

УДК: 62-684, УДК 536.24

МОБІЛЬНІ АКУМУЛЯТОРИ ДЛЯ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОХОЛОДОПОСТАЧАННЯ. ЧАСТИНА 2

Демченко В.Г., канд. техн. наук, Трубачев А.С., канд. техн. наук, Фалько В.Ю., Гронь С.С.

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03057, Україна

<https://doi.org/10.31472/ihe.3.2018.08>

У цій статті зроблені висновки про вплив корозії на конструкцію бака-акумулятора, приведені розрахунки на міцність, розроблена номограма для визначення теплової потужності, що акумулюється, в залежності від об'єму і температури, проведено економічний аналіз проекту, виконана оцінка енергетичних, екологічних і економічних параметрів системи і запропонований експрес-метод аналізу ефективності проекту.

В данной статье сделаны выводы о влиянии коррозии на конструкцию бака-акумулятора, приведены расчёты на прочность, разработана номограмма для определения тепловой аккумулируемой мощности в зависимости от объёма и температуры, проведён экономический анализ проекта, выполнена оценка энергетических, экологических и экономических параметров системы и предложен экспресс-метод анализа эффективности проекта.

In this article drawn conclusion about influence of corrosion on the construction of tank energy storage, calculations over are brought on durability, a nomogram is worked out for determination of the accumulated heat power depending on a volume and temperature. Provided economic analysis of the project, the estimation of power, ecological and economic parameters of the system is executed and the express-method of analysis of efficiency of project offers.

Бібл. 14, рис. 8, табл. 3

Ключові слова: акумулятор, теплота, холод, система, ефективність. $c_{\text{тв}}$ – питома теплоємність твердої фази (кДж/кг °С); $c_{\text{р}}$ – питома теплоємність рідкої фази (кДж/кг °С); $\Delta h_{\text{фп}}$ – питома теплота плавлення (кДж/кг); m – маса речовини (кг); $T_{\text{фп}}$ – температура фазового переходу (°С); t_1 – початкова температура нагріву (°С); t_2 – кінцева температура нагріву (°С); Δq – прихована теплота плавлення, в Джоуль/кг; t_a – температура довкілля, К; t_m – температура плавлення, в °С; τ – час; C_{PS} – середня теплоємність твердої фази між t_1 і t_m , кДж/кг-К; C_{PL} – середня теплоємність рідкої фази між t_m і t_p , в J/(kg-K); Q_u і Q_l – теплота трансформації енергії від джерела теплоти до ТАМ; G – масова витрата рідини (кг/год); ρ – густина рідини (кг/м³); γ – питома вага рідини; ρ – щільність рідини; V – об'єм; σ_m – меридіальні напруження в пласконапруженому стані; σ_t – окружні напруження в пласконапруженому стані; ρ_m – окружний радіус кривизни; ρ_t – меридіальний радіус кривизни; δ – товщина стінки бака-акумулятора, P – внутрішній тиск; $[\sigma]$ – допустиме напруження; τ – дотичне напруження при зрізі; a – прискорення; v_0 – початкова швидкість; S – загальна площа поперечних перерізів болтових з'єднань; KE_1, KE_2, KE_3 – ваговий енергетичний, екологічний, економічний коефіцієнти; ΔB – економія палива шляхом використання МТА, т у.п.; B – витрати палива за попередній рік, т у.п.; G – річний викиди шкідливих речовин, т/год; ΔG – зменшення викиду шкідливих речовин шляхом використання МТА, т/год; T – регіонально затверджений тариф, грн./Гкалл; $C_{\text{в}}$ – собівартість отримання акумульованої енергії, грн./Гкалл;

ДСО – дискретна система опалення/охолодження;

МТА – мобільний акумулятор теплової енергії;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ТАМ – теплоакumuлюючий матеріал;

РСМ – матеріал з фазовим перетворенням;

 $I_{\Sigma}^{\text{р}}$ – Індекс привабливості; $I_{\Sigma}^{\text{п}}$ – Індекс пропорційності.

1. Вступ.

Метою другої частини статті [1] є вибір та обґрунтування конструктивних матеріалів для МТА, оцінка

впливу хімічної корозії ТАМ на конструктивні елементи, проведення розрахунку на міцність бака-акумулятора при транспортуванні, визначення теплової

здатності ТАМ та визначення доцільності впровадження та ефективності інвестицій у природоохоронні заходи на прикладі реалізації проекту ДСО. Для досягнення поставленої мети були проведені експериментальні дослідження корозійної дії водного розчину бішофіту й триацетату натрію на метали, проведені розрахунки напружено-деформованого стану бака-акумулятора та його кріплення при транспортуванні, розроблена номограма для визначення кількості отримання корисної теплоти та холоду в залежності від різниці температур теплоносія та запропоновано експрес-метод визначення енерго-еколого-економічної ефективності проекту. Для визначення економічної привабливості впровадження ДСО було використано довгострокову статистично-нормативну та балансову методику.

2. Вибір тепло-холодоакумуляюючих матеріалів.

Безліч методів і способів акумуляції призводить до різних технічних і конструктивних рішень. Головне, що суттєво відрізняє проектування систем з акумуляторами – це знання не тільки їх конструкції, ємності акумуляторів (кількості накопиченого холоду/теплоти), але й продуктивності акумуляторів, тобто їх здатності віддавати конкретну кількість холоду (теплоти) в одиницю часу на конкретному температурному рівні, з аргументацією можливих значень похибок відповідних характеристик. Найбільш ефективна акумуляція досягається при використанні теплоти фазових перетворень чи теплоти хімічних реакцій (утворення та розпаду кристалогідратів солей). Найменш ефективною є акумуляція при використанні тільки теплоємності речовини, зміни її ентальпії (тепловмісту) зі зміною температури без фазових перетворень.

Маса і об'єм теплоакумуляюючого матеріалу (ТАМ) залежить від відповідної щільності енергії, що запасастся, й ККД процесу акумуляції. У реальному процесі акумуляції щільність енергії, що запасастся, на порядок нижча теоретичного значення внаслідок теплових втрат, вирівнювання поля температур, втрат при заряді й розряді акумулятора тощо. Акумуляції теплоти та холоду присвячена велика кількість досліджень, аналіз яких показує, що найбільші перспективи ТАМ мають водно-сольові системи.

Нами проведено порівняння технічних характеристик, вибраних для наших досліджень ТАМ – бішофіту й тригідрату ацетату натрію, яке показало, що обидві речовини мають певні переваги та обмеження по їх застосуванню.

Бішофіт є водним хлоридом магнію $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, він не має запаху, не горючий, не вибухонебезпечний, гігроскопічний та не токсичний. Розчин природного бішофіту застосовується для захисту від замерзання та корозії в автономних системах опалювання й охолодження та відповідає вимогам ГОСТ 28084-89 "Рідини охолоджувальні низькозамерзаючі". Він харак-

теризується низькою корозійною активністю. Його можна транспортувати та зберігати в звичайних металевих ємностях. Забезпечує роботу устаткування в діапазоні робочих температур від $-30\text{ }^\circ\text{C}$ до $+110\text{ }^\circ\text{C}$ і захищає систему від повного замерзання при температурах зовнішнього середовища до $-35\text{ }^\circ\text{C}$. Термін зберігання в герметично закритій тарі не обмежений.

При нагріванні водного розчину бішофіту відзначається випадання осаду, який засмічує фільтри та збільшує гідравлічний опір системи опалювання. Крім того, в літературних джерелах є суперечливі відомості про корозійну активність та вплив розчину бішофіту на металеві труби і гумові ущільнення, що вимагає подальшого вивчення.

Трьохводний ацетат натрію $NaCH_3COO \cdot 3H_2O$ є об'єктом підвищеної уваги в силу унікальності його теплофізичних властивостей, сприятливих для використання в якості ТАМ на основі фазових перетворень.

У літературі є велика кількість інформації про цю речовину: структуру, властивості, плавлення, кристалізацію, дегідратацію та ін. [2]. Проте, при вивченні фазових перетворень, що відбуваються в цій речовині, відсутній системний підхід. Даються суперечливі відомості по ентальпійх плавлення та переохолодження, до яких пред'являють вимоги щодо їх стійкості при багаторазовому термоциклуванні, а також передкристалізаційному переохолодженні [3, 4].

Тригідрат ацетату натрію плавиться ізотермічно при температурі $+58\text{ }^\circ\text{C}$ і допускає переохолодження на $30\text{--}40\text{ }^\circ\text{C}$ без кристалізації. Кристалізація відбувається при механічному перемішуванні або при введенні додаткових центрів кристалізації в розплав, що обмежує можливості його застосування. Крім того, при нагріванні до температури $+95\text{ }^\circ\text{C}$ відбувається випар кристалізаційної води, і змінюються температури плавлення і кристалізації. Збереження стабільності при багаторазових циклах плавлення та кристалізації можливо при введенні в тригідрат ацетату натрію ініціаторів кристалізації й спеціальних загусників. [5]

Кількість акумуляованої теплоти безпосередньо залежить від теплофізичних властивостей теплоакумуляюючого матеріалу. Так, для нагріву матеріалу з двофазним переходом кількість теплоти може бути описана формулою:

$$Q = c_{\text{тв}} \cdot m \cdot (T_{\text{фп}} - t_1) + \Delta h_{\text{фп}} \cdot m + c_p \cdot m \cdot (t_2 - T_{\text{фп}}). \quad (1)$$

Для визначення кількості теплоти матеріалу без фазового переходу використовувалась наступна формула:

$$Q = c_p \cdot m \cdot (t_2 - t_1). \quad (2)$$

Кількість акумуляованої енергії холоду визначалась за формулою:

$$Q = G \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1). \quad (3)$$

Проведені нами дослідження дали змогу побудувати розрахункові діаграми для визначення продуктивності акумулятора по теплоті і холоду залежно від місткості ТАМ для водного розчину бішофіту (Рис. 1) і тригідрату ацетату натрію (Рис. 2) з розрахунку на 5-20 кубічних метрів відповідно. Як можна бачити, об'єм акумуляованої теплоти/холоду прямо пропорційний об'єму ТАМ, при цьому кількість отриманого холоду вище.

3. Експериментальне дослідження впливу ТАМ на процес корозії металів.

На сьогоднішній день основним матеріалом для виготовлення теплоакумуляуючих апаратів є конструкційна вуглецева сталь (Ст 3, Ст 10, Ст 20). Більш приваблива нержавіюча сталь не знаходить широкого вжитку через високу собівартість виробів з неї. Хоча останнім часом набуває сили тенденція до виготовлення основних вузлів з полімерних матеріалів, вони застосовуються не настільки широко, як низьколеговані сталі.

Враховуючи, що теплоакумуляуючі речовини досить часто являють ознаки кислот чи лугів і використовуються при підвищеній температурі, процеси хімічної і електрохімічної корозії є одними з основних чинників руйнування елементів конструкції теплоакумуляуючих пристроїв. Нанесення захисних хімічних чи гальванічних покриттів дещо уповільнює цей процес,

але повністю припинити його не може. Більш доцільним бачиться підключення металевих елементів конструкції до захисного аноду (анодний захист) з періодичною заміною аноду в процесі роботи.

При аналізі корозійної дії теплоакумуляуючих речовин нами проводились досліди з технічним розчином бішофіту і триацетатом натрію. Технічний розчин бішофіту являє собою рідину жовто-коричневого кольору з показником РН = 6.8. Після нагрівання до +90...95 °С випадає бурий, нерозчинний в воді осад, сам розчин стає прозорим. Показник РН рідини при цьому змінюється незначно (до РН 6.6...6.7). Триацетат натрію в стані розплаву мав показник РН 5.6. Після кількох фазових переходів речовина втрачала чи набирала (в залежності від зовнішніх умов) воду, що призводило до зміни числа РН на 0.6...0.9 в той чи інший бік. З літературних джерел нам відомо, що швидкість корозії металів в розплаві триацетату натрію складає близько 0,02 мм/рік.

Для дослідів нами використовувалися металеві деталі як з низьколегованих сталей (08кп, Ст3 з покриттям НЗ, чи хімічною пасивацією), так і з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т. Зразки занурювались в теплоакумуляуючу речовину, після чого проводилось 10 циклів нагрівання на водяній бані до +95 °С з наступним охолодженням до кімнатної температури. Після 10 циклів нагрівання-охолодження металеві деталі, що заходились

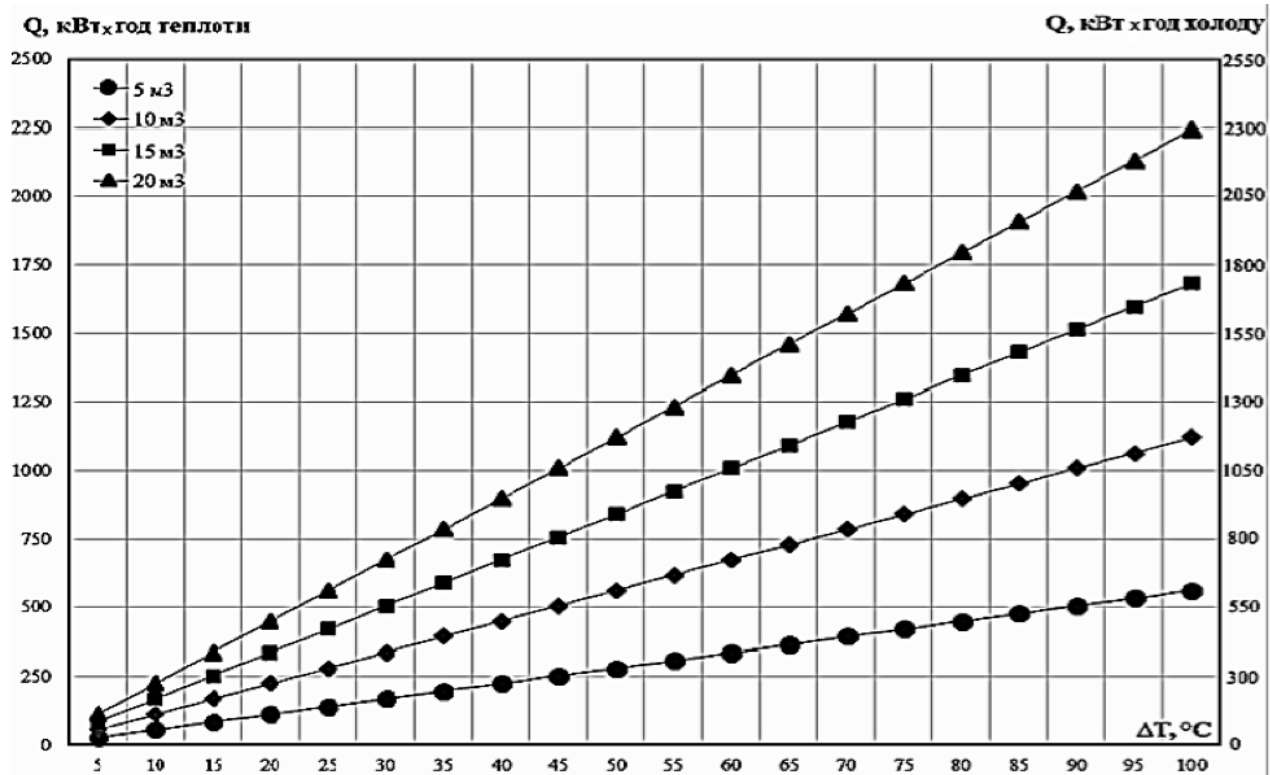


Рис. 1. Діаграма тепло-холодопродуктивності об'єму ТАМ на основі бішофіту.

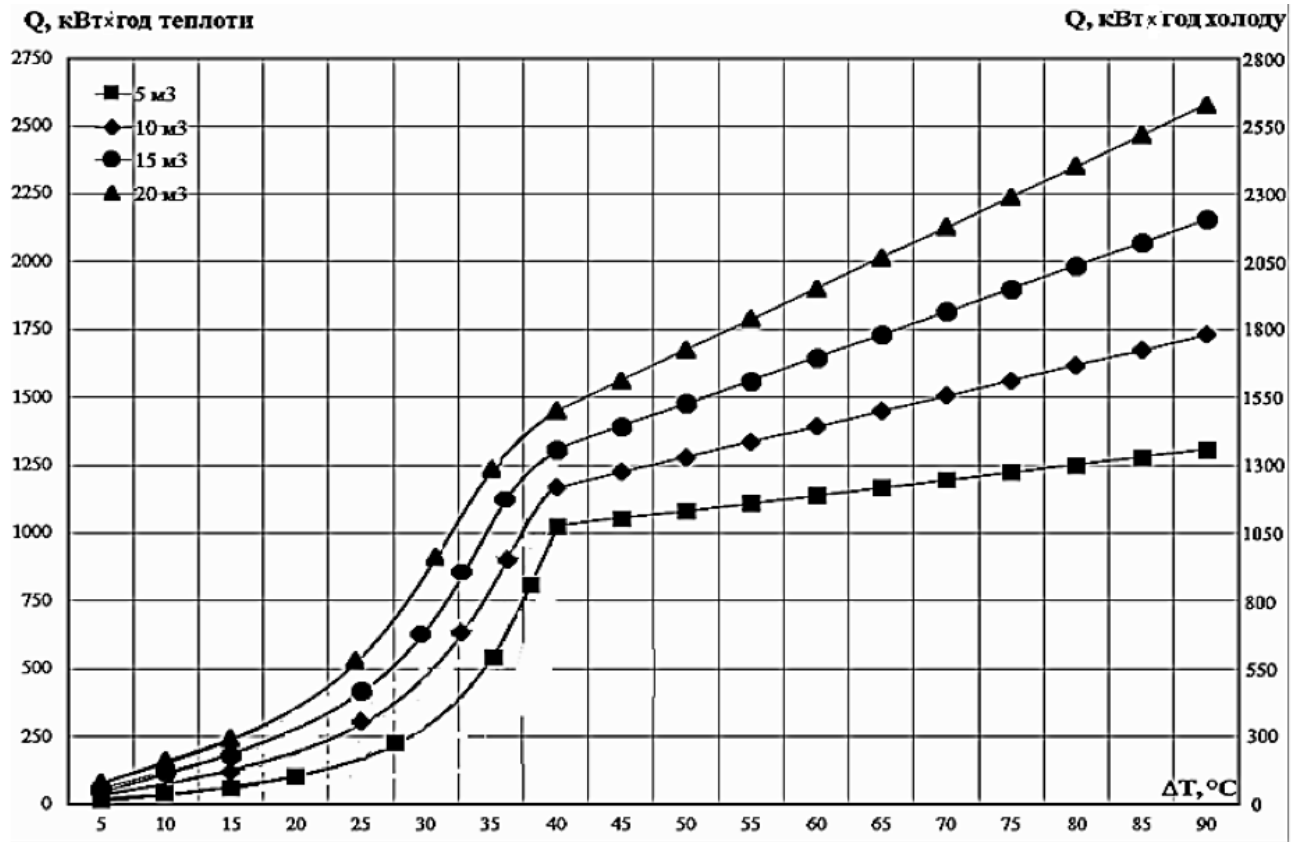


Рис. 2. Діаграма тепло-холодопродуктивності об'єму ТАМ на основі тригідрату ацетату натрію.

в розчині бішофіту, залишились практично незмінними, слідів корозії не помічено. В той час як зразки, що знаходились в розплаві триацетату натрію, мають явні сліди корозії (крім зразка з нержавіючої сталі). Особливо помітна корозія зразків, що знаходились на межі повітря і триацетату натрію. Таким чином підтверджено, що використання розплавів солі гідратів потребують додаткових заходів по захисту від корозії металів, а використання полімерних матеріалів обмежено температурою їх застосування.

4. Розрахунок напружено-деформованого стану бака-акумулятора та кріплення при транспортуванні тягачем.

Розрахунки проведені для бака-акумулятра циліндричної форми, виготовленого зі сталі та полімерного матеріалу ємністю 10 м³. Ємність заповнена рідиною γ. Таким чином:

$$m_p = \rho V = \frac{\gamma}{g} V. \tag{4}$$

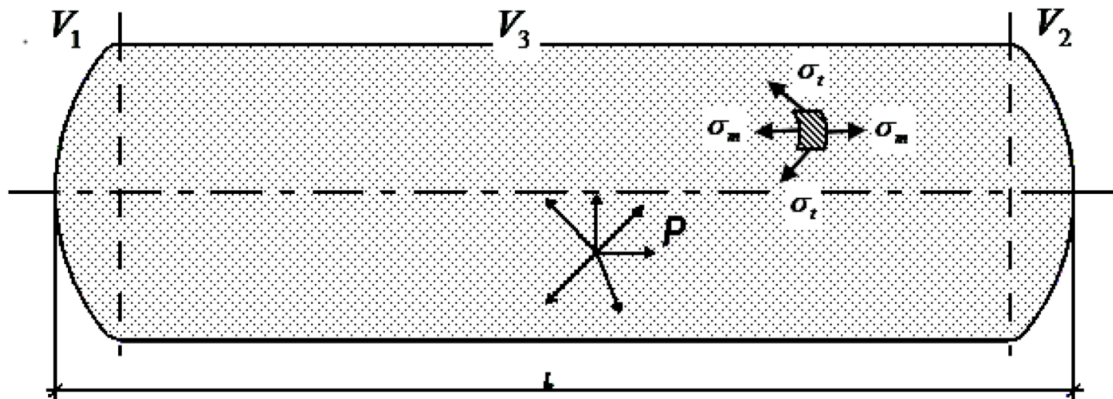


Рис. 3 Схематичне зображення конструкції, що розраховується, та напружень в елементах ємності.

При цьому $V_1 = V_2$, а $V_1 + V_2 + V_3 = 10 \text{ м}^3$. Так як задача вісесиметрична, розрахуємо σ_t та σ_m , де σ_t – окружні напруження в пласконапруженому стані, σ_m – меридіальні напруження в пласконапруженому стані. Використовуємо формулу Лапласа:

$$\frac{\sigma_t}{\rho_t} + \frac{\sigma_m}{\rho_m} = \frac{P}{\delta}, \quad (5)$$

де ρ_t – окружний радіус кривизни; ρ_m – меридіальний радіус кривизни.

Так як бак-акумулятор має циліндричну форму, отримуємо $\rho_t = R$, $\rho_m = \infty$. Таким чином:

$$\frac{\sigma_t}{R} + \frac{\sigma_m}{\infty} = \frac{P}{\delta} \Rightarrow \sigma_t = \frac{RP}{\delta}. \quad (6)$$

В конструкції бака-акумулятора вварені два днища, тому необхідно визначити σ_m

$$\sigma_m 2\pi R \delta = P\pi R^2. \quad (7)$$

$$\sigma_m = \frac{P\pi R^2}{2\pi R \delta} = \frac{PR}{2\delta}. \quad (8)$$

В даному випадку $\sigma_t > \sigma_m$.

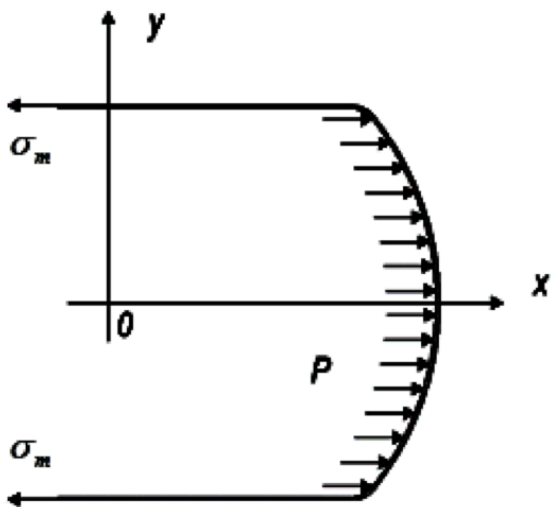


Рис. 4 Схема дії меридіальних напружень.

де $[\sigma]_{Cm}$ – допустиме напруження для матеріалу корпусу бака-акумулятора, а саме Ст.20, дорівнює 160 МПа; $[\sigma]_{ПЛАСТ}$ – допустиме напруження корпусу бака-акумулятора для полімерного композитного матеріалу на основі поліпропілену, дорівнює 17 МПа.

Таким чином умови міцності зберігаються:

$$\sigma_t = \frac{RP}{\delta} \leq [\sigma]_{Cm}, \quad \sigma_m = \frac{PR}{2\delta} \leq [\sigma]_{Cm}, \quad \sigma_t = \frac{RP}{\delta} \leq [\sigma]_{ПЛАСТ},$$

$$\sigma_m = \frac{PR}{2\delta} \leq [\sigma]_{ПЛАСТ}, \quad \sigma_{екв(Cm)}^{IV} = 0,87 \frac{PR}{\delta} \leq [\sigma], \quad \sigma_{екв(ПЛАСТ)}^{IV} = 0,87 \frac{PR}{\delta} \leq [\sigma].$$

За умов урахування, що напружений стан плаский, то знаходимо еквівалентне напруження за IV енергетичною теорією міцності (по Мізесу):

$$\begin{aligned} \sigma_{екв}^{IV} &= \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_m^2 - \sigma_t \sigma_m} \leq [\sigma] \Rightarrow \sqrt{\frac{R^2 P^2}{\delta^2} + \frac{R^2 P^2}{4\delta^2} - \frac{R^2 P^2}{2\delta^2}} = \\ &= \sqrt{\frac{3P^2 R^2}{4\delta^2}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{PR}{\delta} = 0,87 \frac{PR}{\delta} \leq [\sigma]. \end{aligned} \quad (9)$$

В процесі транспортування бака-акумулятора за допомогою тягача асфальтованою дорогою необхідною умовою є збереження цілісності конструкції при екстремому гальмуванні. Розрахуємо болтові з'єднання конструкції.

В умовах екстремого гальмування болтове з'єднання працює на зріз.

Необхідно визначити дотичне напруження при зрізі:

$$\tau = \frac{F}{S} \leq [\tau], \quad (10)$$

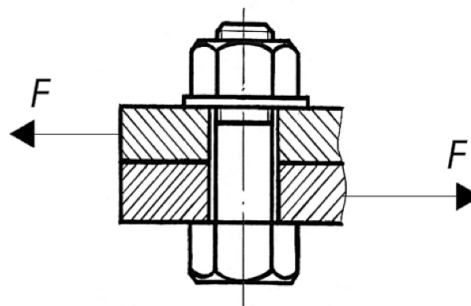


Рис. 5. Направлення сил, що діють на болтове з'єднання при екстремому гальмуванні.

Табл. 1. Результати розрахунку окружних, меридіальних напружень в пласконапруженому стані та напружень по Мізесу

Матеріал бака-акумулятора	σ_t , МПа	σ_m , МПа	$\sigma_{екв}^{IV}$, МПа
Сталь 20	8	4	6,96
Полімерний композитний матеріал	3,2	1,6	2,78

де τ – дотичне напруження при зрізі, $[\tau]$ – допустиме дотичне напруження при зрізі.

$$F = m_{заг} a, \quad (11)$$

де: $m_{заг(Cm)} = m_{I(Cm)} + m_2$; $m_1 = \rho_1 V_1$, де $\rho_1 = 7859 \text{ кг/м}^3$, V_1 – об'єм бака, як оболонки.

$$m_{заг(ПЛАСТ)} = m_{I(ПЛАСТ)} + m_2, \quad (12)$$

$m_2 = \rho_2 V_2$, m_2 – маса рідини, де ρ_2 – густина теплоносія, V_2 – об'єм теплоносія у ємності.

$V_2 = \pi R^2 h + 2V_{дн}$, приймаємо значення $m_{заг(Cm)} \approx 20\text{т}$, а для $m_{заг(ПЛАСТ)} \approx 17\text{т}$, $a = (v_0 - v)/t$, a – прискорення, що є від'ємним при гальмуванні, де v_0 – початкова швидкість, яка приймається у розмірі 60 км на годину, у випадку рівноприскореної зупинки $v = 0$, таким чином $a = v_0/t = 16,67 \text{ м/с}^2$.

$$S = 24\pi d^2/4 = 6\pi d^2 = 10851,9 \text{ мм}^2 \quad [\tau]_{Cm} \approx 1/2 [\sigma]_{Cm} \approx 80\text{МПа}.$$

При транспортуванні бака-акумулятора ґрунтовою дорогою може виникнути ефект розкачування конструкції, тому необхідним розрахунком є розрахунок болтового з'єднання на розрив. Таким чином

$$\sigma = F/12S \leq [\sigma]$$

$$F = F_{Cm} \cdot K_{дн}, \quad (13)$$

$$F_{Cm} = m_{заг} g, \quad (14)$$

$$K_{дн} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2H}{\delta_{стат}}}, \quad (15)$$

$\delta_{стат} = FL/ES$ – виникає при наявності люфту у болтовому з'єднанні. Тоді $K_{дн} = 2$

$$F = F_{Cm} \cdot K_{дн}. \quad (16)$$

Таким чином, було розраховано напружено-деформований стан конструкції зі сталі та композитного полімерного матеріалу при сталих розмірах бака-акумулятора та умовах експлуатації. Результат розрахунку:

- еквівалентне напруження за IV енергетичною теорією міцності

$$\sigma_{екв(Cm)}^{IV} = 6,96 \text{ МПа} \leq [\sigma] \quad \sigma_{екв(ПЛАСТ)}^{IV} = 2,78 \text{ МПа} \leq [\sigma],$$

- дотичне напруження при зрізі для сталі $\tau_{Cm} = 30,7 \text{ МПа}$ та полімерного композиту $\tau_{ПЛАСТ} = 26,11 \text{ МПа}$,

- розрахунок болтового з'єднання на розрив

$$\sigma_{СТАЛЬ} = 18 \text{ МПа} \leq [\sigma] \quad \text{та} \quad \sigma_{ПЛАСТ} = 15,7 \text{ МПа} \leq [\sigma].$$

Отже умови міцності конструкції при використанні матеріалу Ст.20 та полімерного композиту зберігаються. Та враховуючи отримані результати напруження по Мізесу, дотичне напруження при зрізі та напруження болтового з'єднання при розкачуванні під час транспортування за умов використання конструкції зі сталі вище. Таким чином, доцільно використовувати полімерний композит.

5. Експрес-метод оцінки ефективності різноманітних проектів впровадження енергозберігаючих технологій.

Система ухвалення стратегічного рішення по доцільності інвестування проектів енергоефективності таких, як заміна і модернізація устаткування, залучення до процесу генерації альтернативних палив і джерел енергії, утилізації вторинних енергоресурсів, твердих побутових відходів і відходів сільськогосподарської діяльності потребує розробки нових експрес-методів оцінки ефективності. Існує багато методик розрахунку доцільності інвестування та впровадження енергозберігаючих заходів, які, однак, не завжди враховують умови роботи енергетичної системи та окремого обладнання.

В ході визначення доцільності впровадження ДСО нами було апробовано та пропонується доповнити методи розрахунку інвестування енергозберігаючих заходів та проектів принципово новим методом стратегічного експрес-аналізу «3Е». [6]

Даний метод дозволяє отримати графічне зображення результату аналізу та з великою долею вірогідності визначити стратегію фінансування проектів впровадження. Аналіз базується на трьох основних критеріях, а саме: енергетичному, екологічному та економічному. Дані вагові критерії, в свою чергу, складаються з низки значень, що є необхідними для отримання вірогідного результату окупності проекту впровадження.

Результати експрес-аналізу наочно представляються у вигляді площі допустимих значень на трикутній діаграмі, яку нами пропонується назвати надалі «3Е трикутник» від початкових літер слів: Енергетика, Екологія та Економіка.

За допомогою «3Е» експрес-аналізу нами було визначено ефект впровадження ДСО при використанні віддалених від споживача джерел енергії, а також залеж-

Табл. 2. Результати розрахунку напружено-деформованого стану болтових з'єднань з урахуванням зрізу та відриву.

Матеріал бака-акумулятора	F_{Cm} , кН	τ , МПа	F_{Cm} , кН	F , кН	σ , МПа
Сталь 20	333,4	30,7	200	400	18
Полімерний композитний матеріал	283,4	26,11	170	340	15,7

ність між вище наведеними критеріями для визначення впливу кожного з них на загальний результат. Розроблена методика дозволяє у короткий термін, без зайвих фінансових витрат, прийняти стратегічне рішення щодо фінансування проекту впровадження. Також розроблений «3Е» експрес-аналіз дозволяє порівнювати варіанти та визначати ефективність впровадження новітніх енергозберігаючих технологій і надалі виконати статистичний та кореляційний аналіз традиційними методами математичної статистики.

Важливим чинником проведення розрахунків за новим методом «3Е» експрес-аналізу є виявлення довірчого інтервалу, що покриває невідомий параметр. Важливим розділом економіки є теорія і практика експертних оцінок – на них базується вибір оптимального напрямку інвестицій або виробництва певного виду продукції та навіть прогнозування розвитку економічної ситуації. На основі проведення експертної оцінки нами пропонується призначити межі довірчих інтервалів, із заданою надійністю, для кожного критерійного вагового коефіцієнта KE , що являють собою безрозмірні величини,

що виражені у відсотках. Формули для розрахунку вагових коефіцієнтів наведені в табл. 3.

Енергетичний коефіцієнт KE_1 показує мінімально привабливу кількість акумульованої енергії з урахуванням теплових втрат та пропонується обчислювати як пропорцію різниці витрат натурального палива, тон/год., й електроенергії на виробництво 1,0 Гкал, або сумарний виробіток теплової енергії за період часу, кВт·год., до сумарної витрати енергії в перерахунку на тони умовного палива мінус одиниця. [7,8] Як було відзначено в першій частині даної роботи, теплові втрати в процесі акумуляції теплоти сягають 25%, тому довірчий інтервал за економічними показниками прийнятий в межах від 25 до 100%.

Аналогічно обчислюється екологічний коефіцієнт KE_2 , який на пряму залежить від об'єму привнесеної шляхом акумуляції енергії в систему теплопостачання або холодопостачання та об'єму скорочення шкідливих викидів в атмосферу з димовими газами від базового теплогенеруючого устаткування. [9]

Наші розрахунки показали, що об'єм димових газів

Табл. 3. Розрахунок значення вагових коефіцієнтів для побудови «3Е трикутника»

Найменування	Формула для розрахунку	Довірчий інтервал	Призначення
Ваговий енергетичний коефіцієнт KE_1	$KE_1 = (1 - \frac{B-\Delta B}{B}) \times 100\%$	25...100%	Мінімальна та максимальна кількість акумульованої енергії
Ваговий екологічний коефіцієнт KE_2	$KE_2 = \frac{G-\Delta G}{G} \times 100\%$	35...100%	Об'єм привнесеної шляхом акумуляції енергії в систему тепло-холодопостачання
Ваговий економічний коефіцієнт KE_3	$KE_3 = \frac{T-C_b}{T} \times 100\%$	40...100%	Економічна привабливість проекту
Індекс привабливості	$I_\Sigma^p = KE_1 + KE_2 + KE_3$	Інтегрований показник кількісної якості виконання програми проекту в часі. Визначені у відсотках; вагові коефіцієнти повинні задовольняти таку вимогу: $\sum_t KE_n = 1$	Для вибору оптимального варіанта фінансування проекту
Індекс пропорційності	$I_\Sigma^a = KE_1 \cdot KE_2 \cdot KE_3$	Інтегрований показник виконання проекту - пропорційне темпу зміни відхилення від програми	Для порівняння та визначення відхилень від цільового значення, які прогнозуються в майбутньому

при скороченні генерації теплоти на 25% зменшується приблизно на 35%. Довірчий інтервал за екологічними показниками приймається в межах від 35 до 100%.

Відомо, що головним принципом формування тарифу є співвідношення суми витрат до обсягу теплопостачання. При цьому витрати на паливо складають близько 85%. Економічний коефіцієнт KE_3 пропонується обчислювати як співвідношення законодавчо прийнятого місцевого тарифу [10] до продажної вартості теплової енергії, отриманої від системи ДСО. Таким чином, коефіцієнт KE_3 відповідає на питання економічної привабливості проекту енергозбереження. При визначенні вартості отриманої теплової енергії нами враховувалося, що енергія, яка отримана від ДСО, має коштувати мінімум на 10% дешевше, ніж від стаціонарного джерела теплопостачання. Приваблива для отримання інвестицій рентабельність проекту складає мінімум 20% та непередбачені витрати – 10%. У нашому випадку довірчий інтервал економічних

показників знаходиться в межах від 40 до 100%.

Отриманні межі довірчого інтервалу дали змогу побудувати діаграму, яку пропонується надалі називати «3Е трикутником». (Рис. 6).

Трикритеріальна діаграма графічно показує у вигляді багатокутника площину задовільних умов за трьома основними параметрами: енергетика, екологія, економіка.

«3Е трикутник» дозволяє зображати у вигляді однієї точки зміст трьох вагових коефіцієнтів. Запропонований метод експрес-аналізу «3Е» ґрунтується на тому, що в рівносторонньому трикутнику сума трьох перпендикулярів, опущених з будь-якої точки усередині трикутника на його сторони, дорівнює висоті. Довжина висоти береться за 100%, а довжини перпендикулярів відповідають відсотковому вмісту вагових коефіцієнтів. Точка перетину перпендикулярів є інтегральною характеристикою даного проекту енергозбереження. Для визначення точки перетину кожену зі сторін трикутни-

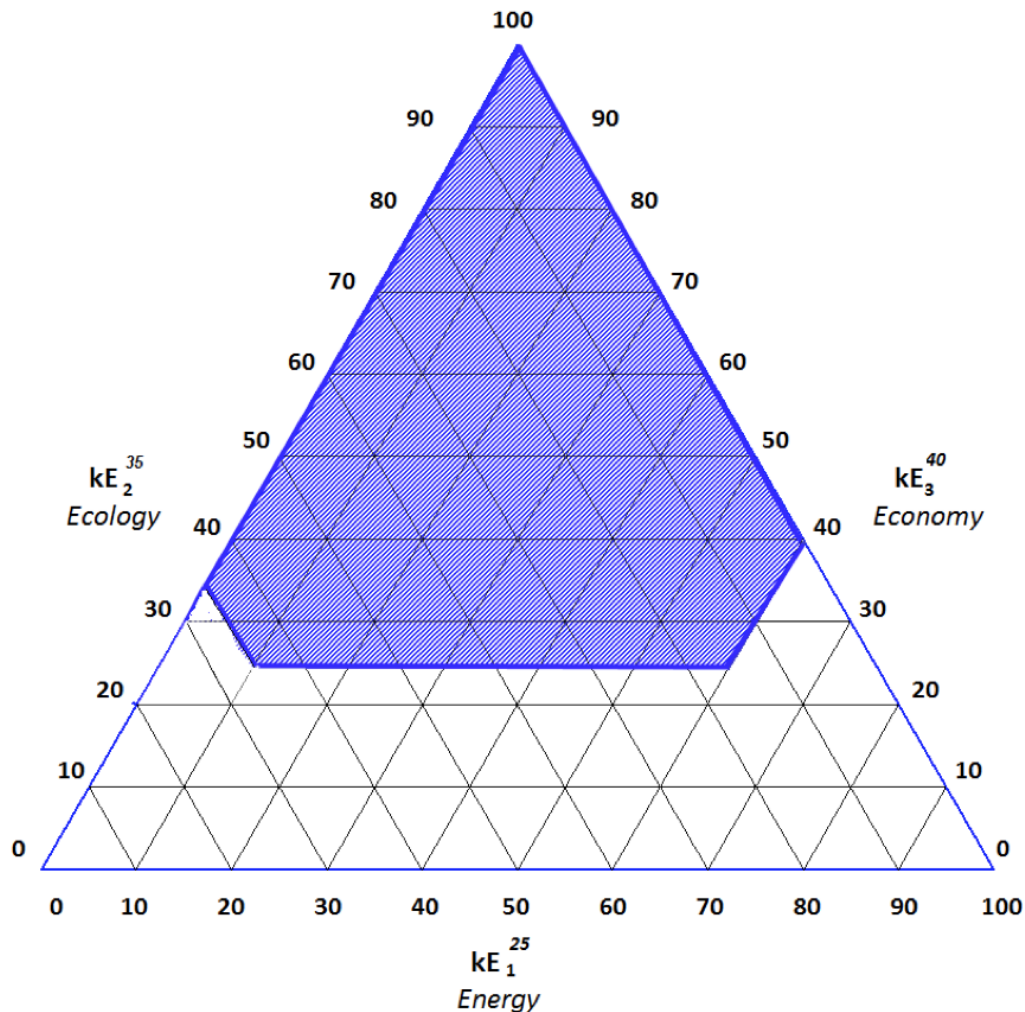


Рис. 6. Трикритеріальна діаграма «3Е трикутник».

ка ділять на 100 частин і від кожної з вершин по тій стороні, якій відповідає кожна з трьох характеристик, відкладають довірчий інтервал вагових коефіцієнтів у відсотках.

Як можна бачити, за вищезначеними межами побудовано довірче (заштриховане) поле, в якому значення вагових коефіцієнтів приваблює для фінансування проекту.

У випадку, якщо один або декілька коефіцієнтів не потрапляють в заштриховану ділянку трикутника, рішення про доцільність інвестування проекту потребує додаткових досліджень і має негативний характер. Знаючи значення економічних, енергетичних і екологічних даних конкретного проекту, в короткий час можна оцінити його привабливість, після чого можна застосувати загальноприйняті методи математичної статистики та теорії вірогідності для проведення подальших розрахунків. [11, 12]

Вказаний підхід може бути застосований не лише для проектів енергозбереження, але і в інших галузях науки і техніки.

Для визначення економічної привабливості запропонованого проекту було проаналізовано основні показники довгострокового планування з врахуванням тенденцій та закономірностей розвитку об'єкта планування та середовища його діяльності в цілому. Було враховано об'єктивні тенденції макроекономічного та мікроекономічного стану умов галузі в цілому.

Основні економічні показники за якими проведено

розрахунки, що є актуальними на даний час:

- ціна устаткування (мається на увазі основні засоби виробництва теплової енергії та холоду, що не враховує автотягач);

- ціна технічного бішофіту (із розрахунку необхідних 18 т);

- транспортні витрати на перевезення МТА (з врахуванням амортизаційних витрат на автотягач та пального);

- фонд заробітної плати (при плануванні бюджету враховано показник нормальної інфляції та індексації, податкові зобов'язання наймодавця);

- плановий дохід від реалізації теплової енергії та холоду;

- плановий дохід від рекультивациі території та дохід від реалізації вторсировини;

На основі наведених вище методик було розраховано прогнозний баланс типового підприємства, діяльністю якого є впровадження, управління, контроль та повне супроводження роботи ДСО. Так як на підприємстві даного типу є чітка структура управління, усі механізми взаємодії підрозділів будуються таким чином, щоб забезпечити виконання довгострокових цілей та стратегій шляхом реалізації поточних планів. [14]

Враховуючи економічні показники, що наведені вище було проаналізовано та розраховано основні планові балансові показники на період 10 років. Усі розрахунки проводились з врахуванням одного бака-акумулятора, який має корисний об'єм 10м³ (рис. 7, 8).

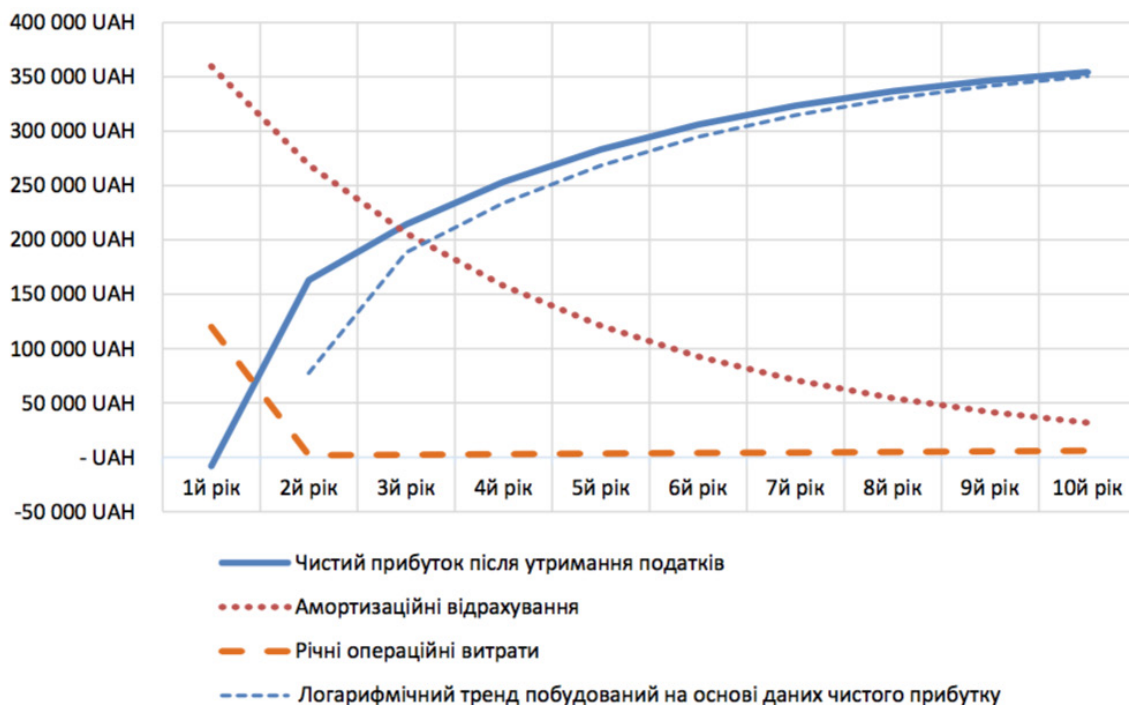


Рис. 7. Діаграма залежності амортизаційних відрахувань, річних операційних витрат та чистого прибутку.



Рис. 8. Чистий прибуток після утримання податків.

Інвестиційний капітал складає 1 510 000 грн. Розрахунковий об'єм річного доходу від реалізації теплової енергії та холоду становить 1470000 грн., чистий річний операційний прибуток за перший рік складає 350000 грн., а за п'ятий рік – 466500 грн., норма амортизаційних відрахувань за перший рік діяльності підприємства складає 23,83%, що становить 359759 грн. Коефіцієнт чистого прибутку після утримання податків складає у перший рік складає – 0,54%, у другий рік складає +11,09%, а вже в п'ятий 19,27%. Плановий термін окупності проекту менше п'яти років.

Висновки

1. Попит на дешеву енергію значно перевищує пропозицію в Україні.
2. Наслідками впровадження проекту ДСО є збільшення загальної ефективності і підвищення надійності, економія енергії та екологічна безпека, створення конкуренції в енергетичному секторі економіки, повернення порушених земель у господарське користування, поліпшення умов навколишнього середовища, підвищення рівня життя населення тощо.
3. Перевагами ДСО є відсутність на ринку вітчизняних та закордонних аналогів, уніфікована конструкція МТА, широке використання для генерації енергії наявних котлів, чиллерів та іншого обладнання.
4. Інтеграція МТА в систему центрального та автономного теплопостачання значно зменшує собівартість теплоти й холодоагенту та має високу економічну привабливість.
5. Проведені дослідження показали, що об'єм з акумульованої теплоти/холоду прямо пропорційний

об'єму ТАМ. При цьому кількість отриманого холоду вище.

6. Дослідженнями підтверджено, що використання розплавів солегідратів потребують додаткових заходів щодо захисту від корозії металів, а використання полімерних матеріалів обмежене температурою їх застосування. Розрахунки на міцність МТА показали, що для його будівництва доцільніше використання полімерних композитів.

7. Запропонований експрес-метод оцінки ефективності різноманітних проектів впровадження енергозберігаючих технологій дозволяє в короткий час оцінити їх привабливість.

8. Основні економічні показники були визначені за допомогою планової балансової методики. Розрахунковий термін окупності проекту складає менше п'яти років, а об'єм річного доходу від реалізації теплової енергії та холоду становить 1470000 грн. Таким чином проект є привабливим для інвестування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Демченко В.Г., Фалько В.Ю., Гронь С.С. Мобільні акумулятори для дискретних систем теплохолодопостачання. Частина 1. // Промислова теплотехніка. – 2018. – Т.40. № 2. – С. 20 – 25. <https://doi.org/10.31472/ihe.2.2018.03>
2. Naumann R. Кристаллогидраты солей как тепловые аккумуляторы / R Naumann, H.Emons // Sitzungsber. Acad. Wiss. DDR. Math-Natur-Wiss.-Techn. 1986. № 3. P. 31–44.
3. Cabeza L.F. Thermal Performance of Sodium Acetate Trihydrate Thichened with Different Materials as

Phase Change Energy Storage Material / L. Cabeza, G. Svensson, S. Hielier // *Applied Thermal Engineering*. 2003. № 23. P. 1697–1704.

4. *Levitsky E. A.* Chemical Heat accumulators – a new approach to accumulating low potential heat / E. A. Levitsky and others // *Solar Energy Materials. Solar Cells*. 1996. V. 44, № 3. P. 219–235.

5. *Долесов А.Г., Хрисониди В.А.* Теплоаккумулирующий материал на основе ацетата натрия // *Современные наукоемкие технологии*. – 2010. – № 4. – С. 99-100

6. *Demchenko V., Trubachev A.*, Express analysis of inspection of efficiency projects, The scientific method, Warszawa, Poland, ISSN 2708-5341, № 20/2018, v.2, p. 74-77

7. *Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні*, КТМ 204 Україна 244-94, Київ, 2001 р.

8. *Методика нормування витрат палива та теплової енергії на виробництво і транспортування теплової енергії для споживання системами опалення, вен-*

тиляції і гарячого водопостачання та господарсько-побутових потреб житлових будинків та громадських споруд в Україні. 2012 р.

9. *Методика оцінки ефективності реалізації регіональних природоохоронних та державних (загальнодержавних) цільових екологічних програм*, Міністерство екології та природних ресурсів України, наказ 15.10.2012 № 491

10. *Постанова Кабінету міністрів України від 4 жовтня 2017 р. N 758*

11. *Гмурман С.Е.* Теорія ймовірностей та математична статистика: Навчальний посібник для ВНЗ., 9-е изд., М: Вища школа, 2003. — 479 с.

12. *Демченко В.Г.* Корреляционный анализ системы центрального теплоснабжения населенного пункта, Промышленная теплотехника.– 2009.-Т.31, №7.- С.32-34

13. *Опір матеріалів: Підручник / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Є.С. Уманський- К.: Вища шк., 2004.-655 с.*

14. *Коваленко О.В.* Підприємництво та його організаційно-правові засади: Навчальний посібник. – Видво ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2013. – 400 с.

MOBILE ACCUMULATORS FOR DISCRETE SYSTEMS HEAT-COLD SUPPLIES. Part 2, (Part 1, №2, v.40, 2018, ISSN 0204-3602)

Demchenko V.G., Trubachev A.S., Falco V.J., Hron S.S.

Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Zhelyabova, 2a, Kiev, 03057, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/ihe.3.2018.08>

The purposes of this article are selection and substantiate the construct materials for a mobile battery of thermal energy. To evaluate the impact of chemical corrosion on the structural materials of the tank-battery, and researching the strength of the tank-battery during transportation and determination the feasibility of introducing and effectiveness of investments in environmental measures on the example of the implementation of the discrete heating / cooling systems. A comparison has been made of the technical characteristics chosen for our studies of heat storage material – Bischofite (Magnesium chloride hexahidrate) and sodium acetate trihydrate, which showed that both substances have certain advantages and limitations in their application. An experiment was carried out to determine the stability of the material for corrosion, after the 10 cycles of heating-cooling, the metal parts that were deposited in the bischofite solution remained virtually unchanged, no corrosion marks were observed. While specimens that were in the melt of sodium triacetate have obvious corrosion marks (except for a stainless steel sample). Particularly noticeable corrosion of samples that were on the verge of air and sodium triacetate. Thus, it has been confirmed that the use of hydrated salt melts requires additional measures to protect against corrosion of metals, and the use of polymer materials is limited by the temperature of their application. Calculations of the strength of the tank-accumulator at static and dynamic loads with the account of transportation are carried out. Taking into account the obtained results of Mises stress, the tensile stresses in the cut and stresses of bolted joints during rolling during transport under conditions of use of steel constructions are higher. In the course of determining the feasibility of implementing the project, it was tested and proposed to supplement the methods of calculating the investment of energy saving measures and projects by a fundamentally new method of strategic rapid analysis "3E". This method allows you to get a graphical representation of the result of the analysis and with a high degree of probability to determine the strategy of financing the implementation projects. The analysis is based on three main criteria, namely: energy, environmental and economic. These weighting criteria consist of a number of values that are necessary to obtain a likely return on the payback of the implementation project. The results of express analysis are clearly represented in the form of the area of permissible values on the triangular diagram, which we are invited to

call the "3E triangle" in the initial words of words: Energy, Ecology and Economics. An economic analysis has also been conducted, which showed that the estimated payback period of the project is less than five years, and the volume of annual revenue from the sale of thermal energy and cold is 1470000 UAH. Thus, the project is attractive for investment.

Keywords: energy storage, heat, cold, system, efficiency

References 14, fig. 8, table 3.

1. *Demchenko V.G., Falco V.Yu., Hron S.S.* (2018) Mobilni akumulyatory dlya dyskretnykh system teplokhodopostochannya. Chastyna 1 [Mobile batteries for discrete systems of heat-supply. Part 1]. Promyslova teplotekhnika [Industrial heat engineering] 40(2), 20 – 25 (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/ihe.2.2018.03>
2. *Naumann R.* (1986) Krystallohydraty soley kak teplove akkumulyatory [Salt crystalline hydrates as thermal accumulators]. Sitzungsber. Acad. Wiss. DDR. Math-Natur-Wiss.-Techn. 3, 31–44. (De)
3. *Cabeza L.F.* (2003) Thermal Performance of Sodium Acetate Trihydrate Thickened with Different Materials as Phase Change Energy Storage Material. Applied Thermal Engineering. 23, 1697–1704. (Eng.)
4. *Levitsky E. A.* (1996) Chemical Heat accumulators – a new approach to accumulating low potential heat. SolarEnergyMaterials. SolarCells. 44(3), 219–235. (Eng.)
5. *Dolesov A.H., Khrysonydy V.A.* (2010) Teploakkumulyruyushchyy material na osnove atsetata natryya [Heat accumulation material based on sodium acetate]. Sovremennyye naukoemkiye tekhnolohyy [Modern science-intensive technologies] 4. 99-100. (Rus)
6. *Demchenko V., Trubachev A.* (2018), Express analysis of inspection of efficiency projects. The scientific method, Warszawa, Poland 20(2). 74-77. (Ukr.)
7. *Normy ta vkazivky po normuvannyu vytrat palyva ta teplovoyi enerhiyi na opalennya zhytlovykh sporud, a takozh na hospodars'ko-pobutovi potreby v Ukraini* (2001) [Norms and guidelines for the standardization of fuel and heat energy consumption for the heating of residential buildings, as well as for household needs in Ukraine], KTM 204 1. (Ukr.)
8. *Metodyka normuvannya vytrat palyva ta teplovoyi enerhiyi na vyrobnytstvo i transportuvannya teplovoyi enerhiyi dlya spozhyvannya systemamy opalennya, ventilyatsiyi i haryachoho vodopostachannya ta hospodarsko-pobutovykh potreb zhytlovykh budynkiv ta hromads'kykh sporud v Ukraini.* (2012) [Method of valuation of fuel and heat energy costs for the production and transportation of heat energy for consumption by heating, ventilation and hot water supply systems and household and household needs in residential buildings and public buildings in Ukraine. 2012] (Ukr.)

9. *Metodyka otsinky efektyvnosti realizatsiyi rehionalnykh pryrodookhoronnykh ta derzhavnykh (zahalnoderzhavnykh) tsilovykh ekolohichnykh prohram*, Ministerstvo ekolohiyi ta pryrodnykh resursiv Ukrayiny (2012) [Methodology for assessing the effectiveness of the implementation of regional environmental and state (national) targeted environmental programs, Ministry of Environment and Natural Resources of Ukraine]. nakaz 491 [Order 491] (Ukr)
10. *Postanova Kabinetu ministriv Ukrayiny* (2017) [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine] 758 (Ukr)
11. *Hmurman S.E.* (2003) *Teoriya ymovirnostey ta matematychna statystyka* [Probability Theory and Mathematical Statistics] Navchal'nyy posibnyk dlya VNZ. Vyshcha shkola [A Manual for Higher Educational Establishments High School] 9, 479 (Rus.)
12. *Demchenko V.H.* (2009) *Korrelyatsyonnyy analiz systemy tsentralnoho teplosnabzhenyia naselenoho punkta* [Correlation analysis of the district heating system of the settlement], *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial heat engineering]. 31(7), 32-34. (Ukr.)
13. *Opir materialiv: Pidruchnyk* (2004) [Resistance of materials: Textbook] / H.S. Pysarenko, O.L. Kvitka, YE.S. Umanskyi- K.: Vyshcha shk.[High School], 655 (Ukr.)
14. *Kovalenko O.V.* (2013) *Pidpryyemnytstvo ta yoho orhanizatsiyno-pravovi zasady: Navchalnyy posibnyk*. [Entrepreneurship and its organizational and legal bases: A manual.]– Vyd-vo DZ «LNU imeni Tarasa Shevchenka» [View of the DZ "LNU named Taras Shevchenko"] 400 (Ukr.)

Отримано 22.08.2018
Received 22.08.2018