

Експериментальні результати свідчать про те, що час перебування води в плівці збільшується порівняно з часом падіння краплин з такої самої висоти у 8—10 разів, ступінь насичення збільшується в 1,7—2,3 раза [1], а коефіцієнт масовіддачі при лінійній густині зрошення  $q = (2 \div 2,7) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$  становить  $\beta = (1,23 \div 1,33) \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$ . Отже, при конструюванні плівкових, краплинних чи краплинно-плівкових абсорберів потрібно враховувати практично однакові значення коефіцієнтів масовіддачі, але поверхня плівки повинна бути у 8—10 разів більша за поверхню крапель для забезпечення заданої продуктивності.

#### Висновки

1. Досліджена гідродинаміка абсорбції кисню та одержані характеристики стікання плівки по внутрішній поверхні труби.

2. Досліджена кінетика абсорбції кисню, визначений ступінь насичення плівки рідини компонентами газової суміші, та розрахунково-експериментально отримано значення коефіцієнта масовіддачі.

3. На підставі визначених кінетичних коефіцієнтів можна розрахувати час, необхідний для здійснення процесу до заданої концентрації кисню у воді, швидкість перебігу процесу за відповідних умов, а також основні геометричні розміри плівкового абсорбера.

1. Тимофєєв І.Л., Скїра В.В., Молчанов А.Д., Карпінська І.А. Кондиціювання води абсорбцією кисню в краплинному режимі // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". — 2003. — № 476.  
2. Воронцов Е.Г., Тананайко Ю.М. Теплообмен в жидких плёнках. — К., 1972. 3. Бояджиєв Х., Бешков В. Массоперенос в движущихся пленках жидкости. — М., 1988. 4. Коган В.Б. Теоретические основы типовых процессов химической технологии. — Л., 1977. 5. Рамм В.М. Абсорбция газов. — М., 1976.

УДК 697.3:620.92

В. Венгльовський

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

## ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ДОБОВИХ АКУМУЛЯТОРІВ ТЕПЛОТИ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

© Венгльовський В., 2004

**The requirements to daily heat accumulators of heat supply systems are submitted. Thickness of isolation and geometrical sizes of the accumulator is found from optimal conditions.**

**Постановка проблеми.** Для економії теплоти, води, електроенергії в системах теплопостачання будівель і споруд житлово-комунального і виробничого секторів, в системах поновлювальних джерел енергії, при використанні вторинних енергоресурсів передбачають акумулятори теплоти. Їх використовують у разі невідповідності вироблення і споживання теплоти, для регулювання водопостачання, для накопичення теплової енергії в традиційних і нетрадиційних системах теплопостачання та й в інших випадках. Використовуючи акумулятори теплоти, у цих випадках натрапляємо на ряд проблем, пов'язаних з їх проектуванням й експлуатацією. Невирішеними питаннями для акумуляторів теплоти залишається розрахунок товщини ізоляції із допустимого теплового потоку або допустимої температури вистигання води, оптимізація геометричних параметрів і час вистигання води до заданої температури [1-5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Важливими характеристиками акумуляторів теплоти є максимальна кількість акумульованої енергії на одиницю маси робочої речовини, питома потуж-

ність, час накопичення теплоти, час розрядки або час передачі теплоти споживачеві. Накопичення теплоти в акумуляторі може відбуватися за рахунок теплоємності, фазових переходів, хімічних та фотохімічних оборотних реакцій робочих речовин [2, 5]. Робочими речовинами в акумуляторах теплоти можуть бути тверді тіла, рідини та гази. Використовують робочі речовини окремо або в певних комбінаціях. Акумулятори теплоти з тією чи іншою робочою речовиною повинні забезпечувати високу питому густину енергії на одиницю маси або об'єму. Робочі речовини повинні допускати необхідний інтервал температур і простий спосіб відбору та передачі теплоти, мати малий опір при прокачуванні, високу теплоємність і теплопровідність, не змінювати властивостей в часі, бути безпечними, нешкідливими, некорозійними і недорогими. За часом накопичення теплоти акумулятори можуть бути добовими і сезонними [1—4].

Проектування, встановлення, допоміжне обладнання, обв'язка акумуляторів повинні відповідати вимогам чинних будівельних норм [6—7].

**Мета роботи.** Розрахунок теплової ізоляції добового акумулятора, обчислення розмірів його заданого корисного об'єму і часу вистигання води.

Розрахунок теплової ізоляції, розмірів та часу вистигання води в акумуляторі. Вода як робоча речовина акумулятора, має таку питому теплоту, Дж/кг,

$$q_{\text{п}} = \frac{Q}{m} = c (t_{\text{макс}} - t_{\text{мін}}), \quad (1)$$

де  $Q$  — запас теплоти в акумуляторі, Дж;  $m$  — маса води, кг;  $c$  — питома теплоємність води, Дж/(кг·°C);  $t_{\text{макс}}$ ,  $t_{\text{мін}}$  — найбільша і найменша температури води в акумуляторі.

Постійний об'єм акумулятора, м<sup>3</sup>, можна знайти за виразом:

$$V = \frac{Q}{\rho c (t_{\text{макс}} - t_{\text{мін}})}, \quad (2)$$

де  $\rho$  — густина води, кг/м<sup>3</sup>.

Для зменшення втрат теплоти в акумуляторах їх потрібно ізолювати. Товщину ізоляції акумуляторів підбирають з умов допустимого теплового потоку або допустимої температури вистигання води [7]. Для відкритого надземного встановлення акумулятора діаметром до 2 м товщину ізоляції знаходимо з умов допустимого теплового потоку

$$\left( \frac{d_3 + 2\delta_{\text{із}}}{d_3} \right)^{\frac{1}{2\pi\lambda_{\text{із}}}} \cdot \left( \frac{d_3 + 2\delta_{\text{із}} + 2\delta_{\text{п.ш}}}{d_3 + 2\delta_{\text{із}}} \right)^{\frac{1}{2\pi\lambda_{\text{п.ш}}}} = \exp \left[ R_{\text{заг}} - \frac{1}{\pi\alpha_3 (d_3 + 2\delta_{\text{із}} + 2\delta_{\text{п.ш}})} \right], \quad (3)$$

де  $d_3$  — зовнішній діаметр акумулятора, м;  $\delta_{\text{із}}$ ,  $\delta_{\text{п.ш}}$  — товщини, відповідно, ізоляції і покривного шару, м;  $\lambda_{\text{із}}$ ,  $\lambda_{\text{п.ш}}$  — відповідно коефіцієнти теплопровідності матеріалів ізоляції і покривного шару, Вт/(м·°C).

Значення загального опору теплоізоляційної конструкції, м<sup>2</sup>·°C/Вт знаходимо як

$$R_{\text{заг}} = (t - t_{\text{н}}) / q_{\text{доп}}, \quad (4)$$

де  $t$  — температура робочого середовища, °C;  $t_{\text{н}}$  — температура довкілля, °C;  $q_{\text{доп}}$  — допустима нормована щільність теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>.

Рівняння (3) з урахуванням (4) може бути розв'язане числовими методами, наприклад, методом ітерацій.

Якщо діаметр акумулятора більший за 2 м, то товщину ізоляції знаходимо [7] за виразом

$$\delta_{\text{із}} = \lambda_{\text{із}} \left( R_{\text{заг}} - \frac{1}{\alpha_3} - \frac{\delta_{\text{п.ш}}}{\lambda_{\text{п.ш}}} \right). \quad (5)$$

Товщину ізоляції можна знаходити і за величиною вистигання робочого середовища за певний час. Тоді справедливі формули (3), (5) але загальний опір знаходять як:

$$R_{\text{заг}} = \frac{3600 a (t_{\text{сер}} - t_{\text{н}}) \tau F_3}{(c_{\text{ст}} \rho_{\text{ст}} V_{\text{ст}} + c \rho V) (t_{\text{макс}} - t_{\text{мін}})}, \quad (6)$$

де  $a$  — поправковий коефіцієнт, приймається таким, що дорівнює 1,15;  $t_{\text{сер}}$  — середня температура робочого середовища в акумуляторі, °C;  $\tau$  — час вистигання води, год;  $F_3$  — поверхня покривного шару, м<sup>2</sup>;  $c_{\text{ст}}$  — питома теплоємність матеріалу стінки акумулятора, Дж/(кг·°C);  $\rho_{\text{ст}}$  — густина матеріалу стінки, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{\text{ст}}$  — об'єм матеріалу стінки, м<sup>3</sup>.

Після того, як за виразами (3) або (5) знайдено товщину ізоляції при прийнятих товщинах стінки корпусу і покривного шару, постає питання виготовлення акумулятора. Нас цікавлять такі співвідношення розмірів, м, (внутрішнього діаметра  $d_b$  і висоти  $h$ ) циліндричного акумулятора із корисним (внутрішнім) об'ємом  $V$ , м<sup>3</sup>, за яких витрати матеріалів на корпус, ізоляцію і покривний шар будуть найменшими. Корисна висота такого акумулятора буде такою

$$h = \frac{4V}{\pi d_b^2}. \quad (7)$$

Сумарну товщину стінки акумулятора, ізоляції і покривного шару позначимо:

$$\delta = \delta_{\text{ст}} + \delta_{\text{із}} + \delta_{\text{п.ш}}. \quad (8)$$

Загальний об'єм стінок акумулятора, ізоляції і покривного шару  $V_m$ , м<sup>3</sup>, подамо як

$$V_m = \pi \delta \left( \frac{d_b}{2} + \delta \right)^2 + \pi h (d_b \delta + \delta^2). \quad (9)$$

З урахуванням (7) останньому виразу надамо вигляду

$$V_m = \pi \delta \left( \frac{d_b}{2} + \delta \right)^2 + 4V \left( \frac{\delta}{d_b} + \frac{\delta^2}{d_b^2} \right). \quad (10)$$

Дослідимо функцію (10) на екстремум. Перша похідна при  $\delta > 0$  і  $d_b > 0$  дорівнює

$$V'_m = \delta \left( \frac{d_b}{2} + \delta \right) \left( \pi - \frac{8V}{d_b^3} \right) = 0, \quad (11)$$

звідки

$$d_b = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{V}{\pi}}. \quad (12)$$

З урахуванням цього виразу і рівняння (7) висота акумулятора становитиме

$$h = \sqrt[3]{\frac{V}{\pi}}. \quad (13)$$

Друга похідна від виразу (10)

$$V''_m = \frac{\pi \delta}{2} + \frac{8V \delta (d_b + 3\delta)}{d_b^4} > 0, \quad (14)$$

а це означає, що об'єм матеріалів  $V_m$  на спорудження акумулятора (з корисним об'ємом  $V$ ) буде найменшим з розмірами

$$h = \frac{d_b}{2} = \sqrt[3]{\frac{V}{\pi}}. \quad (15)$$

Знаючи геометричні розміри акумулятора, розглянемо віддачу теплоти від води в довкілля. Рівняння віддачі теплоти, як рівняння балансу, можна записати у вигляді

$$\rho c V \frac{dt}{d\tau} = \alpha_3 F_3 (t_3 - t_n), \quad (16)$$

де  $\tau$  — час, с;  $\alpha_3$  — коефіцієнт тепловіддачі зі зовнішньої поверхні, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $t_3$  — температура на зовнішній поверхні покривного шару, °C. Температуру  $t_3$  — знаходимо із рівняння балансу теплоти.

$$t_3 = t_n + \frac{R_3}{R_{\text{заг}}} (t - t_n), \quad (17)$$

де  $R_3$  — термічний опір зовнішньої поверхні покривного шару ізоляції, Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

$$R_3 = \frac{1}{\pi d_{\text{п.ш}} h \alpha_3}, \quad (18)$$

де  $d_{\text{п.ш}}$  — зовнішній діаметр покривного шару, м.

З урахуванням (17)-(18) рівняння (16) можна записати

$$\frac{dt}{d\tau} = - \frac{F_3}{\pi d_{\text{п.ш}} h V \rho c R_{\text{зар}}} (t - t_n). \quad (19)$$

Розв'язок (19) з урахуванням початкових умов при  $\tau = 0, t = t_0$  становитиме

$$\frac{t - t_n}{t_0 - t_n} = \exp \left[ - \frac{F_3 \tau}{\pi d_{\text{п.ш}} h V \rho c R_{\text{зар}}} \right], \quad (20)$$

де  $t_0$  — температура охолодженої води, °С. Тоді час вистигання води в акумуляторі, ізольованому з умов допустимого теплового потоку, такий

$$\tau = \frac{\pi d_{\text{п.ш}} h V \rho c (t - t_n)}{q_{\text{доп}} F_3} \ln \frac{t_0 - t_n}{t - t_n}. \quad (21)$$

### Висновки

1. Знайдено товщину теплової ізоляції відкрито встановленого добового акумулятора з умов допустимого теплового потоку і допустимої температури вистигання води.

2. Отримано оптимальні геометричні розміри акумуляторів циліндричної форми із заданим корисним об'ємом.

3. Встановлено час вистигання води в теплоізольованих акумуляторах теплоти.

1. Амерханов Р.А., Долинский А.А., Морозюк Т.В. *Аккумуляирование теплоты в системах сельского хозяйства // Промышленная теплотехника.* — 2002. — № 1. — С. 106—108. 2. Бекман Г., Гилли П. *Тепловое аккумуляирование энергии.* — М., 1987. 3. Денисова А.Е. *Аккумуляирование энергии в гелиосистемах теплоснабжения // Экотехнологии и ресурсосбережение.* — 2002. — № 2. — С. 9—14. 4. Зоколей С.В. *Архитектурное проектирование, эксплуатация объектов, их связь с окружающей средой* — М., 1984. 5. Руденко А.А., Піотровські Є. *Акумулятори теплоти для систем теплопостачання виробничих будівель // Будівництво України.* — 2000. — № 5. — С.39-41. 6. СНиП 2.04.0-85. *Внутренний водопровод и канализация зданий / Госстрой СССР.* — М., 1986. 7. СНиП 2.04.14-88. *Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов / Госстрой СССР.* — М., 1989.

УДК 629.113.06:628.83

О. Возняк

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

## ПОВІТРОРОЗПОДІЛ ПЛОСКИМИ НАСТИЛЬНИМИ НЕІЗОТЕРМІЧНИМИ СТРУМИНАМИ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИМІЩЕННЯХ З МАЛОЮ ВИСОТОЮ

© Возняк О., 2004

**In this article the results of air distribution by flat spread non-isothermal jets experimental investigations are presented. Adequate charts are composed, analytic equations are also obtained. By these results high efficiency of air distribution by flat spread non-isothermal jets in technological rooms is shown.**

**Постановка проблеми.** Як відомо, здоров'я і працездатність людини залежать значною мірою від того, наскільки санітарно-гігієнічні параметри мікроклімату виробничих (технологічних) приміщень відповідають її фізіологічним потребам. В робочій (обслуговуваній) зоні таких приміщень повинні забезпечуватись нормовані параметри внутрішнього повітря. Фізичний стан повітряного середовища