

Д.Г. Дерев'яно¹, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0002-4877-5601С.В. Зайченко¹, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-8446-5408Н.І. Жукова¹, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0002-4215-6981В.А. Бобер¹, студент, ORCID 0009-0003-0366-892XВ.О. Шаленко², канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0002-6984-0302¹Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

²Київський національний університет будівництва і архітектури

РОЗРОБКА І ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СЕЗОННИХ АКУМУЛЯТОРІВ ХОЛОДУ З ФАЗОВИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ

Метою даного дослідження є розробка і обґрунтування параметрів нових конструкцій сезонних акумуляторів з фазовим перетворенням акумулюючого матеріалу які дозволяють позбутись деформацій і руйнування контактуючих елементів конструкції акумуляторів при зміні агрегатного стану. В основі конструкції сезонного акумулятора з фазовим перетворенням акумулюючого матеріалу є оболонка, що дозволяє компенсувати розширення матеріалу при зміні агрегатного стану. Встановленні залежності енергетичних параметрів від геометричних параметрів і теплофізичних параметрів складових елементів сезонного акумулятора з фазовим перетворенням, що дозволяють ємність акумулятора і потужності на різних етапах розряду і заряду. Дослідження процесів фазових переходів дозволило встановити характерні етапи заряду і розряду акумулятора: нагрівання матеріалу до температури фазового перетворення; передача тепла для фазового перетворення 0°C; нагрівання матеріалу після фазового перетворення; охолодження матеріалу до температури фазового перетворення; відведення тепла для фазового перетворення 0°C (в деяких випадках можливо переохолодження до 3-4°C); охолодження матеріалу після фазового перетворення. Найбільші значення потужності акумулятора виникають на етапі охолодження матеріалу до температури фазового перетворення та нагрівання матеріалу після фазового перетворення (25,62КВт). Найнижча потужність акумулятора (13,56КВт) спостерігається нагрівання матеріалу до температури фазового перетворення та охолодження матеріалу після фазового перетворення, що пояснюється низьким теплообміном акумулюючої речовини у твердому стані. На основі проведених досліджень встановлено рекомендації, що до перспектив розвитку і оптимізації конструкції сезонних акумуляторів з фазовим перетворенням акумулюючого матеріалу.

Ключові слова: акумулятор, фазовий перехід, кристалізація, оболонка, охолоджуючий контур

Вступ

Світова практика використання енергоресурсів зосереджена на збільшенні використання нетрадиційних джерел енергії та розвитку енергозберігаючих технологій. Раціональне використання енергоресурсів можливе за рахунок активної політики енергозбереження та створення ефективних систем та енергетичного обладнання[1]. З огляду на підвищені вимоги до мікроклімату в приміщенні, значно зросло енергоспоживання систем опалення і кондиціонування, тому виникає необхідність використання екологічно чистих та енергозберігаючих технологій. Основною світовою тенденцією при створенні систем опалення і кондиціонування є використання теплових насосів які перекачують енергію з зовнішнього середовища і навпаки, часто втрачаючи її. Достатньо високий ефект систем опалення і кондиціонування, що пояснюється збереженням тепла, досягається при створенні теплових акумуляторів, зокрема підземних. Слід відзначити, що частина енергії у випадку геоакумуляторів розсіюється у гірський масив, що суттєво знижує показники енергоефективності. Альтернативою даної технології є акумуляція холоду в системах кондиціонування будівель з використанням відновлюваного сезонного акумулятора холоду з фазовим перетворенням, що є одним із шляхів зменшення споживання енергії та економічно вигідним інженерним рішенням[2-5].

Особливістю рішення що пропонується авторами статті полягає у подвійному використанні теплової енергії що накопичується в акумуляторі з фазовим переходом для систем опалення і кондиціонування в залежності від необхідності, яка викликана сезонним перепадом температур навколишнього середовища.

Огляд джерел

Процесу теплопостачання, на основі сезонних підземних акумуляторів присвячено ряд робіт, що пропонують ряд рішень що до використання приповерхневих ємнісних акумуляторів теплоти[6-8]. В більшості випадків у якості акумулюючого матеріалу пропонується використовувати воду, парафін, жирні кислоти і глауберову сіль. Лідером по теплоємності фазового переходу є глауберова сіль. Основним недоліком гідратів солей є їхнє неконгруентне плавлення. Зазвичай при плавленні утворюються насичена

рідка фаза і тверда у вигляді нижчого гідрату тієї ж солі, яка при цьому осаджується. Крім того, розплавам гідратів солей властиво переохолодження, з подальшою вибуховою кристалізацією[9]. Також до важливих властивостей солей є висока хімічна активність, що суттєво прискорює процес корозії елементів системи.

Парафін і жирні кислоти мають меншу енергію фазового переходу і низьку теплопровідність, що суттєво знижує питомі показники потужності акумуляторі за умов однакової площі теплообмінників. Також спільним недоліком парафінів, жирних кислот і глауберової солі є висока вартість, порівняно з вартістю води.

Загальною проблемою використання матеріалів з фазовим переходом є зміна агрегатного стану, що в першу чергу знижує, або призупиняють процеси масотеплопереносу, а по друге, змінюють питому щільність у твердому стані. Так вода збільшує свій об'єм на 9-10%, що при контакті призводить до еквівалентних деформацій і руйнування контактуючих елементів конструкції акумуляторів, радіатора та стінок корпусу[10, 11].

Враховуючи вище сказане головною причиною малого використання сезонних акумуляторів з фазовим перетворенням є відсутність конструкції яка могла компенсувати зміну об'єму акумуляуючого матеріалу при зміні агрегатного стану.

Мета і завдання дослідження

Метою даного дослідження є розробка і обґрунтування параметрів нових конструкцій сезонних акумуляторів з фазовим перетворенням акумуляуючого матеріалу які дозволяють позбутись деформацій і руйнування контактуючих елементів конструкції акумуляторів при зміні агрегатного стану.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішувались наступні задачі:

- Розробка нової конструкції сезонного акумулятора з фазовим перетворенням акумуляуючого матеріалу які дозволяють позбутись деформацій і руйнування контактуючих елементів конструкції акумуляторів при зміні агрегатного стану;

- Встановлення залежностей енергетичних параметрів від геометричних параметрів і теплофізичних параметрів складових елементів сезонного акумулятора з фазовим перетворенням;

- Встановити рекомендації, що до перспектив розвитку і оптимізації конструкції сезонних акумуляторів з фазовим перетворенням акумуляуючого матеріалу.

Матеріал і результати дослідження

Основним параметром, що дозволяє визначити основні енергетичні процеси від геометричних параметрів і теплофізичних параметрів складових елементів сезонного акумулятора з фазовим перетворенням є потужність акумулятора. Процес зарядження і розрядження акумулятора з фазовим переходом залежить від напрямку і стадії фазового переходу. Назва процесів заряду і розряду акумулятора холоду обернена назвам акумуляторів тепла.

Для вирішення задачі створення нової конструкції сезонного акумулятора холоду запропоновано капсульну конструкцію(рис. 1). Акумулятор складається з резервуару 1 заповненого антифризом 2 на основі етиленгліколю та пропіленгліколю з можливістю зміни рівня. Подача і відведення тепла від системи опалення і кондиціонування відбувається через контур 3. В якості рідини, що акумуляє використано воду яка знаходиться у гумовій капсулі 4. Для стабілізації положення капсула приєднано за допомогою тяги 5 до дна резервуару 6. Резервуар має по всій площі шар теплоізоляції 7.

Процес розряду акумулятора холоду супроводжується підведенням тепла через контур 3 з нагріванням антифризу 2 і капсули 4 зі льодом. Процес нагрівання капсули проходить у декілька етапів(рис. 2, а):

- нагрівання матеріалу до температури фазового перетворення;
- передача тепла для фазового перетворення 0°C;
- нагрівання матеріалу після фазового перетворення.

Другий етап, що характеризується процесом зміни агрегатного стану проходить поступово з низу у гору розділяючи капсулу умовно на частини з льоду, у верхній частині і води у рідкому стані у нижній частині. Таким чином процеси теплообміну по висоті H капсули проходять з різною швидкістю завдяки різним коефіцієнтам теплопередачі від рідини і льоду до поверхні капсули.

Процес заряду акумулятора холоду супроводжується, навпаки, відведенням тепла через контур 3 з охолодженням антифризу 2 і капсули 4 з водою. Процес охолодження капсули проходить у декілька етапів(рис. 2, б):

- охолодження матеріалу до температури фазового перетворення;
- відведення тепла для фазового перетворення 0°C(в деяких випадках можливо переохолодження до 3-4°C);
- охолодження матеріалу після фазового перетворення.

Як для випадку розряду, так і для випадку заряду процеси охолодження проходять з різною швидкістю в об'ємі капсули. Кристалізація відбувається одночасно по всій периферії поступово

утворюючи шар висотою $\Delta = (D-d)/2$ розділяючи капсулу на частини з льоду, який утворює капсулу з водою діаметром d і висотою h_c .

Для визначення потужності приймемо ряд спрощень розрахункової моделі. Капсулу розглянемо як циліндр у якому температура речовини, що акумулює вирівняна по об'єму. Дане припущення можливо зробити з умови малої швидкості протікання процесів нагріву та охолодження. Також зробимо аналогічне припущення відносно температуру антифризу який оточує капсулу. Маса оболонки капсули, яку планується виготовити з полімеру, що дозволяє розширення води при кристалізації на декілька порядків меншою за масу акумулюючої речовини, що дозволяє знехтувати її впливом.

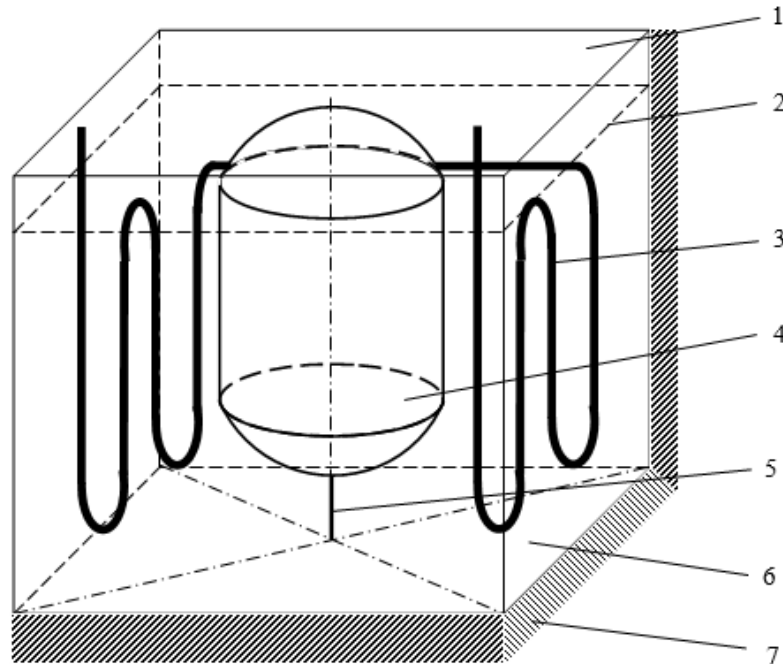


Рис.1 Конструкція сезонного акумулятора холоду

Сміність акумулятора відповідно зроблених припущень:

$$Q_c = Q_l + Q_s + Q_f = m(c_l(T_1^c - T_0) + c_s + c_f(T_0 - T_2^c)), \quad (1)$$

Де Q_l - теплота нагріву-охолодження в рідкому стані;

Q_s - теплота нагріву-охолодження фазового переходу;

Q_f - теплота нагріву-охолодження в твердому стані.

m - маса речовини, що акумулює;

c_l, c_f - теплоємність води у рідкому і твердому стані;

c_s - теплоємність фазового переходу;

T_1^c і T_2^c - мінімальна та максимальна температура акумулюючої речовини;

T_0 - температура кристалізації.

Так для акумулятора з геометричними параметрами капсули $D = 4\text{ м}; H = 4\text{ м}$ кількість енергії, що можливо використати для компенсації навантажень складає $4,63 \cdot 10^{10} \text{ Дж} = 1,11 \cdot 10^{10} \text{ кал}$

Визначимо потужність акумулятора на різних етапах розряду і заряду. Потужність випромінювання або поглинання енергії прямопропорційна повному коефіцієнту теплопередачі системи антифриз-оболочка-акумулююча речовина K , площі поверхні оболонки S і перепаду температури між антифризом та акумулюючою речовиною ΔT :

$$N_c = KS\Delta T. \quad (2)$$

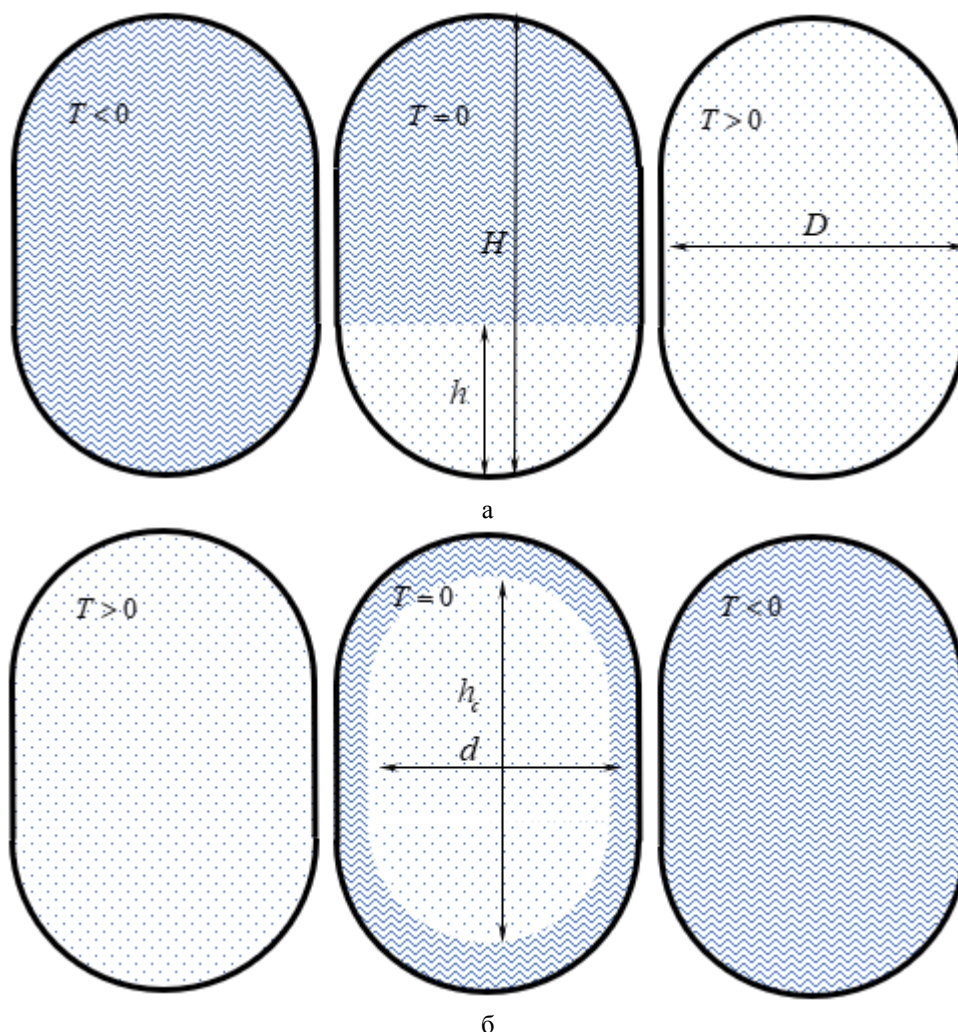


Рис. 2 Схема зміни агрегатного стану матеріалу акумулятора холоду:
 а - розряд акумулятора; б - заряд акумулятора

Потужність процесу розряду акумулятора холоду на різних етапах:

- нагрівання матеріалу до температури фазового перетворення:

$$N_c = K_{11} S \Delta T_1; \quad (3)$$

- передача тепла для фазового перетворення 0°C :

$$N_c = ((D(H-h) + \frac{D^2}{4}) K_{11} + (Dh + \frac{D^2}{4}) K_{12}) \pi \Delta T_2; \quad (4)$$

- нагрівання матеріалу після фазового перетворення:

$$N_c = K_{12} S \Delta T_1. \quad (5)$$

де K_{11} - при твердому стані акумуляуючої речовини;

K_{12} - коефіцієнт теплопередачі системи при рідкому стані акумуляуючої речовини.

Процес заряду акумулятора холоду на різних етапах:

- охолодження матеріалу до температури фазового перетворення:

$$N_c = K_{12} S \Delta T_1; \quad (6)$$

- передача тепла для фазового перетворення 0°C :

$$N_c = K_{13} S \Delta T_1; \quad (7)$$

- охолодження матеріалу після фазового перетворення:

$$N_c = K_{11} S \Delta T_1. \quad (8)$$

де K_{13} - коефіцієнт теплопередачі системи при частковому переході акумуляуючої речовини з рідкого у твердий стан.

Особливістю етапу переходу акумулюючої речовини з рідкого у твердий стан є утворення шару льоду по поверхні оболонки в середині капсули, що суттєво вплине на процес теплопередачі.

Повний коефіцієнт теплопередачі системи для рідкого стану компонентів системи(антифриз, акумулююче середовище) [11]:

$$K_{12} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (9)$$

де α_1 і α_2 - коефіцієнти конвективного теплообміну між акумулюючою речовиною і стінкою оболонки та стінкою оболонки і антифризом (400 і $300 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$);

λ – теплопровідність гумової оболонки $0,414 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$;

δ – товщина стінки оболонки($0,01-0,02\text{м}$).

Перетворюючи рівняння (9) повний коефіцієнт теплопередачі системи $18-32 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$.

Повний коефіцієнт теплопередачі системи для випадку твердого стану акумулюючого середовища:

$$K_{11} = \frac{D/2}{\lambda_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (10)$$

де λ_i - коефіцієнт теплопровідності акумулюючої речовини в твердому стані.

Перетворюючи рівняння (10) повний коефіцієнт теплопередачі системи $2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$.

Повний коефіцієнт теплопередачі системи для випадку фазового переходу акумулюючого середовища:

$$K_{13} = \frac{(D-d)/2}{\lambda_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (11)$$

На даному етапі заряду акумулятора коефіцієнт теплопередачі може змінюватись у широкому діапазоні від 2 до $32 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$.

Для візуалізації різниці потенціалу, що реалізується запропонованої конструкції акумулятора побудуємо діаграми значень потужності з певними геометричними параметрами(рис. 3).

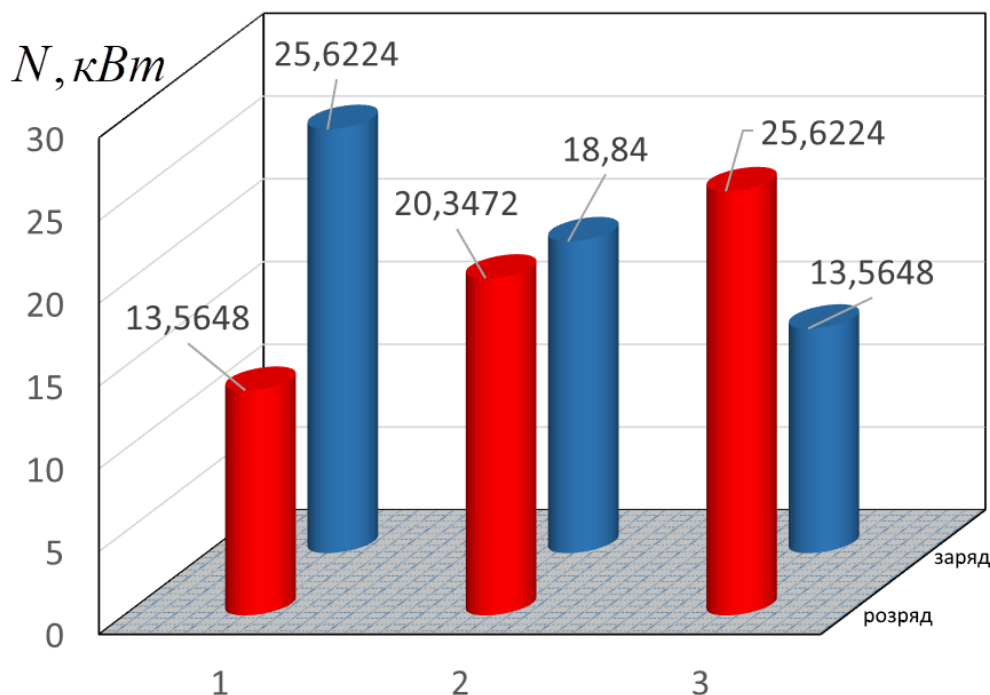


Рис. 3 Діаграми значень потужності акумулятора холоду($D = 4\text{м}$; $H = 4\text{м}$)

Аналіз отриманих значень свідчить про найбільші значення потужності акумулятора виникають на етапі охолодження матеріалу до температури фазового перетворення та нагрівання матеріалу після фазового перетворення ($25,62\text{кВт}$). Найнижча потужність акумулятора ($13,56\text{кВт}$) спостерігається нагрівання матеріалу до температури фазового перетворення та охолодження матеріалу після фазового

перетворення, що пояснюються низьким теплообміном акумулюючої речовини у твердому стані. Заходами, що до збільшення потужності акумулятора можуть бути використання ополонок з розвинутою площею контакту за рахунок гофрування поверхні або зміни форми, наприклад торообразної форми.

Висновки

- Розроблено нову конструкцію сезонного акумулятора з фазовим перетворенням акумулюючого матеріалу, що дозволяє компенсувати деформації і руйнування контактуючих елементів конструкції акумуляторів при зміні агрегатного стану. В основі конструкції сезонного акумулятора з фазовим перетворенням акумулюючого матеріалу є оболонка, що дозволяє компенсувати розширення матеріалу при зміні агрегатного стану;

- Встановленні залежності енергетичних параметрів від геометричних параметрів і теплофізичних параметрів складових елементів сезонного акумулятора з фазовим перетворенням, що дозволяють ємність акумулятора і потужності на різних етапах розряду і заряду. Дослідження процесів фазових переходів дозволило встановити характерні етапи заряду і розряду акумулятора: нагрівання матеріалу до температури фазового перетворення; передача тепла для фазового перетворення 0°C; нагрівання матеріалу після фазового перетворення; охолодження матеріалу до температури фазового перетворення; відведення тепла для фазового перетворення 0°C (в деяких випадках можливо переохолодження до 3-4°C; охолодження матеріалу після фазового перетворення;

- Найбільші значення потужності акумулятора виникають на етапі охолодження матеріалу до температури фазового перетворення та нагрівання матеріалу після фазового перетворення (25,62КВт). Найнижча потужність акумулятора (13,56КВт) спостерігається нагрівання матеріалу до температури фазового перетворення та охолодження матеріалу після фазового перетворення, що пояснюються низьким теплообміном акумулюючої речовини у твердому стані.

- На основі проведених досліджень встановлено рекомендації, що до перспектив розвитку і оптимізації конструкції сезонних акумуляторів з фазовим перетворенням акумулюючого матеріалу.

Список використаної літератури

1. Zaichenko S. et al. Substantiation of diagnostic parameters of autonomous sources of electric energy on the basis of the internal combustion engine at development of system of technical diagnostics //POWER ENGINEERING: economics, technique, ecology. – 2020. – №. 3. – С. 29-34.
2. Klychev S. I. et al. Thermal Losses of a Three-Layer Underground Cylindrical Heat Accumulator of Solar Installations //Applied Solar Energy. – 2021. – Т. 57. – №. 6. – С. 523-527.
3. Kortiš J., Gottwald M. Numerical Simulation of Thermal Energy Storage in Underground Soil Heat Accumulator //Civil and Environmental Engineering. – 2014. – Т. 10. – №. 2. – С. 93-97.
4. Basok B. et al. Three-dimensional numerical model of hydrodynamics and heat transfer in the system" soil-heat exchanger-heat carrier //ACTUAL PROBLEMS OF RENEWABLE ENERGY, CONSTRUCTION AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING. – 2021. – С. 45.
5. Горобець В. Г., Антипов Є. О. Застосування сонячних енергетичних установок та акумуляторів теплоти в системах тепло забезпечення теплиць //Техніка та енергетика/Machinery & Energetics. – 2014. – №. 194.
6. Забарний Г. М. і др. Сезоне акумулювання теплоти в підземних акумуляторах:-К //ТОВ «БІОЛ-ПРИНТ. – 2009./ Антипов Є. О. Енергозберігаюча система теплопостачання на базі сезонного акумулятора теплоти //Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2015. – №. 5, Т. 1. – С. 177-184.
7. Антипов Е. А. Исследование процессов тепло-и массопереноса в низкотемпературных аккумуляторах теплоты при фазовых превращениях аккумулирующего материала //Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки. – 2015. – №. 15, т. 2. – С. 131-135.
8. Антипов Є. О. Чисельне дослідження процесів теплопереносу в низькотемпературних аккумуляторах теплоти при фазових перетвореннях акумулюючого матеріалу //Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2015. – №. 224. – С. 208-213.
9. Kozak K., Zhelykh V. Оцінка та аналіз характеристик теплових акумуляторів для повітряних геліосистем //Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2016. – №. 19. – С. 65-70.
10. Rabczak S. Free-cooling in seasonal cold accumulator //International Journal of New Technology and Research. - 2015. - Т. 1. - №. 8. - С. 49-52.
11. Mehling, H. "Heat and cold storage with PCM" / H. Mehling, L. F. Cabeza. - Springer 2008.
12. Побігійло В.А., Зайченко С.В., Жукова Н.О., Шаленко В.О. Дослідження теплового режиму приводу мотор-барабану стрічкового конвеєра. // Енергетика: економіка, технології, екологія. – НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022. – № 2 (68). – С. 114-118.

D. Derevyanko¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-4877-5601

S. Zaichenko¹, Dr. Sc. (Eng.), Prof., ORCID 0000-0002-8446-5408

N. Jukova¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-4215-6981

V. Bober¹, student, ORCID 0009-0003-0366-892X

V. Shalenko², Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0002-6984-0302

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

²Kyiv National University of Construction and Architecture

DEVELOPMENT AND DETERMINATION OF PARAMETERS OF SEASONAL COLD ACCUMULATORS WITH PHASE TRANSFORMATION

The purpose of this study is to develop and justify the parameters of new structures of seasonal batteries with phase transformation of the storage material, which allow to get rid of deformations and destruction of the contacting elements of the battery structure when the aggregate state changes. The design of a seasonal battery with a phase transformation of the storage material is based on a shell that allows to compensate for the expansion of the material when the aggregate state changes. Determination of the dependence of the energy parameters on the geometric parameters and thermophysical parameters of the constituent elements of the seasonal battery with phase transformation, which allow the battery capacity and power at different stages of discharge and charge. The study of phase transition processes made it possible to establish the characteristic stages of charging and discharging the battery: heating the material to the phase transformation temperature; heat transfer for phase transformation 0°C; heating the material after the phase transformation; cooling the material to the phase transformation temperature; heat removal for phase transformation 0°C (in some cases hypothermia up to 3-4°C is possible; cooling of the material after the phase transformation. The largest battery power values occur at the stage of cooling the material to the temperature of the phase transformation and heating the material after the phase transformation (25.62 kW). The lowest power of the battery (13.56 kW) is observed heating of the material to the temperature of the phase transformation and cooling of the material after the phase transformation, which is explained by the low heat exchange of the accumulating substance in the solid state. Based on the conducted research, recommendations were made that the prospects for the development and optimization of the design of seasonal batteries with the phase transformation of the accumulating material.

Key words: battery, phase transition, crystallization, shell, cooling circuit

References

- 1.Zaichenko S. et al. Substantiation of diagnostic parameters of autonomous sources of electric energy on the basis of the internal combustion engine at development of system of technical diagnostics //POWER ENGINEERING: economics, technique, ecology. – 2020. – №. 3. – S. 29-34.
- 2.Klychev S. I. et al. Thermal Losses of a Three-Layer Underground Cylindrical Heat Accumulator of Solar Installations //Applied Solar Energy. – 2021. – T. 57. – №. 6. – S. 523-527.
- 3.Kortiš J., Gottwald M. Numerical Simulation of Thermal Energy Storage in Underground Soil Heat Accumulator //Civil and Environmental Engineering. – 2014. – T. 10. – №. 2. – S. 93-97.
- 4.Basok B. et al. Three-dimensional numerical model of hydrodynamics and heat transfer in the system" soil-heat exchanger-heat carrier //ACTUAL PROBLEMS OF RENEWABLE ENERGY, CONSTRUCTION AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING. – 2021. – S. 45.
- 5.Horobets V. H., Antypov Ye. O. Zastosuvannia soniachnykh enerhetychnykh ustanovok ta akumulatoriv teploty v systemakh teplo zabezpechennia teploty //Tekhnika ta enerhetyka/Machinery & Energetics. – 2014. – №. 194.
- 6.Zabarnyi H. M. y dr. Sezone akumulivannia teploty v pidzemnykh akumulatorakh:-K //TOV «VIOL-PRYNT. – 2009./ Antypov Ye. O. Enerhozberihaiucha systema teplopostachannia na bazi sezonnoho akumulatora teploty //Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu. – 2015. – №. 5, T. 1. – S. 177-184.
7. Antypov E. A. Yssledovanye protsessov teplo-y massoperenosa v nyzkotemperaturnykh akumulatorakh teploty pry fazovykh prevrashcheniyakh akumuluyuiushcheho materyala //Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2015. – №. 15, t. 2. – S. 131-135.
- 8.Antypov Ye. O. Chyselne doslidzhennia protsesiv teploperenosa v nyzkotemperaturnykh akumulatorakh teploty pry fazovykh peretvorennyakh akumuluyuiuchoho materialu //Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu biosursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii: Tekhnika ta enerhetyka APK. – 2015. – №. 224. – S. 208-213.
- 9.Kozak K., Zhelykh V. Otsinka ta analiz kharakterystyk teplovykh akumulatoriv dlia povitrianykh heliosystem //Ventylatsiia, osvittleniia ta teplohozopostachannia. – 2016. – №. 19. – S. 65-70.
- 10.Rabczak S. Free-cooling in seasonal cold accumulator //International Journal of New Technology and Research. - 2015. - T. 1. - №. 8. - S. 49-52.
- 11.Mehling, H. "Heat and cold storage with PCM" / H. Mehling, L. F. Cabeza. - Springer 2008.
- 12.Pobihailo V.A., Zaichenko S.V., Zhukova N.O., Shalenko V.O. Doslidzhennia teplovoho rezhymu pryvodu motor-barabanu strichkovoho konveiera. // Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia. – NTUU «KPI im. Ihoria Sikorskoho», 2022. – № 2 (68). – S. 114-118.

Надійшла: 12.04.2023

Received: 12.04.2023