

УДК: 62-684, УДК 536.24

МОБІЛЬНІ АКУМУЛЯТОРИ ДЛЯ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОХОЛОДОПОСТАЧАННЯ. ЧАСТИНА 1

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

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

Технологія збереження теплової енергії є перспективним напрямком для сучасних систем теплохолодопостачання. У цій роботі приведені методи розрахунку тепломасопереносу, результати експериментальних досліджень і зроблені висновки про економічну доцільність застосування різних речовин для створення мобільних теплоаккумуляторів.

Технология сохранения тепловой энергии является перспективным направлением для современных систем теплоснабжения. В данной работе приведены методы расчёта тепломассопереноса, результаты экспериментальных исследований и сделаны выводы об экономической целесообразности применения различных веществ для создания мобильных теплоаккумуляторов.

Technology of conservation of thermal energy is perspective direction for the modern systems of thermal and cold supply. To hire the methods of calculation of transfer of warmth and mass, results of experimental researches, are driven and drawn conclusion about financial viability of application of different substances for creation of mobile thermal accumulators.

Бібл. 8, рис. 6, табл. 1.

Ключові слова: акумулятор, теплота, холод, система, ефективність.

c_{me}, c_p – питома теплоємність ТАМ в твердому та рідкому стані, кДж/кг·К;

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_f , в $J/(kg \cdot K)$;

Q_u і Q_l – теплота трансформації енергії від джерела теплоти до ТАМ;

E_3 – ексергія зарядки;

E_p – ексергія розрядки.

f – фракція розплаву;

$\Delta h_{фп}$ – питома теплота (або ентальпія) фазового переходу, кДж/кг;

Δq – прихована теплота плавлення, в Джоуль/кг;

t_i, t_f – початкова та кінцева температура нагрівання ТАМ, К;

T_f – температура фазового переходу ТАМ, К;

t_a – температура довкілля, К;

t_m – температура плавлення, в °С;

τ – час;

$U_s; A_s$ – коефіцієнти теплових втрат джерела і МТА;

m – маса ТАМ, кг;

$\eta_{ак}$ – ККД системи акумуляції;

Ξ_3 – ексергетичний ККД зарядки акумулятора;

Ξ_p – ексергетичний ККД розрядки акумулятора;

$\Xi_{ак}$ – ексергетичний ККД акумуляції;

ДСО – дискретна система опалення/охолодження;

МТА – мобільний акумулятор теплової енергії;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ТАМ – теплоакumuлюючий матеріал;

PCM – матеріал з фазовим перетворенням.

1. Вступ

Прогнозується, що в 2040 році споживання первинної енергії в світі виросте на 48%. Ініціатива ООН по стійкій енергетиці поставила глобальну мету – збільшити до 2020 року до 30% долю виробництва поновлюваної енергії у рамках глобальної системи енергопостачання. Швидко зростаюча роль поновлюваних джерел енергії надасть широкі можливості для розширення усіх галузей промисловості у всьому світі. Нерівномірність споживання, а у ряді випадків і надходження теплової енергії, наприклад, при використанні поновлюваних джерел енергії, призводить до необхідності застосування теплових акумуляторів. За оцінками експертів, в Європі

можна економити близько 1,4 млн. ГВт·год енергії за рік і скоротити на 400 млн. т викиди CO_2 за рахунок ширшого використання акумуляторів тепла і холоду. Акумуляція теплоти широко використовується для систем опалювання і гарячого водопостачання, зберігання холоду може бути використане на великих заводах. Холодні сховища використовуються не лише для отримання економічних переваг, таких як зниження витрат на електроенергію (в електричних компресійних чиллерах), але також і для зниження встановленої потужності охолодження і забезпечення більш безперервної роботи холодильних машин.

По інтервалу робочих температур теплові акумулятори можна розділити на 4 групи: 1) для акумуляції

холоду – 7...20 °С; 2) низькотемпературні – 20...200 °С; 3) середньотемпературні – 200...500 °С; 4) високотемпературні – більше 500 °С.

Найбільш широке застосування знайшли низькотемпературні теплові акумулятори, використання яких пов'язане з системами життєзабезпечення людини, екологічно чистими способами виробництва енергії та оптимізацією споживання енергії. Використання теплових акумуляторів для виробництва холоду пов'язано з необхідністю зберігання харчових продуктів і медичних тканин, у тому числі в умовах транспортування. Середньо- та високотемпературні теплові акумулятори поки що не знайшли широкого застосування в промисловості. Застосування середньотемпературних теплових акумуляторів пов'язано в основному з енергетичними установками і системами утилізації теплоти. Високотемпературні теплові акумулятори можуть знайти застосування в металургії та енергетиці.

Разом із стаціонарними акумуляторами нами запропоновано використання мобільних акумуляторів теплоти та запропоновано нову дискретну систему тепло-холодопостачання (ДСО) [1,2]. Проте, до теперішнього часу не вирішена низка важливих питань, пов'язаних з визначенням параметрів МТА. У зв'язку з цим дуже актуальними є дослідження вибору акумулюючих речовин, методики проведення розрахунків і економічного обґрунтування застосування нової системи теплопостачання ДСО.

Можливість акумуляції теплової енергії ґрунтується на використанні фізичного або хімічного процесу, пов'язаного з поглинанням і виділенням теплоти. До основних таких процесів відносяться накопичення/виділення внутрішньої енергії при нагріві/охолодженні твердих або рідких тіл, фазові переходи з поглинанням/виділенням прихованої теплоти, процес сорбції/десорбції або оборотна хімічна реакція, що протікає з виділенням/поглинанням теплоти. Відмічені процеси реалізуються в спеціальних пристроях – акумуляторах теплоти. Вони дозволяють знижувати енерговитрати завдяки використанню альтернативних джерел енергії або підвищенню ефективності роботи наявного енергетичного устаткування та систем теплопостачання [3]. Мета роботи полягає у встановленні геометричних характеристик теплового акумулятора та відбору ТАМ в залежності від його теплофізичних властивостей.

2. Математичне моделювання.

Кількість акумульованої теплоти безпосередньо залежить від теплофізичних властивостей теплоакumuлюючого матеріалу та може бути описана формулою:

$$Q = c_{mo} m (t_f - t_i) + \Delta h_{fn} m + c_p m (t_2 - T_{fn}) . \quad (1)$$

ДСО використовує теплоємність ТАМ і зміну температури теплоносія в процесі зарядки/розрядки. У загальному вигляді кількість збереженої теплоти, залежить від питомої теплоємності ТАМ, різниці температур і маси матеріалу.

У рівнянні (2) не враховані термічні опори поверхні теплообміну і тепловіддачі з боку теплоносія, що у більшості випадків цілком прийнятно [4].

$$Q_s = \int_{t_i}^{t_f} mc_p dt = mc_p (t_f - t_i) . \quad (2)$$

Дослідженню питань, пов'язаних з явищем стратифікації води в акумуляторних баках присвячені роботи багатьох зарубіжних учених. [5]. Виявлено, що характеристики установок, отримані при використанні моделей без урахування стратифікації, можуть істотно відрізнятися. Ці відмінності стають більш явними при переході від односекційного баку з повним перемішуванням води до двох- або трьохсекційного баку. У системах опалювання застосування стратифікації дозволяє підвищити долю використання енергії на 2...12 %, а для систем гарячого водопостачання, нагріву і кондиціонування повітря підвищення ефективності зберігання енергії в акумуляторі підвищується на 5...15% [6]. При використанні в якості ТАМ водних розчинів, за відсутності стратифікації в об'ємі МТА, кількість закумульованої енергії визначається по наступній формулі:

$$Q = mc_p \Delta h_{fn} . \quad (3)$$

Баланс енергії за відсутності стратифікації в ємності виглядає наступним чином:

$$mc_p dt_s / dt_r = Q_u - Q_L - Us As(t_1 - t_a) . \quad (4)$$

Після знаходження температури в ТАМ, можна оцінити інші залежні від температури параметри. Рівняння (5) може бути використане, щоб визначити температуру водного розчину ТАМ як функцію часу.

$$t_s = t_1 + \Delta t / mc_p [Q_u - Q_L - Us As(t_1 - t_a)] . \quad (5)$$

Рівняння (6) може бути використане, щоб визначити акумульовану енергію для речовин з фазовим переходом РСМ

$$Q_s = m c_{ps} (t_m - t_i) + f \Delta q + c_{pl} (T_f - t_m) l . \quad (6)$$

Проведені розрахунки показали, що вище приведені залежності дають хороший збіг з експериментальними даними і можуть бути використані для проектування МТА. Наприклад, для акумуляції 1,0 МВт·год теплоти, в діапазоні робочих температур 90/60 °С, необхідно 29,7 м³ бішофіту (MgCl₂ 6H₂O), 28,7 м³ води (H₂O) та 17,4 м³ тригідрату ацетату натрію (CH₃COONa) (рис. 1). Таким чином, в ємності об'ємом 10 м³ в залежності від питомої теплоємності може бути акумульовано, при використанні води та бішофіту близько 360 кВт·год теплоти/холоду, а при використанні тригідрату ацетату натрію до 620 кВт·год. Необхідно враховувати, що теплові втрати в процесі акумуляції теплоти можуть сягати 25%.

3. Теплоакumuлюючі матеріали для низькотемпературних МТА та методи досліджень.

Розробка конструкції та впровадження у виробництво новітніх МТА дасть змогу використовувати теплоту,

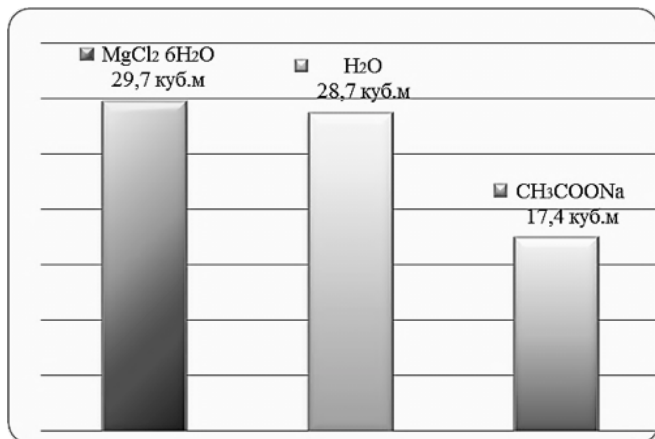


Рис. 1. Об'єм акумулюючої речовини необхідний для акумуляції 1,0 МВт·год теплоти/холоду.

яку одержано з віддалених від Споживача джерел теплоти, а саме: геотермальних джерел, котлів-утилізаторів працюючих на відходах виробництва, побутовому смітті та місцевих видах палива. Все це направлено на економію традиційних органічних палив, захист вітчизняного машинобудівного ринку, підвищення надійності і енергоефективності роботи міських систем тепlopостачання, зменшення шкідливих викидів в атмосферу повітря тощо. На основі отриманих експериментальних та розрахункових даних ми плануємо розробити технічні заходи щодо нового способу транспортування теплової енергії. Вибір ТАМ для МТА обмежений санітарними і протипожежними нормами, об'ємною вагою ТАМ, токсичністю і корозійною активністю, діапазоном використання температур, щільністю акумуляції (питомою теплоємністю) теплової енергії, вартістю матеріалів і умовами експлуатації.

За способом накопичення енергії можна виділити три типи теплоакумулюючих матеріалів: з однофазним ТАМ – накопичення відбувається за рахунок теплоємності матеріалу; з фазоперехідними ТАМ – використання прихованої теплоти фазового переходу "тверде тіло – рідина" або "рідина – пара"; з хімічно оборотними реакціями – накопичують тепло шляхом використання хімічних перетворень в результаті безповоротної реакції в нерівноважному стані.

Найбільше поширення в якості ТАМ в енергетиці отримала вода. Проте, розміри таких акумуляторів великі за рахунок низької щільності акумуляції теплоти. Більш висока щільність акумуляції енергії досягається при застосуванні ТАМ з фазовим переходом РСМ. Енергоємність акумуляції РСМ набагато вища за рахунок теплового ефекту при зміні агрегатного стану. Для систем тепlopостачання найбільш широке застосування отримали матеріали, які застосовуються при робочих температурах до 120 °С. Це кристалогідрати неорганічних з'єднань і деякі органічні сполуки (парафіни, жирні кислоти та ін.). Кристалогідрати широко поширені в природі і стали об'єктом численних досліджень. Вони мають відносно високі значення питомої теплоти плав-

лення й інші задовільні теплофізичні властивості, проте, їх головним недоліком є нестабільність фізико-хімічних властивостей в результаті багатократних циклів плавлення-кристалізації. Фазові переходи при охолодженні відбуваються з суттєвим переохолодженням ТАМ, також спостерігається розділення фаз і кристалогідрати, до того ж, мають невеликий ресурс роботи. Переваги і недоліки органічного і неорганічного РСМ приведені в роботі [7].

При дослідженні властивостей РСМ нами використовуються натрій оцтовокислий (ацетат натрію, E262) – неорганічна речовина (CH₃COONa) у вигляді білої гігроскопічної порошкоподібної маси, що складається з безбарвних моноклінних кристалів. Цей продукт має широкий спектр застосувань. Він – негорючий, малотоксичний, загрози для людського організму не становить. У воді розчиняється у співвідношенні 76 г/100 мл; в ефірах і спиртах розчинення незначне. Сильне нагрівання (понад 324°C) приводить до розкладання на вуглекислий натрій і ацетон. Ацетат натрію активно використовується як у безводному стані, так і у формі тригідрату. Молярна маса безводної форми – 82,03 г/моль, тригідрату – 136,08 г/моль, густина – 1,45 г/см³, температура плавлення – 58 °С. Вартість 25...50 грн./кг (1...2 \$/kg).

Інтерес також представляє природний матеріал бішофіт та незамерзаючі теплоносії, що серійно випускаються на його основі. Бішофіт (гексагідрат хлориду магнію) – мінерал який широко використовується в народному господарстві, будівництві і в медицині. Він легко розчиняється у воді, відповідає вимогам ГОСТ 28084-89 "Рідини охолоджувальні низькозамерзаючі", не підлягає обов'язковій сертифікації. Застосовується в якості теплоносія для автономних систем опалювання і проміжного холодоносія для систем охолодження. Дозволяє експлуатувати устаткування в діапазоні робочих температур від -25 °С до + 116 °С, а також захищає систему від повного замерзання при температурах доквілля до -35 °С. Бішофіт використовується в якості проміжного холодоносія сумісного з чиллерами з повітряним і з водяним охолодженням, для монтажу на відкритому повітрі, станціях охолодження газів, теплових насосах. В Україні виробляються незамерзаючі теплоносії на основі бішофіту. Вартість 1000 літрів – близько 25000...65000 грн. з ПДВ (1,0...2,5\$/л). Технічні показники досліджуваних речовин, наведені в таблиці 1.

На дослідному стенді (рис. 2) нами була проведена серія досліджень в діапазоні робочих температур 95/40°C, бішофіту (MgCl₂·6H₂O), води (H₂O) та тригідрату ацетату натрію (CH₃COONa). Модель акумулятора представляє собою теплоізольовану металеву трубу діаметром 200 мм, довжиною 1000 мм з розташованою в ній спіральноребреною трубою, по якій циркулює теплоносії. Міжтрубний простір заповнюється ТАМ, крізь отвори в зовнішній трубі встановлені термопари. Нагрів теплоносія здійснюється електричним котлом, циркуляція – насосом, а контуром охолодження є алюмінієвий радіатор. При проведенні експерименту лічильниками фіксується теплова та електрична

Табл. 1. Технічні показники акумулюючих речовин

Речовина	Хімічна формула	Діапазон робочих температур, °С	Густина, кг/м ³	Теплоємність, Дж/кг·°С	Теплопровідність, Вт/м·°С
Вода	H ₂ O	0 до 100	1000	4182	0.63
Бішофіт	MgCl ₂ ·6H ₂ O	-25 до 116	1250	3230	0.54
Тригідрат ацетату натрію	CH ₃ COONa	10 до 120	1450	4900	-

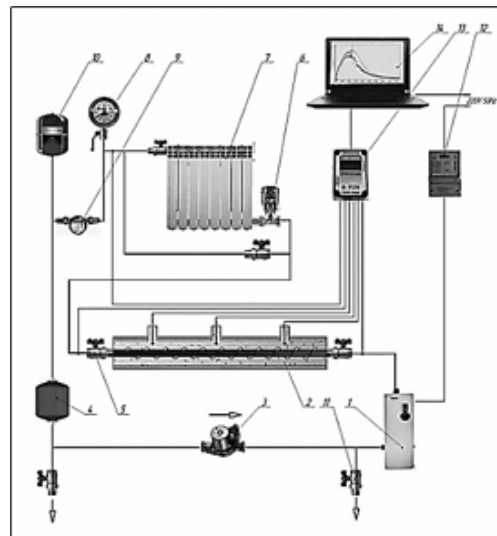


Рис. 2. Загальний вигляд та тепла схема експериментального стенду.

1 – електрокотел, 2 – модель теплоакумулятора, 3 – циркуляційний насос, 4 – стабілізаційна ділянка, 5 – запорна арматура, 6 – балансировочний кран, 7 – радіатор опалення, 8 – термоманометр, 9 – тепловий лічильник, 10 – демпфер, 11 – дренаж, 12 – електролічильник, 13 – концентратор вимірів, 14 – комп'ютер.

потужність та термопарамі вимірюється температура прямої та зворотної води. Регулювання температури здійснюється котловим блоком управління, швидкість теплоносія – тиристором насоса, проток – краном балансування.

Результати досліджень приведені на графіках рис. 3,4,5. Нагрів теплоносія (вода) здійснювався електричним котлом до температури 100°С, на протязі однієї години, після чого котел відключали та фіксували час та зміни температури теплоносія і акумулюючої речовини при охолодженні. Отримані дані аналізували та знаходили теплофізичні показники розрахунковим методом.

Як і очікувалося, найкращі акумулюючі властивості мають речовини з фазовим переходом, що повністю підтверджується нашими дослідженнями. Проте, враховуючи особливості втрати ними властивостей при циклах зарядки/розрядки і експлуатації устаткування на відкритому повітрі перевага віддана теплоносіям на основі бішофіту. Нижчі показники бішофіту по теплоємності і акумулюючій здатності компенсують-

ся діапазоном температур застосування і сумісністю з усіма системами опалювання і холодопостачання. На підставі проведених досліджень виконано коригування технологічної схеми системи ДСО, чому присвячений наступний розділ.

4. Результати та обговорення

Принципова технологічна схема ДСО приведена на рис. 6. Як можна бачити, вона включає в себе мобільну пересувну котельню з водогрійним котлом, або іншим джерелом теплової енергії, абсорбційний чиллер та мобільні акумулятори теплоти або холоду. Нагріта вода від джерела теплової енергії при використанні бішофіту поступає в ємність МТА або в абсорбційний чиллер. В останньому випадку проводиться охолодження ТАМ в акумуляторі. Прийняте конструктивне рішення дозволяє виконати транспортування теплової енергії наземним, морським, річковим та навіть повітряним транспортом.

Перевагами ДСО є уніфікована конструкція МТА, широке використання для генерації теплоти піролізних

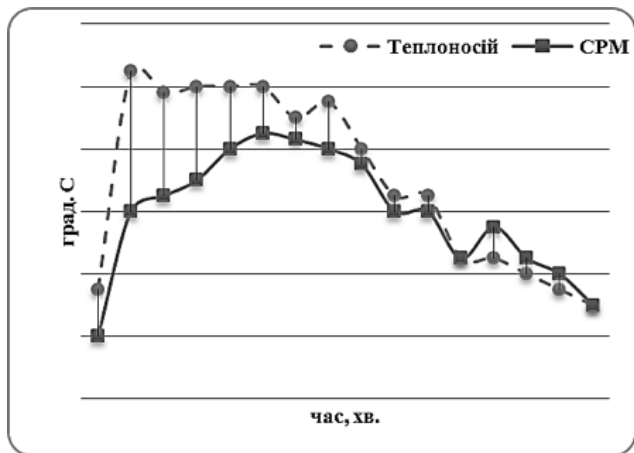


Рис. 3. Акумуляційна здатність тригідрату ацетату натрію.

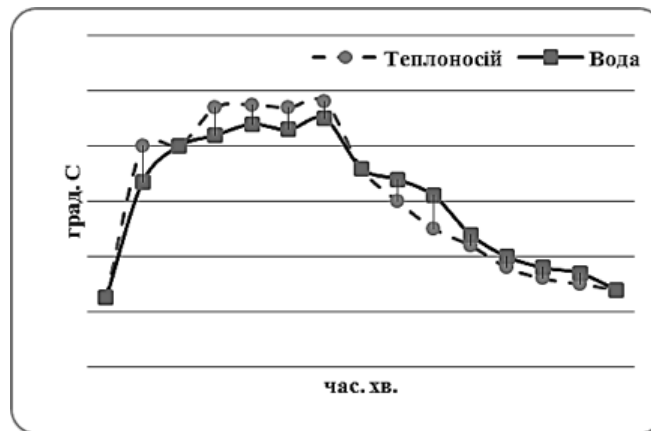


Рис. 4. Акумуляційна здатність води.

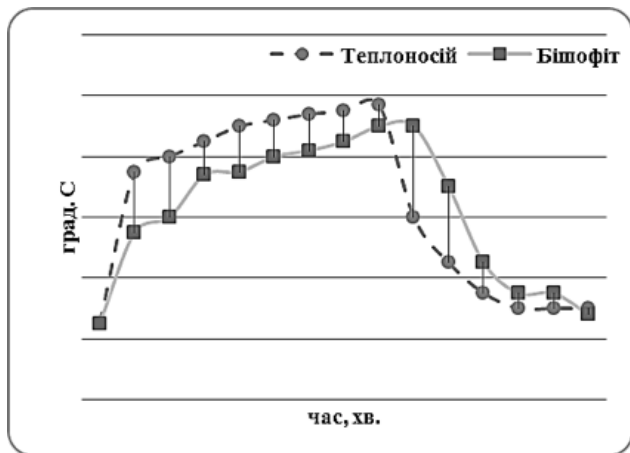


Рис. 5. Акумуляційна здатність бішофіту.

котлів, пальників високофорсованого спалювання, віддалено розташованих джерел геотермальної і сонячної енергії та трансформація теплоти в холодоагент в літній час за допомогою абсорбційних чиллерів. Запропонована технологічна схема дозволяє використовувати всі види газових та рідких палив, твердих відходів та вичерпаних і біологічних палив, альтернативних джерел теплоти тощо. Інтеграція МТА в систему центрального та автономного теплопостачання та промислового холодопостачання значно зменшує собівартість енергії та має високу економічну привабливість. Включення в ДСО адсорбційного чиллера обґрунтовано тим, що він виробляє охолоджену воду шляхом використання прихованої теплоти випаровування та має наступні переваги: тривалий термін служби (понад 20 років), мінімальне технічне обслуговування, використання скидної теплоти, низький рівень шуму та вібрації, безперервна робота та простота і надійність конструкції.

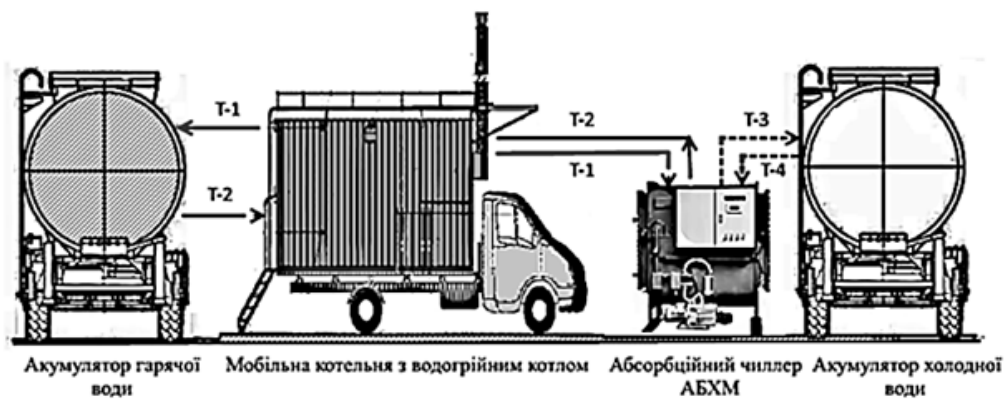


Рис. 6. Принципова схема ДСО.

T-1 – подаючий трубопровід гарячої води (90°C); *T-2* – зворотний трубопровід гарячої води (60°C); *T-3* – подача холодної води (7°C); *T-4* – зворотний трубопровід холодної води (20°C).

Основними споживачами промислового холодильного обладнання є холодильні склади і термінали, м'ясна промисловість, молочна промисловість, птахопереробна промисловість, кондитерська промисловість, хіміко-фармацевтична промисловість, спортивні споруди, чилери для систем кондиціонування повітря тощо.

Впровадження ДСО дозволить створити вертикальноінтегрований енергохолдинг на базі підприємств в кожному регіоні (місці, населеному пункті) для генерації дешевої теплової енергії та холодоагенту. Передбачається, що муніципальна громада надасть енергетичному холдингу можливість будівництва складських та генеруючих потужностей для утилізації місцевих видів палива на земельних ділянках, а також комунікації доставленої теплоти комунальним, побутовим та промисловим споживачам. Згідно літературних джерел, на цьому принципі в Німеччині проходить випробування пілотний проект з 13-тонним контейнером-теплоакумулятором [7]. Теплова потужність теплоакумулятора становить 500 кВт, температура 180°C, що дає змогу накопичити близько 3,0 МВт·год теплоти на одному циклі зарядження. Дистанція транспортування автомобілем від джерела теплоти (скидна теплота хімічного процесу) до споживача складає 10 км.

5. Ефективність акумуляції та експлуатаційні витрати

В системах акумуляції теплоти важливим чинником являється ККД системи акумуляції. Високого ККД досягається потужністю системи, повнотою використання енергії і зниженням витрат палива і експлуатаційних витрат. У загальному випадку ефективність системи акумуляції може бути визначена, як відношення ексергій зарядки (Ез) і розрядки (Ер) акумулятора.

$$\eta_{\text{ак}} = E_z / E_p \quad (7)$$

Проте, правильніше враховувати множення ексергетичного ККД зарядки Ξ_z , ексергетичного ККД розрядки Ξ_p і ексергетичного ККД акумуляції $\Xi_{\text{ак}}$

$$\eta_{\text{ак}} = \Xi_z - \Xi_p - \Xi_{\text{ак}} \quad (8)$$

Розрахунок експлуатаційних витрат включає результати роботи ДСО, а саме: тепло- та холодопродуктивність, вироблення теплоти та холоду на рік, витрати виробництва теплоти та холоду ДСО, витрати палива та електроенергії, витрати на виробничу воду та ТАМ, розрахунок амортизації обладнання, розрахункову оптову ціну обладнання, з урахуванням витрат на транспортування і монтаж обладнання, заробітну плату обслуговуючого персоналу тощо.

Висновки

а) Мобільні теплові акумулятори МТА і на їх базі дискретні системи опалювання/охолодження ДСО мають великі перспективи впровадження і є актуальними для компенсації теплових втрат при генерації і згладжуванні пікових навантажень в системах центрального і автономного теплопостачання, зберігання холоду

і залучення до системи енергопостачання нових джерел теплоти.

б) При виборі акумулюючих матеріалів необхідно враховувати їх теплофізичні властивості і умови експлуатації, щоб оптимізувати об'єм МТА, хімічну стабільність в процесі експлуатації, відсутність токсичності, протипожежні норми, корозійну активність і сумісність з матеріалами конструкції МТА.

в) Важливим чинником є економічна доцільність застосування МТА з урахуванням вартості вибраних матеріалів, чому буде присвячена друга частина нашої роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Demchenko V., Sagdiyev M. Discrete-puls heating system DPH, XXIV міжнародна конференція «Розвиток науки в XXI столітті», (15.04.2017г.), г. Харків, 2017, т.2, с. 4-9.
2. Демченко В.Г. Усунення загроз забезпечення теплом інфраструктурних об'єктів, Промышленная тепло-техника, 2017, т. 39, №2, с. 70-74.
3. Левенберг В.Д., Ткач М.Р., Гольстрем В.А. Аккумуляция теплоты. Киев: Техника, 1991. 112 с.
4. Kumar, A.; Shukla, S.K. A Review on Thermal Energy Storage Unit for Solar Thermal Power Plant Application. Energy Procedia 2015, 74, pp. 462-469.
5. De Gracia, A.; Oro, E.; Farid, M.M.; Cabeza, L.F. Thermal analysis of including phase change material in a domestic hot water cylinder. Appl. Therm. Eng. 2011, 31, pp. 3938-3945.
6. Saadatian, O.; Sopian, K.; Lim, C.H.; Asim, N.; Sulaiman, M.Y. Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development. Renew. Sustain. Energy Rev. 2012, 16, pp. 6340-6351.
7. Thermal Energy Storage | Technology Brief, IEA-ETSAP and IRENA© Technology Brief E17 – January 2013, pp. 10-13.

MOBILE ACCUMULATORS FOR DISCRETE SYSTEMS HEAT-COLD SUPPLIES. Part 1

Demchenko V.G., Falko V.J., Hron S.S.

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

A review of the research of heat accumulators for the system of heat and cold supply is presented. An analysis of theoretical and experimental data on determining the geometric characteristics of the battery for the required amount of heat and cold, depending on the area of premises. Depending on the thermophysical properties of the heat-accumulating material, it is possible to significantly reduce the volume of the heat accumulator by using thermal accumulators with a phase transition.

The TAM study showed that bischofite-based batteries require 29.7 m³ for the accumulation of 1,0 MWh of heat, while for trihydrate sodium acetate will be spent only 17.4 m³.

Implementation of discrete systems of heat and cold supply will create a vertically integrated energy holding company based in each region to generate cheap heat energy and coolant.

References 8, figure 6, table 1.

Keywords: battery, heat, cold, the system, the efficiency.

1. *Demchenko V., Sagdiyev M.* Discrete-puls heating system DPH, XXIV mezhdunarodnaya konferenciya «Razvitie nauki v XXI veke» [international conference "Development of science in the XXI century"], (15.04.2017.), Kharkiv, 2017, V.2, pp. 4-9. (Rus).

2. *Demchenko V.G.* Usunennya zagroz zabezpechennya teplom infrastruktturnih ob'yektiv [Eliminating the threats of providing heat to infrastructure facilities, Industrial heat engineering], *Promyshlennaya teplotehnika* [Industrial heat engineering] 2017, V. 39, №2, pp. 70-74(Ukr).

3. *Levenberg V.D., Tkach M.R., Holstrom V.A.* Akkumulirovanie teploty [Accumulation of heat]. Kyiv: Tehnika [Kyiv: Technology], 1991. 112 p. (Rus).

4. *Kumar, A.; Shukla, S.K.* A Review on Thermal Energy Storage Unit for Solar Thermal Power Plant Application. *Energy Procedia* 2015, 74, pp. 462-469.

5. *De Gracia, A.; Oro, E.; Farid, M.M.; Cabeza, L.F.* Thermal analysis of including phase change material in a domestic hot water cylinder. *Appl. Therm. Eng.* 2011, 31, pp. 3938–3945.

6. *Saadatian, O.; Sopian, K.; Lim, C.H.; Asim, N.; Sulaiman, M.Y.* Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2012, 16, pp. 6340–6351.

7. *Thermal Energy Storage* | Technology Brief, IEA-ETSAP and IRENA© Technology Brief E17 – January 2013, pp. 10–13.

Получено 17.05.2018
Received 17.05.2018