

## РОЗРАХУНКОВІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗА ДІЇ МІСЦЕВОГО НАГРІВАННЯ

© Була С.С., Бойко Р.О., Холод П.Ф., 2012

**Описано основні розрахункові методи визначення міцності залізобетонних елементів, запропоновані в нових нормах. Їх було застосовано для отримання теоретичних результатів і порівняння з експериментальними даними за дії місцевого нагрівання.**

**Ключові слова:** місцеве нагрівання, розрахункові методи.

**This article describes the basic calculating methods for determining fire resistance offered by the new norms. They were used to obtain theoretical results and to compare them with experimental data in case of local heating.**

**Key words :** local heating, calculating methods.

**Вступ.** Забезпечення нормативної вогнестійкості будівлі є важливим етапом її проектування. Тому визначення вогнестійкості окремих будівельних конструкцій і конструктивних систем загалом є важливим, і його правильне виконання зменшує вартість будівництва.

**Аналіз наявних методик визначення межі вогнестійкості.** Розрахункові методи можна використовувати для оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій будь-яких видів, за винятком тих, в яких основним граничним станом з вогнестійкості є втрата цілісності конструкції, а також для оптимізації конструктивних параметрів будівельних конструкцій з метою забезпечення необхідної вогнестійкості.

Розрізняють два види розрахункових методів:

- методи, засновані на використанні математичних моделей теплового і напруженого станів будівельних конструкцій;
- номограмні методи.

За методами, заснованими на математичних моделях, розв'язанням прямої задачі теплопровідності визначають розподіл температури в конструкції в різні моменти часу від початку вогневого впливу. Для оцінювання теплоізолювальної здатності цей розподіл визначають на ненагрітій поверхні конструкції. Отримані величини температури порівнюються з їхніми допустимими значеннями.

Виконуючи розрахунки за допомогою математичних моделей, використовують ряд понижувальних коефіцієнтів на властивості матеріалів. Проте вони не враховують багатьох важливих факторів (повзучість, усадка, фізична і геометрична нелінійність, реальні діаграми розтягу і стиску за дії температури).

З використанням номограмних методів межі вогнестійкості конструкцій визначають за графіками або таблицями, отриманими за результатами випробувань або розрахунковим шляхом.

**Постановка проблеми.** Важливою сферою застосування розрахункових методів є оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій в умовах реальних пожеж, коли пожежне навантаження може розподілятися в приміщенні довільно.

Сьогодні розробляються нові норми [1–3] проектування з визначення межі вогнестійкості. У цих нормах за основу взято європейські норми “Eurocode” [5], які враховують вищенаведені фактори. Тому існує необхідність застосувати такі методи визначення міцності конструкцій у особливих випадках нагрівання і порівняти отримані результати з експериментальними даними.

**Висвітлення основних положень.** В нових нормах [1–3] розглядаються такі методи оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій:

- експериментальний метод;
- табличні методи;
- метод спрощених розрахунків;
- метод уточнених розрахунків.

Також в стандарті [1] розглядають 3 рівні розрахунку межі вогнестійкості (табл. 1).

Таблиця 1

**Методи розрахунку межі вогнестійкості**

	Табличні дані	Спрощені методи розрахунку	Уточнені моделі розрахунку
<b>Аналіз окремої конструкції</b> Кожна конструкція розглядається окремо. Непрямі вогневі впливи не враховуються, за винятком тих, які є результатом перепаду температур	<b>ТАК</b> - дані наведено тільки для стандартного температурного режиму; - дані можуть бути перероблені для інших температурних режимів пожежі	<b>ТАК</b> - стандартний та параметричний температурні режими; - температурні криві наведено тільки для стандартного температурного режиму; - моделі, що враховують зміну властивостей матеріалів, застосовуються тільки для температурних режимів, аналогічних стандартному.	<b>ТАК</b> Наведено тільки основні положення
<b>Аналіз частини конструктивної системи</b> Враховуються непрямі вогневі впливи у вузлі, але не залежної від часу взаємодії з іншими частинами конструктивної системи.	<b>НІ</b>	<b>ТАК</b> - стандартний та параметричний температурні режими; - температурні криві наведено тільки для стандартного температурного режиму; - моделі, що враховують зміну властивостей матеріалів, застосовуються тільки для температурних режимів, аналогічних стандартному.	<b>ТАК</b> Наведено тільки основні положення
<b>Загальний аналіз конструктивної системи</b> Аналіз всієї конструктивної системи. Розглядаються непрямі вогневі впливи на всю конструктивну систему.	<b>НІ</b>	<b>НІ</b>	<b>ТАК</b> Наведено тільки основні положення

Експериментальний метод передбачає стандартні вогневі випробування і повномасштабні випробування. Табличний метод ґрунтується на розробленні таблиць довідкових даних з вимогами, виконуючи які ми забезпечимо необхідну вогнестійкість. Метод спрощених розрахунків дає змогу швидко і приблизно оцінити вогнестійкість будівельних конструкцій. Цей метод містить такі методи:

- метод ізотерми 500 °С;
- зональний метод;
- розрахунок залізобетонного поперечного перерізу за дії згинального моменту та поздовжньої сили за методом на основі оцінки кривизни.

Метод уточнених розрахунків ґрунтується на розгляді математичних моделей. Математична модель складається з основних рівнянь процесів тепломасообміну і напружено-деформованого стану та рівнянь, що визначають початкові та граничні умови, а також коефіцієнтів, що входять до рівнянь. Розв'язання цієї системи рівнянь є аналітично складною задачею. Тому часто для моделювання пожеж і створення математичних моделей використовують різні розрахункові програмні комплекси, такі як Ліра, Ansys, Femap.

**Аналіз отриманих результатів.** У 2007 р. було проведено випробовування залізобетонних колон з великим ексцентриситетом прикладання навантаження з метою визначення їх міцності за дії місцевого нагрівання [4]. Саме експериментальні дані цих досліджень буде використано для порівняння з результатами розрахункових методів.

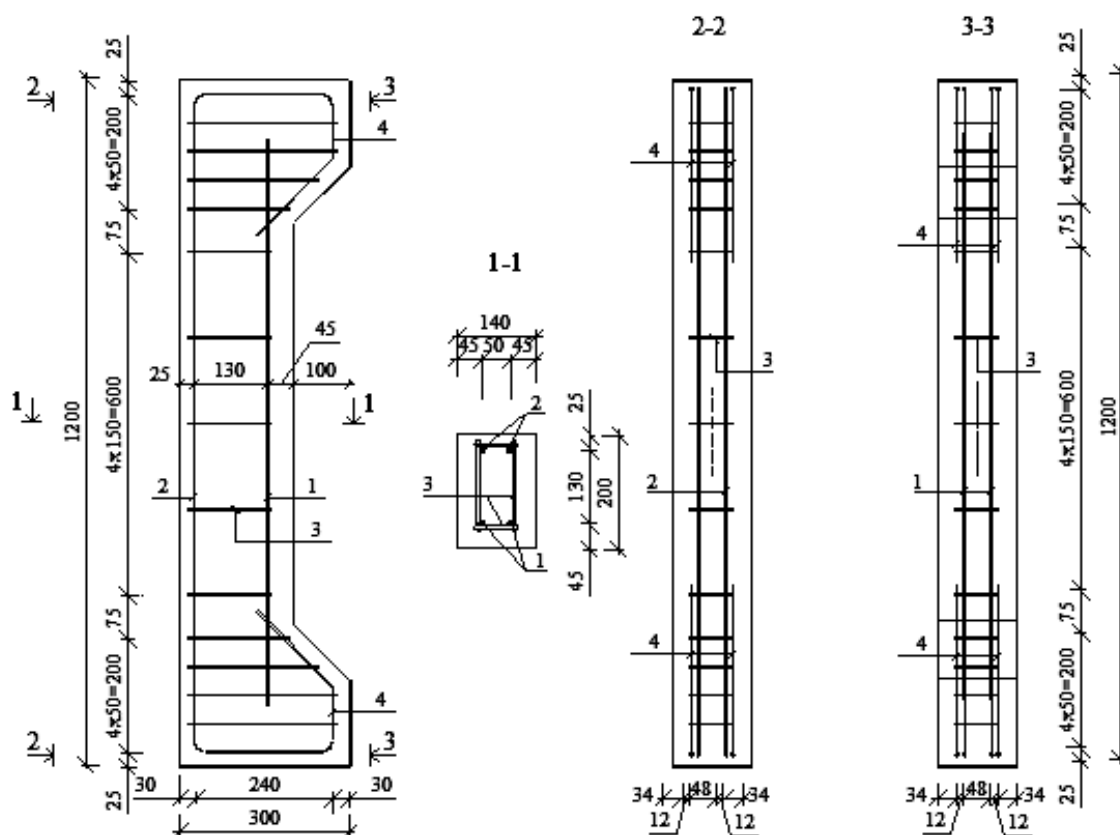


Рис. 1. Досліджувана конструкція (опалубочне креслення і армування)

Для розрахунку використаємо реальні фізико-механічні характеристики матеріалів колони, отримані при попередніх дослідженнях (табл. 2).

Таблиця 2

### Фізико-механічні властивості бетону та арматури

Найменування параметра, одиниця виміру	Значення параметра
Клас бетону, В	25
Призмova міцність бетону на стиск $R_b$ , МПа	27.1
Початковий модуль пружності бетону $E_b \times 10^3$ , МПа	28.2
Початковий коефіцієнт поперечної деформації бетону, $\mu$	0.13
Границя текучості арматури $\varnothing 12A-III R_y$ , МПа	435
Границя текучості арматури $\varnothing 8A-III, R_y$ , МПа	427
Модуль пружності арматури $E_s \times 10^4$ , МПа	20.6

#### Табличний метод

Табличний метод за [1] не охоплює випадку роботи колон за значних ексцентриситетів навантаження. Максимальним ексцентриситетом, що розглядається у цих нормах, є  $0,4h_0$ . Тому під час розгляду конструкцій з ексцентриситетом понад  $0,4h_0$ , необхідно використовувати складніші методи розрахунку.

### Метод ізотерми 500°C

Відповідно до експериментальних даних нагрівання колон відбувалося з боку розтягнутої арматури за рівня навантаження  $h = 0.6$  від руйнівного. Оскільки під час експерименту руйнування колони (початок текучості арматури) відбулося на 60-й хвилині, то приведений поперечний переріз конструкції будемо на основі експериментальних даних для 60-хвилинного прогрівання. При 60-хвилинному прогріванні бетон не нагрівається до 500°C, тому приведений переріз колони відповідає реальному перерізу. При цьому розтягнута арматура прогрівається до температури 270°C, а стиснута – до 30°C.

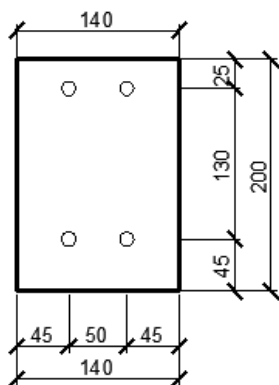


Рис. 2. Приведений поперечний переріз при нагріванні з боку розтягнутої арматури

Несуча здатність перерізу визначається за формулою:

$$M_{teor} = I \cdot f_{cd} \cdot b \cdot x \cdot (h - a_s - 0.5x) + f_{sd,fi}(q) A'_s \cdot (h - a_s - a'_s), \quad (1)$$

де  $f_{cd}$  – розрахункова міцність бетону,  $x$  – висота стиснутої зони бетону,  $a_s$  – захисний шар розтягнутої арматури,  $f_{sd,fi}(q)$  – розрахунковий опір розтягнутої арматури при вогневому впливі,  $A'_s$  – площа стиснутої арматури,  $a'_s$  – захисний шар стиснутої арматури;  $I = 0.8$  – коефіцієнт при спрощених розрахунках, прийнятий за ДБН В.2.6-98[6].

Розрахункову температуру розтягнутої і стисненої арматури приймають відповідно до експериментальних даних. Розрахункові опори даної арматури становлять:

$$f_{sd,fi}(270) = k_s(270) \cdot f_{sd} = 0.7 - 0.3 \frac{270 - 400}{300} \cdot 435 = 361 \text{ МПа}, \quad f_{scd,fi}(20) = 427 \text{ МПа} \quad (2)$$

Висоту стиснутої зони бетону знаходять за формулою:

$$x = (N + f_{sd,fi}(q) \cdot A_s - f_{sd,fi}(20) \cdot A'_s) / (I \cdot f_{sd,fi}(20) \cdot b), \quad (3)$$

де  $N = 151.4$  кН – діюче на колону навантаження,  $A_s$  – площа розтягнутої арматури,  $f_{scd,fi}(20)$  – розрахункова міцність арматури на стиск при температурі 20°C,  $f_{cd,fi}(20)$  – розрахункова міцність бетону на стиск при температурі 20°C,  $b$  – ширина колони.

$$x = \frac{151.4 + 36.1 \cdot 2.26 - 42.7 \cdot 1.01}{0.8 \cdot 2.71 \cdot 14} = 6.26 \text{ см}. \quad (4)$$

Таким чином несуча здатність колони під час вогневого впливу становить:

$$M_{tbor} = 0.8 \cdot 2.71 \cdot 14 \cdot 6.26 \cdot (20 - 2.5 - 0.5 \cdot 6.26) + 36.1 \cdot 1.01 \cdot (20 - 2.5 - 4.5) = 32.04 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (5)$$

Експериментальний руйнівний момент відносно розтягнутої арматури дорівнюватиме:

$$M_{exp} = N_1 \cdot (e_0 + 0.5 \cdot h - a_s) = 151.4 \cdot (14 + 10 - 2.5) = 32.55 \text{ кНм} \quad (6)$$

Отримані результати свідчать про те, що цей розрахунковий спрощений метод для цього виду нагрівання є доволі точним і дає похибку  $\delta = 1.6\%$ .

### Метод уточнених розрахунків

У ПК “Ліра” було створено розрахункову схему, показану на рис. 4. У цій розрахунковій схемі було використано 2 види жорсткостей:

- ненагрітий бетон – об’ємний елемент з модулем пружності 28200 МПа і коефіцієнтом Пуассона 0,2;

- нагрітий бетон – об’ємний елемент з модулем пружності 9020 МПа, зниженим через вплив температури, і коефіцієнтом Пуассона 0,2.

Колона закріплена відповідно до досліджуваної конструкції: шарнірно-рухома опора згори і шарнірно-нерухома знизу.

Колона навантажена 3 завантаженнями:

- власна вага конструкції,
- корисне навантаження у вигляді сили, прикладеної до консолі;
- нагрівання конструкції з боку розтягнутої арматури.

**Результати розрахунку.** У результаті розрахунку було отримано деформовані схеми конструкції від кожного завантаження (рис. 4-7). Оскільки у досліджуваних зразках початок руйнування відповідає моменту текучості арматури, то в цьому випадку можливо (з достатньою для інженерних розрахунків точністю) провести розрахунок у пружній стадії, не враховуючи повзучості, усадки бетону, без врахування реальних діаграм бетону. Відповідно до отриманих результатів, напруження, які виникають у ділянці, що відповідає реальному розміщенню арматури, відповідає  $\sigma_s = 378$  МПа, що на 5% є більшим за фактичне напруження в арматурі на 60-й хвилині нагрівання  $\sigma_s^{max} = 361$  МПа. Розрахунковий сумарний вигин колони за віссю X становить  $f = 0,005 + 1,17 + 2,26 = 3,44$  мм, що на 19% менше за експериментальний вигин зразка. Це можна пояснити проведенням розрахунку в припущенні пружної роботи бетону, що дає відповідну похибку.

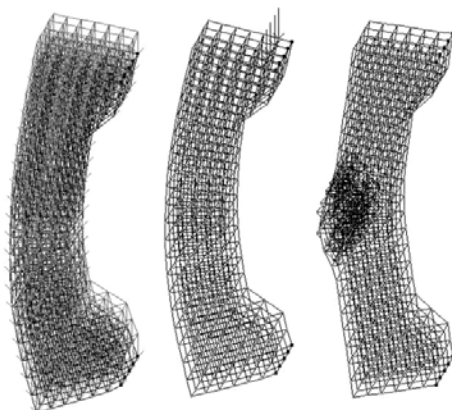


Рис 3. Деформована схема конструкції під час кожного завантаження

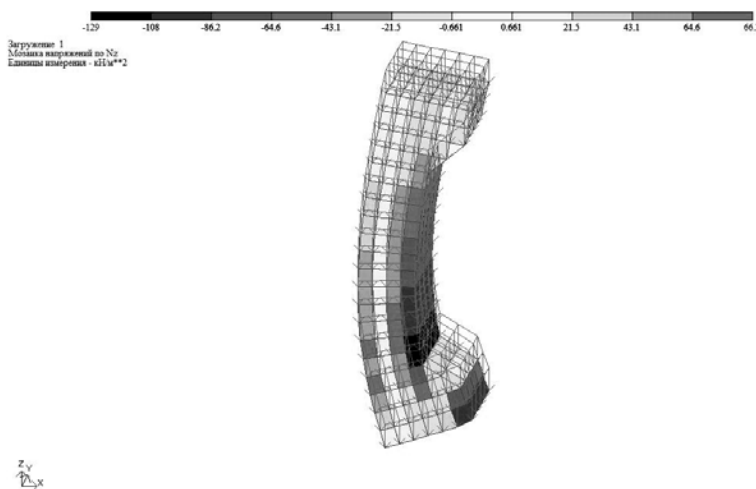


Рис. 4. Напруження вздовж осі z від першого завантаження

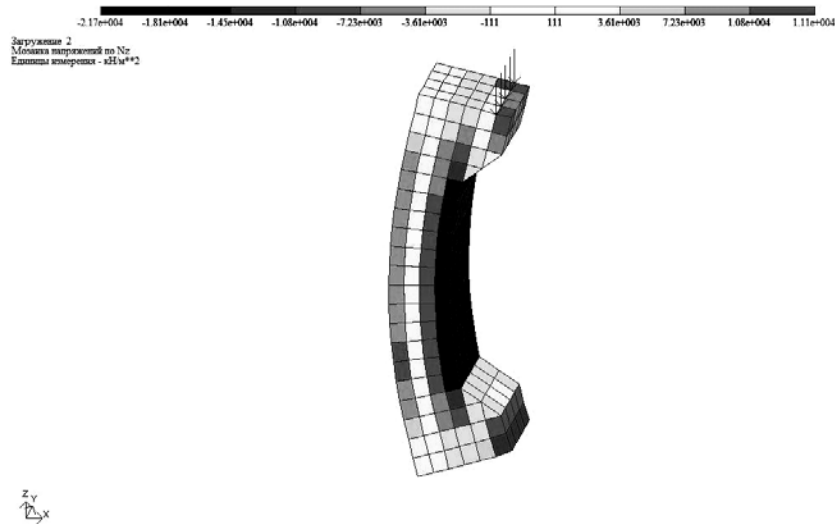


Рис. 5. Напруження вздовж осі z від другого завантаження

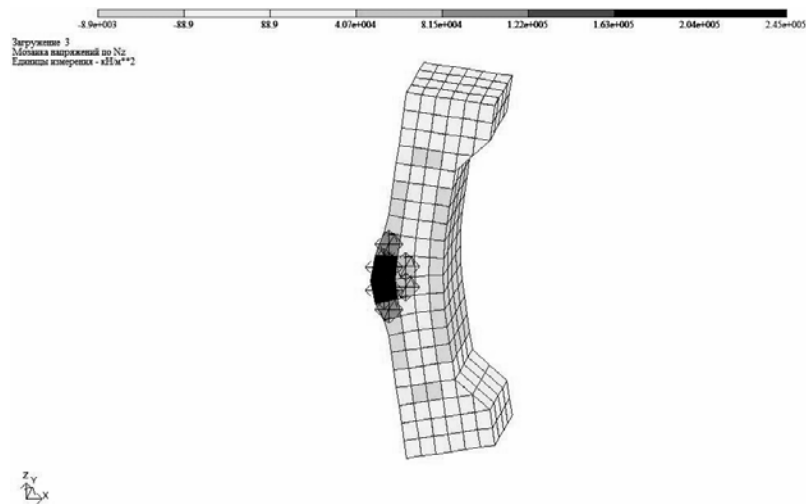


Рис. 6. Напруження вздовж осі z від третього завантаження

**Висновки.** Метод спрощених розрахунків за новими нормами дає хорошу збіжність ( $\delta=1,6\%$ ) з результатами експерименту у разі нагрівання з боку розтягнутої арматури. Уточнений метод теж дає добру збіжність з експериментальними даними ( $\delta=5\%$ ) під час нагрівання з боку розтягнутої арматури. Зменшення розбіжності за уточненого методу розрахунку можна досягти, використовуючи деформаційну модель з врахуванням реальних діаграм деформування бетону. Результати досліджень свідчать про можливість застосування як спрощених, так і уточнених методів для визначення міцності зразків за дії місцевого нагрівання з боку розтягнутої зони позакцентровано-стиснутих елементів.

1. ДСТУ-Н П Б В.2.6-XX: 20XX Настанова проектування залізобетонних конструкцій Основні положення “Вогнестійкість” (EN 1992-1-2:2004, MOD). – К., Мінрегіонбуд України, 2010. – 120 с.  
 2. ДБН В.1.1.7–2002 Пожежна безпека об’єктів будівництва. – К.: Держбуд України, 2003. – 87 с.  
 3. ДСТУ-Н EN 1991-1-2:2010 - Єврокод 1. Дії на конструкції. Ч. 1–2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2011. – 80 с.  
 4. Була С.С. Визначення кривизни та температурного зусилля у позакцентровано-стиснутих залізобетонних елементах при дії місцевого нагріву та експлуатаційного навантаження // Донбаська національна академія будівництва та архітектури. „Сучасне промислове та цивільне будівництво”. – Т.3. – 2007. – № 2. – С. 115–124.  
 5.

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 акумуляування теплоти.

Акумуляувати 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. Теплоакумуляуючим середовищем є вода, яка відповідає вимогам названих вище систем та вимогам споживача. В акумуляторі 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 акумуляування теплоти чи води висвітлюється недостатньо. Відсутні вимоги до конструкцій БА, розрахунку їх ємностей, товщини теплової ізоляції, вибору форм днищ, способів установки