EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Actions on strucwtures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire. 6. ДБН В.2.6-98-2011 "Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення". – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.

УДК 697.34:.620.92:696.4

В.І. Венгльовський
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

ДОБОВЕ АКУМУЛЮВАННЯ ТЕПЛОТИ З МОЖЛИВИМ ДОГРІВАННЯМ ВБУДОВАНИМИ АБО ЗОВНІШНІМИ ТЕПЛООБМІННИКАМИ

© Венгльовський В.І., 2012

Наведено результати дослідження бака-акумулятора як ємнісного теплообмінника. Догрівання води в баках-акумуляторах здійснюється гвинтовими, пластинчастими або іншими рекуперативними теплообмінниками. Запропоновано ємності баків-акумуляторів із різними формами днищ, знайдено їхні розміри.

Ключові слова: бак, акумулятор, теплообмінник.

In this article the results of research of tank of accumulator are resulted as capacity heat exchangers. Heating of water in tanks accumulators carried out spiral, plate-type or rekuperations heat exchangers. Offered capacities of tanks of accumulators with the different forms of bottoms, their sizes are found.

Key words: tank, accumulator, heat exchangers.

Постановка проблеми. Традиційні системи теплопостачання потребують модернізації, впровадження заходів з економії енергії, скорочення матеріальних ресурсів, зниження темпів зростання обсягу послуг, впровадження альтернативних джерел енергії. Сонячна, геотермальна, вітрова, гідравлічна енергії мають стати основними джерелами енергії. Споживання теплоти в системах теплопостачання є нерівномірним. Найбільшою нерівномірністю характеризуються системи гарячого водопостачання (СГВ). Одним із способів підвищення ефективності СГВ є акумулювання теплоти.

Акумулювати теплоту в системах опалення і гарячого водопостачання можна на короткий та довготривалий періоди. У СГВ накопичення і розбирання води здійснюється впродовж доби. Баки-акумулятори (БА), окрім систем традиційного теплопостачання, використовуються також в нетрадиційних або альтернативних джерелах теплоти. Найпоширенішими акумуляторами теплоти є низькотемпературні водяні акумулятори. Теплоакумулюючим середовищем є вода, яка відповідає вимогам названих вище систем та вимогам споживача. В акумулятори вода може надходити в нагрітому стані із системи гарячого водопостачання за незначних водорозборів або за їх відсутності. У нетрадиційних джерелах теплоти доводиться догрівати воду за допомогою зовнішніх або внутрішніх вбудованих теплообмінників. Зовнішніми теплообмінниками можуть бути пластинчасті, трубчасті та підігрівники інтенсивного теплообміну.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Баки-акумулятори не тільки накопичують теплоту для потреб СГВ, а використовуються також для згладжування піків теплових навантажень в інших системах [1–11]. У цих дослідженнях основну увагу приділено сонячним колекторам, а акумулювання теплоти чи води висвітлюється недостатньо. Відсутні вимоги до конструкцій БА, розрахунку їх ємностей, товщини теплової ізоляції, вибору форм днищ, способів установки

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

теплообмінників для догрівання води. Сонячні установки комплектуються обладнанням фірм Bindl, Buderus, Dražice, Gorenje, Vaillant, Reflex, які виготовляють баки-акумулятори із своїх матеріалів за європейськими нормами і стандартами, що не адаптовані до наших вимог. Публікації [5, 8] частково повторюють матеріал монографії [2].

Мета та завдання досліджень. Потрібно отримати залежності для знаходження геометричних розмірів баків-акумуляторів теплової енергії з оптимальних умов і методом послідовних наближень знайти товщину їх ізоляції за допустимими питомими втратами теплоти.

Викладення основного матеріалу. Ємність баків-акумуляторів теплової енергії залежить від очікуваного надходження теплоти традиційних (основних) і нетрадиційних або альтернативних (додаткових) джерел теплоти. Ці джерела можуть працювати в стаціонарному або змінному режимах. Ємність БА залежить від надходження теплової енергії, характеру очікуваних навантажень, надійності систем теплопостачання, способів використання енергії додаткових джерел теплової енергії, економічного співвідношення між енергією додаткових і основних джерел теплоти або від коефіцієнта заміщення теплоти різних джерел. Ємнісні БА можуть бути як із вбудованими (рис. 1а, 1б, 1в), так із зовнішніми (рис. 1г) теплообмінниками. Вбудовані теплообмінники здебільшого виконані у вигляді гвинтової спіралі з постійним або зі змінним кроком [3] або прямотрубними (рис. 1в). Ці теплообмінники можуть бути приєднані до основного або додаткового джерела теплоти. Додатковими джерелами теплоти є нетрадиційні джерела (використовується енергія Сонця, Землі, вітру, термальних вод, скальних порід, стічних вод тощо). Ємнісні БА можуть бути відкритими і закритими. Відкриті БА встановлюють у найвищих точках систем теплопостачання з обов'язковою переливною та іншими трубами [11]. Закриті БА знаходяться під тиском теплової чи водопровідної мережі, мають більший ніж відкриті БА об'єм. Теплова потужність баків-акумуляторів дорівнює тепловій потужності приєднаних до них підігрівників. Найпоширенішими додатковими джерелами теплової енергії, яку використовують для нагрівання води в ємнісних БА, є теплова енергія сонячних колекторів, існуючих традиційних джерел теплоти й теплових електричних нагрівачів.

Якщо продуктивність $Q_{дж}$ основного і додаткового, чи окремо кожного, чи одного з них у певні години доби перевищує теплове навантаження споживачів $Q_{сп}$, то надлишкова теплова енергія $Q_{надл}$ повинна накопичуватись в БА

$$Q_{надл} = Q_{дж} - Q_{сп} > 0. \quad (1)$$

Із настанням умови (1) можна акумулювати надлишкову теплоту. З урахуванням втрат теплоти в БА його енергоємність

$$\Delta E_{БА} = max\left[\int_{t_0}^{t_0+t}(Q_{дж} - Q_{сп} - Q_{тв})dt\right] = max\left[\int_{0}^{t}(Q_{дж} - Q_{сп} - Q_{тв})dt\right],\ 0 \le t \le T, \quad (2)$$

де τ – довільний момент часу в проміжку від 0 до T; T – період акумулювання теплоти для добового БА, T=24 год; $Q_{тв}$– втрати теплоти в БА

$$Q_{тв} = Q_{БА}(1 - h_{БА}), \quad (3)$$

де $Q_{БА}$ – розрахункова потужність БА, $\eta_{БА}$ – коефіцієнт корисної дії БА,

$$h_{БА} = \frac{Q_{БА} - Q_{тв}}{Q_{БА}} = 1 - \frac{Q_{тв}}{Q_{БА}}. \quad (4)$$

Теплота $Q_{тв}$ втрачається через бокові стінки і днища, при цьому ті втрати мають бути найменшими.

Ємність БА за змінного обсягу води з постійною температурою буде

$$V = \frac{\Delta E_{БА}}{r\ c(t_г - t_х)}, \quad (5)$$

де c – питома теплоємність води, $t_г$, $t_х$ – відповідно температура гарячої і холодної води, ρ – густина води при середній температурі $t_г$.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

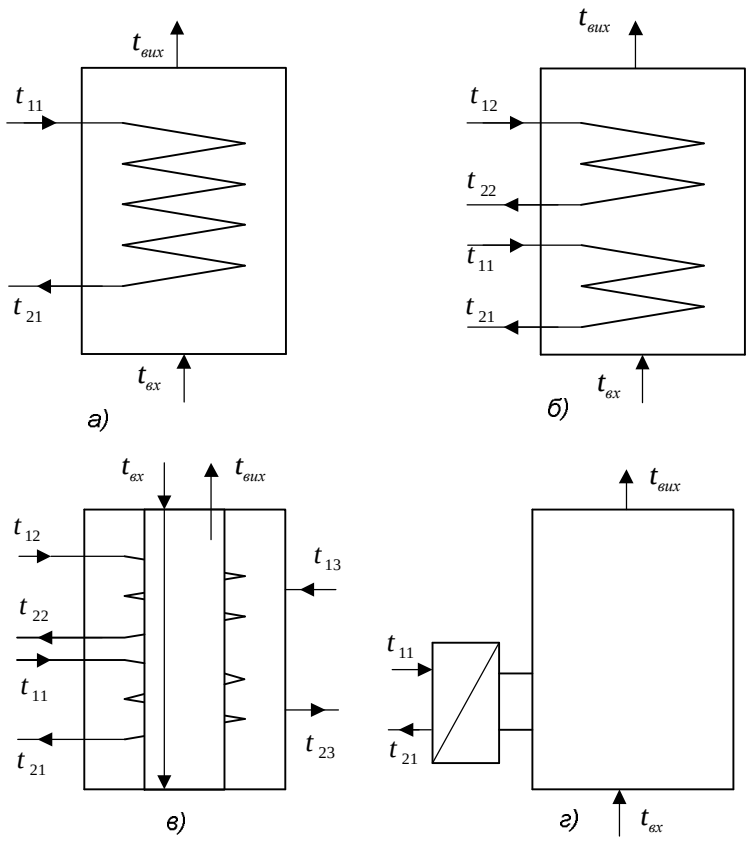

Рис. 1. Баки-акумулятори теплоти із вбудованими (а, б, в) і зовнішніми (г) теплообмінниками:
t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{21}, t_{22}, t_{23} – температури гріючої води на вході й виході із теплообмінників;
$t_{вх}$, $t_{вих}$ – температури води, що нагрівається на вході та виході із БА

Форма баків-акумуляторів може бути циліндричною із еліптичними, сферичними або плоскими днищами. Зовнішня поверхня БА та його об'єм становлять

$$S_{БА} = S_{цил} + S_{дн}, \tag{6}$$

$$V_{БА} = V_{цил} + V_{дн}, \tag{7}$$

де $S_{цил}$, $S_{дн}$, $V_{цил}$, $V_{дн}$ – відповідно площі та об'єми циліндричних частин і днищ БА.

Еліптичні днища БА повинні бути відбортованими і відповідати вимогам [4]. Величину відбортовки враховано у висоті циліндричної частини БА. Тоді еліптичні днища будуть половинами еліпсоїда.

$$\frac{x^2}{R^2} + \frac{y^2}{R^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1. \tag{8}$$

Звідки

$$z = \frac{c}{R}\sqrt{R^2 - x^2 - y^2}, \tag{9}$$

$$\sqrt{1 + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} = \frac{c}{\sqrt{R^2 - x^2 - y^2}}. \tag{10}$$

Поверхня одного днища $S_{дн}$ рівновелика половині поверхні сплющеного еліпсоїда.

$$S_{дн} = \int_{-R}^{R}\left(\int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{\sqrt{R^2-x^2}} \frac{c}{\sqrt{R^2 - x^2 - y^2}}\,dy\right)dx = 2pRc, \tag{11}$$

$S_{дн} = 2\pi R^2$ (півсфера) при $c=R$, $S_{дн} = \pi R^2$ (півсплющеного еліпсоїда (8)), при $c=R/2$.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Об’єм днища:

$$V_{дн} = \int_{-R}^{R} \left[\int_{-\sqrt{R^2-x^2}}^{\sqrt{R^2-x^2}} \left(\int_{0}^{\frac{c}{R}\sqrt{R^2-x^2-y^2}} dz \right) dy \right] dx = \frac{2}{3} pR^2 c , \quad (12)$$

де $V_{дн}= 2/3\pi R^3$ при $c=R$, $V_{дн}= 1/3\pi R^3$ при $c=R/2$.

Крім еліптичних, БА можуть мати сферичні або плоскі днища. Зовнішня поверхня і об’єм БА із сферичними днищами становить

$$S = 2pR(2R + H), \quad (13)$$

$$V = pR^2(\frac{4R}{3} + H), \quad (14)$$

Виразивши поверхню S через об’єм V, отримуємо $S = f(V)$:

$$S = \frac{4pR^2}{3} + \frac{2V}{R}, \quad (15)$$

Найменшу зовнішню поверхню БА отримуємо за умови мінімуму функції (15) за величини H=0 і радіуса

$$R = \sqrt[3]{\frac{3V}{4p}} . \quad (16)$$

Тобто найменша поверхня БА буде за відсутності циліндричної частини, отже, БА має бути сферою.

Для БА з плоскими днищами

$$S_{БА} = \frac{pd^2}{2} + pdh_1 . \quad (17)$$

Виразимо висоту циліндричної частини БА через його об’єм, отримаємо

$$S_{БА} = \frac{pd^2}{2} + \frac{4V}{d} . \quad (18)$$

Мінімум функції (18) отримаємо з умови $\frac{\partial S_{БА}}{\partial d} = 0$, звідки

$$\mathrm{d} = \sqrt[3]{\frac{4V}{p}} . \quad (19)$$

За умови (19) висота БА буде

$$h_1 = \frac{4V}{pd^2} . \quad (20)$$

Поверхня БА заданого об’єму V буде найменшою за умови $h_1=d$.

Однак, враховуючи стратифікацію води, його висота повинна бути $h\geq 2{,}5d$ [2].

Змійовики БА повинні мати поверхню нагрівання

$$F = pd_{зм}L_{зм} , \quad (21)$$

де $d_{зм}$ – зовнішній діаметр циліндричної трубки змійовика; $L_{зм}$ – довжина змійовика.

Кількість витків змійовика

$$n = \frac{L_{зм}}{L_{витка}} = \frac{L_{зм}}{\sqrt{4\mathrm{a}^2p^2 + h^2}} , \quad (22)$$

де h – крок змійовика, a – радіус змійовика (рис. 2).

Товщину теплової ізоляції БА знаходимо [11] за виразом:

$$d_{із} = 0{,}5d(B - 1), \quad (23)$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

а B має задовольнити умову:

$$B = exp[\,2p\,l_{iз}(t_г - t_n)(a_з d(t_n - t_н)B)^{-1}\,], \qquad (24)$$

де $\lambda_{iз}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу ізоляції, $t_г$ – температура гарячої води в БА, t_n – температура на поверхні ізоляції, $\alpha_з$ – коефіцієнт тепловіддачі зі зовнішньої поверхні БА, $t_н$ – температура навколишнього середовища. Величину B із рівняння (24) шукаємо методом послідовних наближень.

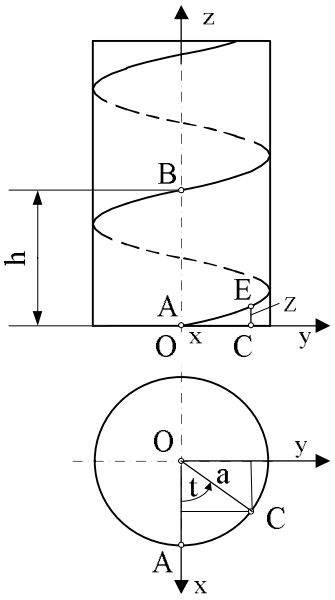

Рис. 2. Циліндрична поверхня з гвинтовою лінією

Висновки. Запропоновано для підвищення інтенсивності тепловіддачі баків-акумуляторів вмонтовувати у них теплообмінники із гвинтовими змійовиками. Нагрівання води в БА буферного типу здійснювати зовнішніми теплообмінниками інтенсифікованого теплообміну. Рекомендовано товщину теплової ізоляції баків-акумуляторів знаходити з умов допустимого теплового потоку.

1. Барон В.Г. Особливості застосування високоефективних теплообмінних апаратів ТТАІ // Ринок інсталяцій. – 2010. – №3. – С.24–27. 2. Бекман Г., Гили П. Тепловое аккумулирование энергии. – М.: Мир, 1987. – 271 с. 3. Венгльовський В.І. Застосування ємнісних теплообмінників із гвинтовими змійовиками для акумулювання гарячої води в системах теплопостачання. 4. ГОСТ 6533-78. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 36 с. 5. Драганов Б.Х., Долінський А.А., Міщенко А.В., Письменний Є.М. Теплотехніка: Підручник. – К.: ІНКОС, 2005. – 504 с. 6. Енергетичний звіт. 100% відновлюваної енергії до 2050 року // Альтернативні джерела енергії. – 2011. – №1–2. – С.15–18. 7.Закон України "Про альтернативні джерела енергії" // Энергосбережение. – 2003. – №12. – С.16–19. 8. Кудря С. Акумулювання тепла з відновлюваних джерел енергії // Ринок інсталяцій. – 2008. – №1. – С.8–12, №2. – С.6–9, №3. – С.13–14. 9. Недбайло А.Н., Ляшенко Н.Е. Использование солнечного колектора для отопления помещения // Промышленная теплотехника. – 2010. – №5. – С.66–70. 10. СНиП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация зданий, Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1986. – 56 с. 11. СНиП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов, Госстрой СССР, М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 32 с.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua