 — нижній та верхній теплові екрани; 8 — робоча камера; 9 — аеродинамічний нагрівач роторного типу; 10 — форсунки для подачі води; 11, 15, 16 — з'єднувальні трубопроводи; 12 — редукційний клапан; 13 — компресор; 14 — пневморесивер; 17 — вентиль

Залежно від різниці температур між пароповітряним середовищем внутрішнього об'єму робочої камери і формою, в якій розташований виріб, пароповітряне середовище може нагрівати або охолоджувати поверхню форм. Таким чином, відбувається взаємодія між пароповітряним об'ємом та формами виробів.

Залежно від параметрів пароповітряного середовища і температури відкритої поверхні виробів, вільна волога, яка міститься у них, може випаровуватись або конденсуватись на їх відкритій поверхні (взаємодія між пароповітряним середовищем і виробами).

створення пароповітряного середовища в робочій камері та додаткового зволоження виробів.

Теплова енергія, що накопичується у пароповітряному об'ємі робочої камери, утворюється в результаті нагріву цього середовища за допомогою аеродинамічного нагрівача та відбору частини теплової енергії від води, що нагнітається через форсунки. З метою енергозбереження, як воду для зволоження, для форсунок застосовують зібраний конденсат, який випадає у нижній частині камери і має залишкову температуру. Тому раціональним є його подальше застосування, замість подачі нових порцій холодної води із мереж водопостачання, яку потім знову прийдеться розігрівати в робочій камері, або за її межами, до стану перетворення у пару із відбором суттєвої частки теплової енергії від основного теплогенеруючого агрегату — аеродинамічного нагрівача. Повне видалення зібраного конденсату за межі робочої камери і виключення його із здійснюваного технологічного процесу тепловологісного оброблення виробів зменшує загальний ККД установки.

В процесі тепломасообміну для відкритої поверхні виробу можливі такі ситуації:

1) нагрів поверхні за рахунок теплових потоків, які викликані відповідно конвективним перенесенням тепла та конденсацією пари;

2) одночасно конвективне нагрівання й охолодження за рахунок випаровування вільної вологи з відкритої поверхні бетону, при цьому: тепловий потік, що викликаний конвективним перенесенням тепла більше теплового потоку, викликаного випаровуванням води; конвективний тепловий потік менше або дорівнює величині теплового потоку викликаного випаровуванням води;

3) охолодження поверхні за рахунок конвективної передачі тепла в пароповітряну суміш і випаровування вологи.

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, то зміна повної внутрішньої енергії пароповітряної суміші в установці буде приблизно дорівнювати зміні її ентальпії.

Таким чином, баланс енергії для пароповітряного об'єму автоклавної установки можна записати у вигляді

$$\frac{d(h^y M^y)}{d\tau} = Q^{\Pi} + Q^{\text{Води}} + Q^{\text{T}} - Q_{\text{заг}}^{\Phi} - Q_{\text{заг}}^{\text{B}} - Q_{\text{заг}}^{\text{K}} - Q_{\text{заг}}^{\text{KD}}, \quad \tau > 0; \quad (1)$$

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

де  $h_0^y, M_0^y$  — початкове значення відповідно ентальпії та маси пароповітряної суміші у вільному об'ємі установки;  $Q^{\Pi} = G^{\Pi} h^{\Pi}$  — тепловиділення потоку повітря, який надходить від аеродинамічного нагрівача;  $Q^{\text{Води}} = G^{\text{Води}} h^{\text{Води}}$  — кількість теплоти, що вноситься в систему разом із розпиленою водою;  $Q^{\text{T}} = G^{\text{Конд}} c (t_2^{\text{K}} - t_1^{\text{K}})$  — кількість теплоти відібрана теплоутилізатором на підігрів конденсату;  $Q_{\text{заг}}^{\Phi} = S^{\Phi} q_{\text{заг}}^{\Phi}$  — загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу формам виробів;  $Q_{\text{заг}}^{\text{B}} = Q_{\text{заг}}^{\text{Bв}} + Q_{\text{заг}}^{\text{Bн}}$  — загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу верхній і нижній поверхні виробу ( $Q_{\text{заг}}^{\text{Bв}} = S^{\text{Bв}} q_{\text{заг}}^{\text{Bв}}, Q_{\text{заг}}^{\text{Bн}} = S^{\text{Bн}} q_{\text{заг}}^{\text{Bн}}$ );  $Q_{\text{заг}}^{\text{K}} = S^{\text{K}} q_{\text{заг}}^{\text{K}}$  — загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу корпусу камери;  $Q_{\text{заг}}^{\text{KD}} = G^{\text{Bв}} h^{\text{Bв}} + G^{\text{Bн}} h^{\text{Bн}} + G^{\Phi} h^{\Phi} + G^{\text{K}} h^{\text{K}}$  — загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу конденсату;  $G^{\Pi}, G^{\text{Води}}, G^{\text{Конд}}$  — витрата повітря, води та конденсату;  $G^{\text{Bв}}, G^{\text{Bн}}, G^{\Phi}, G^{\text{K}}$  — маса пари, яка конденсується за одиницю часу, відповідно, на верхній і нижній поверхні виробів, формах і корпусі камери;  $S^{\Phi}, S^{\text{Bв}}, S^{\text{Bн}}, S^{\text{K}}$  — площа теплосприймальної поверхні, відповідно, форм, верхньої і нижньої частини виробів, камери;  $h^{\text{Bв}}, h^{\text{Bн}}, h^{\Phi}, h^{\text{K}}$  — питома ентальпія конденсату який утворюється, відповідно, на верхній і нижній поверхнях виробів, формах та корпусі камери;  $h^{\Pi}, h^{\text{Води}}$  — питома ентальпія, відповідно, повітря та води;  $c$  — питома теплоємність конденсату;  $t_1^{\text{K}}, t_2^{\text{K}}$  — температура конденсату, відповідно, до та після підігріву.

Після перетворень рівняння (1) матиме вигляд

$$\frac{d(h^y M^y)}{d\tau} = G^{\Pi} h^{\Pi} + G^{\text{Води}} h^{\text{Води}} + Gc(t_2^k - t_1^k) + (G^{\text{ВВ}} - G^{\text{Вн}}) h^{\text{ВВ}} - \\ - (G^{\text{ВВ}} h^{\text{ВВ}} + G^{\text{Вн}} h^{\text{Вн}} + G^{\Phi} h^{\Phi} + G^{\text{К}} h^{\text{К}}) - Q_{\text{заг}}^{\Phi} - Q_{\text{заг}}^{\text{К}}, \quad \tau > 0; \quad (2)$$

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

Дослідження отриманої математичної моделі теплового балансу пароповітряного об'єму розробленої автоклавної установки, згідно рівняння (2), надає можливість в подальшому якісніше визначити співвідношення її конструктивних, теплових та режимних параметрів, з метою забезпечення енергозбереження.

### Висновки

Аналіз технологічного процесу, який реалізується за допомогою запропонованої автоклавної установки із аеродинамічним нагрівом, свідчить про основні переваги даного устаткування порівняно з відомим, а саме:

- підвищення коефіцієнта корисної дії установки;
- отримання продукції із заданими характеристиками зі значною економією енергоресурсів за рахунок їх автономного використання;
- застосування аеродинамічного нагріву дозволяє зменшити енерговитрати в допоміжному обладнанні, а також здійснювати незалежне регулювання температури, вологості і тиску.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Боженев Е. П. Термогазодинамическая обработка строительных материалов. — М.: Стройиздат, 1985. — 208 с.
2. Федосов С. В., Базанов С. М., Акулова М. В., Торопова М. В. Влияние тепловлажностной обработки на эксплуатационные свойства бетона // Изв. вузов Строительство. — 2003. — № 7. — С. 47.
3. Патент 2121468. МКИ С04В40/02, В28В11/24. Способ тепловлажностной обработки строительных материалов с рекуперацией тепла и установка для его осуществления / Хаимский З. М. — № 97102075/03; Заявлено 13.02.97; Опубл. 10.11.98, Бюл. № 21.
4. Патент 2115635. МКИ С04В40/02. Способ термовлажностной обработки известково-кремнеземистых изделий автоклавного твердения / Цыро В. В.; Секержицкий М. А.; Поташников Ю. М.; Зенков В. П.; Степанов Г. Н.; Курбанов А. З.; Луцик В. И.; Чурсанов Ю. В.; Плужников А. И. — № 97108261/03; Заявлено 20.05.97; Опубл. 20.07.98, Бюл. № 14.
5. Патент 18723. МПК В01J 3/04. Автоклава установка тепловолігнісної обробки / Сліпенька О. П., Сторожук С. Б., Коц І. В. — № u 200605904; Заявлено 29.05.2006; Опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.
6. Сліпенька О. П., Коц І. В. Аналітичне дослідження автоклавних установок із аеродинамічним нагрівом // Вісник Хмельницького національного університету. — 2006. — № 5. — С. 93.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом Всеукраїнської науково-технічної конференції «Альтернативні екологічно чисті та відновлювальні джерела енергії» (30.05—1.06.2007 р.)

Надійшла до редакції 30.06.07  
Рекомендована до друку 02.07.07

**Сліпенька Олена Петрівна** — асистент кафедри теплогазопостачання.

Вінницький національний технічний університет