

Определена поляризованность многослойного шара. Для построения решений задачи электростатики использованы трансляционные матрицы. Приведены примеры тестовых расчетов.

Поляризованность, многослойные шары, трансляционные матрицы.

A polarizability of multi-layer spheres with dielectric isotropic and orthotropic layers is determined. To construct solutions of electrostatics problems the transmission matrixes. Examples of test calculations are presented.

Polarizability, multilayer balls, translational matrix.

УДК 536.24

РОЗРАХУНОК ТА РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛОВОГО СОЛЬОВОГО АКУМУЛЯТОРА

В.Г. Горобець, доктор технічних наук

Є.О. Антипов, аспірант*

Розроблено методику розрахунку теплового сольового акумулятора з фазовим переходом акумулюючого матеріалу. Проведено розрахунок акумулятора теплоти для обігріву будівельних приміщень. Визначено розміри акумулятора та масу акумулюючого матеріалу для добового теплоспоживання. Розраховано теплові втрати в навколишнє середовище та часові проміжки для «зарядки» і «розрядки» теплового акумулятора.

Тепловий сольовий акумулятор, акумулюючий матеріал, теплові втрати, фазовий перехід.

Акумуляція теплоти доцільна і може широко застосовуватися в тих випадках, коли є надлишок теплової енергії або інших видів енергії, які можна перетворити в теплову в певні проміжки часу. Надлишкову теплову енергію після її акумуляції можна використовувати в інші періоди часу, для яких потреба в ній зростає. Акумуляція теплоти в теплових акумуляторах (ТА) може здійснюватися або за рахунок лише теплоємності теплоносія, або додаткового використання фазового переходу плавлення з твердого стану в рідкий теплоакумулюючого матеріалу (ТАМу) [1–7].

Як теплоакумулюючі матеріали вибрано солі та їх евтектики із загальною енергоємністю 200–1900 МДж/м³. Вказані матеріали мають низьку вартість і доступні у великих кількостях.

Перспективним напрямом теплоакумулювання є акумулювання низькопотенційної теплоти навколишнього середовища, використовуючи, наприклад, теплові насоси та (або) сонячні колектори [5–6]. Іншим джерелом теплової енергії може бути електрична енергія в нічний час при вико-

*Науковий керівник – доктор технічних наук В.Г. Горобець

© В.Г. Горобець, Є.О. Антипов, 2013

ристанні багатотарифних лічильників електроенергії. При цьому вартість теплової енергії суттєво знижується. Може бути розроблений акумулятор теплоти для добового акумулювання теплоти або сезонний акумулятор, який акумулює теплоту навколишнього середовища протягом весняно-літньо-осіннього періоду часу, а використовує накопичену теплоту в зимо-во-осінній період. При розробці добових або сезонних акумуляторів використовують ТАМи з низькою температурою плавлення, наприклад глауберову сіль $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, гіпосульфит натрію $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, бішофіт $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ тощо.

Мета досліджень – розробка методики розрахунку добового теплового сольового акумулятора на фазових перетвореннях ТАМу. Розрахунок ТА з низькою температурою плавлення ТАМу, що дає змогу акумулювати теплоту сонячного випромінювання, теплоту ґрунту, водойм та інших низькопотенційних альтернативних джерел енергії з використанням геліоколекторів і теплових насосів та дешевої електричної енергії в нічний період часу.

Матеріали та методика досліджень. Тепловий розрахунок ТА. Враховуючи те, що температура теплоносія при опаленні приміщень з використанням, наприклад водяної теплої підлоги, становить 30–50 °С, як ТАМ вибрано сіль $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, а теплоізолюючим матеріалом для побутового ТА використано поліуретан.

Теплофізичні властивості ТАМу та поліуретану:

- температура плавлення (кристалізації) $t_{\text{кр}} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- густина твердого ТАМу $\rho_{\text{ТВ}} = 1,52 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;
- масова теплоємність ТАМу $C_{\text{ф}} = 1,22 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$;
- прихована теплота плавлення (кристалізації) $r_{\text{ф}} = 275 \text{ кДж/кг}$;
- теплоізоляція – плити з пінополіуретану:
 - коефіцієнт теплопровідності $\lambda_0 = 0,04 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$;
 - товщина шару теплоізоляції $\delta_{\text{із}} = 0,05\text{--}0,1 \text{ м}$;
- температура ядра: максимальна $t_{\text{max}} = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$; мінімальна $t_{\text{min}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- температура повітря в приміщенні $t_0 = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- температура ґрунту $t_{\text{зов}} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- температура теплоносія в колекторі або тепловому насосі $t_{\text{в,к}} = 60\text{--}100 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- температура води в підлоговій системі опалювання $t_{\text{в,о}} = 20\text{--}50 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Обмежуючи інтервал робочих температур ядра акумулятора значеннями t_{max} і t_{min} , а також нехтуючи тепловими втратами пристрою і теплоємністю його конструкції, тепловий баланс пристрою можна виразити співвідношенням:

$$Q_{\text{ак}} = V_{\text{ф}} \rho_{\text{ф}} (C_{\text{ф}} (t_{\text{кр}} - t_{\text{min}}) + r_{\text{ф}}), \quad (1)$$

де $V_{\text{ф}}$ – об'єм, який займає ТАМ, що проходить фазове перетворення, м^3 ;

$\rho_{\text{ф}}$ – густина ТАМу (в тому однофазному стані, при якому вона менша), кг/м^3 ;

$C_{\text{ф}}$ – масова теплоємність ТАМу (в інтервалі температур $t_{\text{max}}\text{--}t_{\text{min}}$), $\text{кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$;

r_{ϕ} – теплота фазового переходу ТАМу, кДж/кг.

Розрахунок необхідного об'єму ТАМу. Для розрахунку теплового акумулятора необхідно визначити кількість теплоти, яка необхідна для опалення та гарячого водопостачання приміщень. Виберемо, що об'єм приміщення, яке необхідно забезпечити теплотою становить 85 м^3 . Згідно з нормами для опалення 1 м^3 житлового приміщення необхідно витратити 22 Вт теплової енергії. При цьому необхідна кількість теплоти для опалення вибраного приміщення – 145,9 МДж на 1 добу.

При виборі як ТАМу солі $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ($\rho_{\phi} = 1520 \text{ кг/м}^3$, $r_{\phi} = 275 \text{ кДж/кг}$) і, приймаючи значення $t_{\text{кр}} = 35^\circ\text{C}$, $t_{\text{min}} = 25^\circ\text{C}$, отримаємо:

$$V_{\phi} = \frac{Q_{\text{ак}}}{\rho_{\phi} C_{\phi} (t_{\text{кр}} - t_{\text{min}}) + \rho_{\phi} r_{\phi}} \quad (2)$$

Оцінюючи теплові втрати значенням 15 % від величини $Q_{\text{ак}}$, і, враховуючи їх з коефіцієнтом $\psi=1,15$, знаходимо необхідний об'єм ТАМу в акумулюючому ядрі. Відповідно, маса компонента ядра:

$$V_{\text{там1}} = \psi V_{\phi} = 0,36 \text{ м}^3. \quad M_{\text{там1}} = \rho_{\phi} V_{\phi} = 549,236 \text{ кг}.$$

Визначення маси корпусу ТА. Оболонка теплоакумулятора являє собою сталевий корпус, в якому знаходиться ТАМ. При нагріванні ядра акумулятора теплота акумулюється як в ТАМі, так і в матеріалі корпусу $H_{\text{я}} = H_{\text{там}} + H_{\text{к}}$. Кількість теплоти, акумульованої корпусом визначається виразом:

$$H_{\text{к}} = M_{\text{к}} C_{\text{к}} (t_{\text{max}} - t_{\text{min}}), \text{ кДж},$$

де $M_{\text{к}}$ – маса корпусу, кг; $C_{\text{к}}$ – масова питома теплоємність матеріалу корпусу, кДж/кг $^\circ\text{C}$.

Для об'єму ТАМу, що становить $0,36 \text{ м}^3$, проектуємо металевий корпус з геометричними розмірами $1,1 \times 1,1 \times 0,3 \text{ м}$ або $2,2 \times 0,55 \times 0,3 \text{ м}$. Як матеріал для корпусу ядра використовуємо листову сталь марки AISI439 (12x18H10T) товщиною 1 мм. Питома теплоємність сталі $C_{\text{к}}=0,5 \text{ кДж/кг } ^\circ\text{C}$.

Маса корпусу визначається за формулою, кг: $M_{\text{к}} = F_{\text{я}} m_{\text{ст}}$,

$$M_{\text{к}} = 19,8 \text{ кг}, \quad \text{де } F_{\text{я}} - \text{площа поверхні стін ядра, } F_{\text{я}} = 3,74 \text{ м}^2.$$

Теплота, акумульована корпусом, $H_{\text{к}} = 345,25 \text{ кДж}$.

Геометричні розміри ТА наведено на рис. 1.

Розрахунок потужності нагрівача під час заряду ТА. Теплоакумулятор являє собою пристрій неперервної дії. Задаємося такими параметрами:

- добовий час заряду – 8–13 год;
 - добовий час розряду – 24 год;
 - тривалість режимів роботи ТА на добу, с.:
- перший етап:

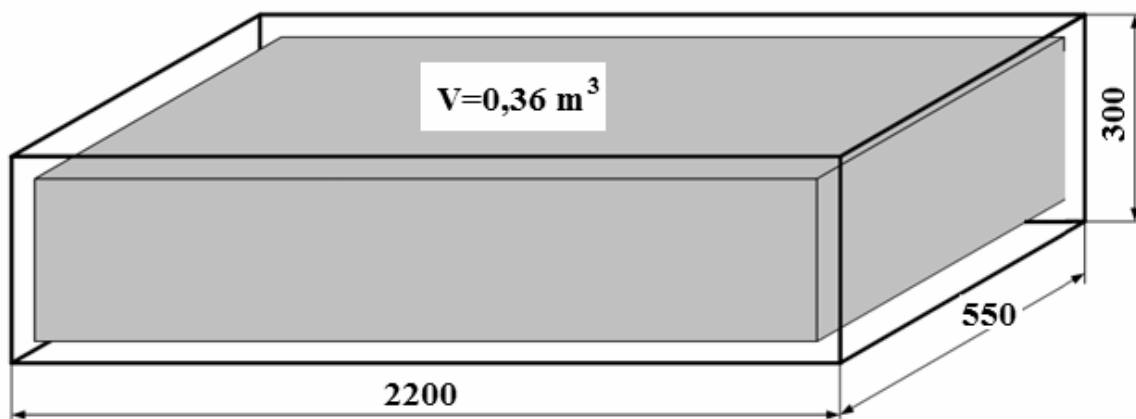


Рис. 1. Геометричні розміри теплоізовованого корпусу ТА з ТАМом

- ▶ заряд – 14400 с;
- ▶ розряд – 14400 с;
- другий етап:
 - ▶ розряд – 28800 с.

За умови використання добової величини акумульованої теплової енергії на базі сонячних колекторів, значення останньої становить, Вт:

$$Q_{k.c.o} = A_{k.c.o} \eta_{p\dot{u}} q_i, \quad (3)$$

де $A_{k.o}$ – площа поглинаючої поверхні геліоустановки, m^2 ; $\eta_{p\dot{u}}$ – річний (сезонний) ККД установки; q_i – інтенсивність сонячної радіації, що падає на площину колектора, $Вт/м^2$.

Підставивши відповідні дані, отримаємо: $Q_{k.c.o} = 37641,98$ Вт.

При використанні теплового насоса необхідна тепла потужність повинна мати таку ж величину.

Визначення втрат теплоти через теплоізоляцію. Для розрахунку теоретичних значень часу заряду, тепловідводу при заряді, часу розряду та тепловідводу при розряді необхідно визначити коефіцієнти тепловіддачі для стінки акумулятора з теплоізоляцією.

Тепловий потік від ядра передається стінці теплоізоляції, звідки частина його втрачається (теплопровідністю через теплоізоляцію) в навколишнє середовище, Вт:

$$Q_{i\dot{z}} = K_{i\dot{z}} F_{ct.i\dot{z}} (t_{ct.i\dot{z}} - t_{min}), \quad (4)$$

де $F_{ct.i\dot{z}}$ – площа поверхні стінки теплоізоляції $F_{ct.i\dot{z}} = 3,8$ m^2 ; $t_{ct.i\dot{z}}$ – температура стінки теплоізоляції, $^{\circ}C$.

Коефіцієнт теплопередачі від стінки теплоізоляції $K_{i\dot{z}}$, $Вт/м^2$ $^{\circ}C$, визначається за формулою:

$$K_{i\dot{z}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{там}} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_{i\dot{z}}}{\lambda_{i\dot{z}}} + \frac{1}{\alpha_{i\dot{z}}}}, \quad (5)$$

де $\alpha_{там}$, $\alpha_{i\dot{z}}$ – відповідно коефіцієнт тепловіддачі від ТАМу до стінки корпусу ядра та від стінки теплоізоляції в навколишнє середовище; для

натрієвої солі маємо $\alpha_{\text{там}} = 2,32\text{--}11,63 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$; відповідно для пінополіуретану $-\alpha_{i3} = 10\text{--}12 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$; $\delta_{\text{ст}}$, δ_{i3} – товщина стінки корпусу ядра та шару ізоляції, м; $\lambda_{\text{ст}}$, λ_{i3} – коефіцієнт теплопровідності сталі марки AISI439 (12x18H10T) та пінополіуретану, $\lambda_{\text{ст}} = 16,88 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$, $\lambda_{i3} = 0,0416 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$.

Коефіцієнт теплопередачі згідно з (5) має значення

$$K_{i3} = 0,491 \frac{Bm}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \text{Величина теплового потоку, що передається через}$$

стінку теплоізоляції в навколишнє середовище (вважаємо, що акумулятор знаходиться в ґрунті), при різних температурних режимах роботи ТА (в інтервалі температур $25\text{--}60 \text{ }^\circ\text{C}$) знаходиться в діапазоні:

$$Q_{i3} = 27,98 - 93,27 \text{ Вт.}$$

Розрахунок робочих параметрів ТА під час нагріву ТАМу.

Теплопідвід і час нагріву ядра від $25 \text{ }^\circ\text{C}$ до $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Враховуючи геометричні розміри корпусу ядра теплоакумулятора та значення обрахованої вище кількості теплоти, задаємося такими параметрами теплообмінної поверхні пучка труб, що знаходиться в ТА:

- матеріал труб – нержавіюча сталь марки SUS304;
- зовнішній діаметр – $d_3 = 0,034 \text{ м}$;
- відстань між нагрівними трубами – $0,11 \times 0,11 \text{ м}$;
- кількість нагрівних труб – $n_{\text{тр}} = 5 \text{ шт.}$

Теплопідвід при нагріві ядра від $25 \text{ }^\circ\text{C}$ до $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Час, який потрібний для прогріву ядра від $25 \text{ }^\circ\text{C}$ до $35 \text{ }^\circ\text{C}$, визначається теплотою, необхідною для прогріву ТАМу, та тепловим потоком, який витрачається на його прогрів, с:

$$\tau_{31} = \frac{H_{31}}{Q_{31}}, \quad (6)$$

де Q'_{31} – теплова енергія, яку ми отримуємо від сонячних колекторів або теплового насоса (із врахуванням величини теплового потоку, який відводиться від нагрівних труб під час нагріву ядра ТА, а також втрат теплової енергії через шар теплоізоляції), Вт:

$$Q'_{31} = Q_{31} - Q_{i3}, \quad (7)$$

де Q_{i3} – тепловтрати через шар ізоляції з пінополіуретану (при середньому значенні температури в інтервалі від $25 \text{ }^\circ\text{C}$ до $35 \text{ }^\circ\text{C}$), Вт; Q_{31} – тепловий потік, який відводиться від труб, Вт.

Величину останнього знаходимо з виразу:

$$Q_{31} = K_{cm} F_{mp} (t_6 - t_я), \quad (8)$$

а $K_{ст}$ – коефіцієнт теплопередачі від сталеві труби до ТАМу, Вт/м² °С; визначається за формулою:

$$K_{ст} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_{ст.тр}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{ст}}}, \quad (9)$$

$$L_{тр} = nl_1 = 11,0 \text{ м}; F_{тр} = 1,28 \text{ м}^2.$$

де α_v – коефіцієнт тепловіддачі від води до стінки сталеві труби, згідно з виконаним розрахунком $\alpha_v = 2560 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$; $\alpha_{ст}$ – коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до теплоакумуючого матеріалу (для сталі марки SUS304 – $\alpha_{ст} = 15 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$); $\delta_{ст.тр}$ – товщина стінки труби, $\delta_{ст.тр} = 0,002 \text{ м}$; $\lambda_{ст}$ – коефіцієнт теплопровідності: для сталі марки SUS304, $\lambda_{ст} = 16,88 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$; $F_{тр}$ – загальна площа поверхні стінки труб, м²,

$$F_{тр} = \pi d L_{тр},$$

де $L_{тр}$ – загальна довжина всіх нагрівних труб, м; Підставивши значення, отримаємо: t_v – температура води в системі в початковий період заряду ТА, $t_v = 30 \text{ }^\circ\text{С}$.

Маса нагрівальних труб $M_{тр}$, кг визначається за формулою:

$$M_{тр} = L_{тр} m_{тр}, \quad (10)$$

де $m_{тр}$ – маса 1 м. труби з нержавіючої сталі марки SUS304, $m_{тр} = 2,42 \text{ кг}$. Звідки отримаємо:

$$M_{тр} = 29,282 \text{ кг}.$$

Величина коефіцієнта теплопередачі обчислюється за формулою (9), звідки і отримаємо $K_{ст} = 14,79 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$.

Величина теплового потоку, який відводиться від труб (у початковий період акумулювання при температурі ядра $t_{я} = 25\text{--}35 \text{ }^\circ\text{С}$) рівна:

$$Q_{з1} = 946,56 \text{ Вт}.$$

Необхідна кількість теплової енергії, отриманої від сонячних колекторів або теплового насоса, яка витрачається на нагрів ядра ТА:

$$Q_{з1}' = 909,25 \text{ Вт}. \quad (11)$$

Кількість теплоти, яка необхідна для нагріву ядра від $25 \text{ }^\circ\text{С}$ до $35 \text{ }^\circ\text{С}$, становить:

$$H_{з1} = M_{там} C_{\phi} (t_{кр} - t_{min}) + M_{к} C_{к} (t_{кр} - t_{min}) + M_{тр} C_{ст} (t_v - t_{min}) = 7,605 \text{ МДж}. \quad (12)$$

Час прогріву ядра від $25 \text{ }^\circ\text{С}$ до $35 \text{ }^\circ\text{С}$:

$$\tau_{31} = 8364 \text{ с} = 2,32 \text{ год.}$$

Теплопідвід при плавленні ТАМ (35 °С) Для другої стадії «заряду» акумулятора на поверхні труб має місце природна конвекція розплавленого ТАМу. Оцінки показують, що при цьому коефіцієнт тепловіддачі на поверхні труб рівний $\alpha_{ст} = 140 \text{ Вт/м}^2 \text{ °С}$. При обчисленні коефіцієнта тепlopередачі за формулою (9) отримаємо $K_{ст} = 130,6 \text{ Вт/м}^2 \text{ °С}$.

Величина теплового потоку, який відводиться від труб:

$$Q_{32} = Q_{31} = K_{ст} F_{тр} (t_{в,к} - t_{я}) = 7523,1 \text{ Вт.} \quad (13)$$

Кількість теплоти, яка необхідна для плавлення ТАМу:

$$H_{32} = M_{там} r_{\phi} = 150,754 \text{ МДж.} \quad (14)$$

Теплова енергія, яка витрачається при плавленні ядра ТА:

$$Q_{32}' = Q_{32} - Q_{из}.$$

Величина теплового потоку, який відводиться від труб (в другий період акумулювання при температурі ядра $t_{я} = 35 \text{ °С}$) рівна:

$$Q_{31} = 7523,1 \text{ Вт.}$$

Необхідна кількість теплової енергії, отриманої від сонячних колекторів або теплового насоса, яка витрачається на нагрів ядра ТА:

$$Q_{32}' = 7476,4 \text{ Вт.}$$

Час плавлення ТАМу:

$$\tau_{32} = \frac{H_{32}}{Q_{32}'} = 20164 \text{ с} = 5,6 \text{ год.} \quad (15)$$

Теплопідвід при нагріві ядра від 35 °С до 60 °С. Теплота, яка відводиться від труб:

$$Q_{33} = Q_{31} = K_{ст} F_{тр} (t_{в} - t_{я}) = 5432,96 \text{ Вт.} \quad (16)$$

Кількість теплоти, яка необхідна для нагріву ядра від 35 °С до 60 °С, становить:

$$H_{33} = M_{там} C_{\phi} (t_{max} - t_{кр}) + M_{к} C_{к} (t_{max} - t_{кр}) + M_{тр} C_{ст} (t_{max} - t_{кр}) = 17,361 \text{ МДж.} \quad (17)$$

Теплова енергія, яка витрачається при нагріванні розплавленого ядра ТА:

$$Q_{33}' = 7460,6 \text{ Вт.}$$

Час прогріву ядра:

$$\tau_{33} = \frac{H_{33}}{Q_{33}'} = 2327 \text{ с} = 0,65 \text{ год.} \quad (18)$$

Розрахунок робочих параметрів ТА під час охолодження та кристалізації ТАМу.

При розрахунку охолодження теплового акумулятора припустимо, що кількість труб, в яких протікає вода з системи опалення рівна $n=15$ шт.. Площа поверхні труб визначається за формулою

$$L_{mp} = nl_1 = 33,0 \text{ м}^2,$$

де L_{mp} – загальна довжина всіх нагрівних труб, м:

Підставивши значення, отримаємо: $F_{mp}=3,84 \text{ м}^2$.

Загальна маса труб

$$M_{mp} = 79,84 \text{ кг}.$$

Визначення кількості відданої теплоти та часу охолодження ядра при “розряді” ТА (від 60 °С до 35 °С). Кількість відданої теплоти:

$$H_{p1} = M_{там} C_{\phi} (t_{max} - t_{kp}) + M_{\kappa} C_{\kappa} (t_{max} - t_{kp}) + M_{mp} C_{cm} (t_{max} - t_{kp}) = 17,361 \text{ МДж.} \quad (19)$$

Час охолодження рідкого ТАМу від 60 °С до 35 °С, с:

$$\tau_{p1} = \frac{H_{p1}}{K_{cm} F_{mp} (t_{max} - t_{kp}) + K_{iz} F_{iz} (t_{max} - t_{kp})}, \quad (20)$$

де α_{iz} – коефіцієнт теплопередачі для теплоізоляції; K_{cm} – коефіцієнт теплопередачі через стінку, Вт/м²·°С.

Згідно з розрахунками

$$\alpha_{iz} = 0,491 \text{ Вт / м}^2 \cdot ^\circ\text{С};$$

$$K_{cm}=130,6 \text{ Вт/м}_2 \cdot ^\circ\text{С}. \quad (21)$$

Підставивши, отримаємо:

$$\tau_{p1} = \frac{17361000}{2194,7} = 7910 \text{ с} = 2,2 \text{ год}.$$

Охолодження ядра при кристалізації ТАМу. Теплота, віддана при кристалізації:

$$H_{p2} = M'_{там} r_{\phi} = 150,754 \text{ МДж}. \quad (22)$$

Величина відведеної трубами теплоти (з урахуванням тепловтрат через ізоляцію):

$$Q_{p2} = Q_{iz} + K_{cm} F_{mp} (t_{я} - t_{o}) = 2554,4 \text{ Вт}. \quad (23)$$

Час охолодження ТАМу:

$$\tau_{p2} = \frac{H_{p2}}{Q_{p2}} = \frac{150754000}{2554,4} = 59017 \text{ с} = 16,4 \text{ год}. \quad (24)$$

Охолодження ядра від 35 °С до 25 °С. Кількість теплоти, яка необхідна для охолодження ядра від 35 °С до 25 °С, буде:

$$H_{p3} = M_{там} C_{\phi} (t_{кр} - t_{min}) + M_{к} C_{к} (t_{кр} - t_{min}) + M_{тр} C_{ст} (t_{г} - t_{min}) = 7,01 \text{ МДж} . \quad (25)$$

Величина відведеної трубами теплоти (з урахуванням тепловтрат через ізоляцію):

$$Q_{p3} = Q_{із} + K_{ст} F_{тр} (t_{я.сер} - t_o) = 305,76 \text{ Вт} . \quad (26)$$

Час охолодження ТАМ:

$$\tau_{p3} = \frac{H_{p3}}{Q_{p3}} = \frac{7010000}{305,76} = 22927 \text{ с} = 6,4 \text{ год} . \quad (27)$$

Результати досліджень. Результати розрахунку тепловідводу при заряді та розряді ТА наведено в таблиці.

Розрахунковий та заданий час роботи акумулятора в різних режимах

Режим роботи ТА	Температура, °С	Тривалість роботи, год.	
		розрахована	задана
Заряд	25 – 35	2,32	
	35	5,6	
	35 – 60	0,65	8,0 – 11,0
	60 – 35	2,2	
Розряд	35	16,4	
	35 – 25	6,4	24,0

Схема розміщення трубного пучка в тепловому акумуляторі наведена на рис. 2.

Враховуючи те, що реальний ККД плоских сонячних колекторів знаходиться в межах 22–40 % (величину ККД отримано дослідним шляхом) від номінального розрахункового значення, яке склало 64 %, що майже в 2 рази більше за реальне, тому пропонується залишити прийняті параметри теплообмінної поверхні без змін.

Щодо тривалості роботи ТА в режимі “заряд”, то як видно з таблиці, розрахункове значення менше заданого, але враховуючи реальне значення ККД плоских сонячних колекторів, а також час роботи ТА в режимі “розряд”, вважаємо, що параметри теплообмінної поверхні (кількість нагрітих труб та їх діаметр), є оптимальними для обох режимів роботи ТА.

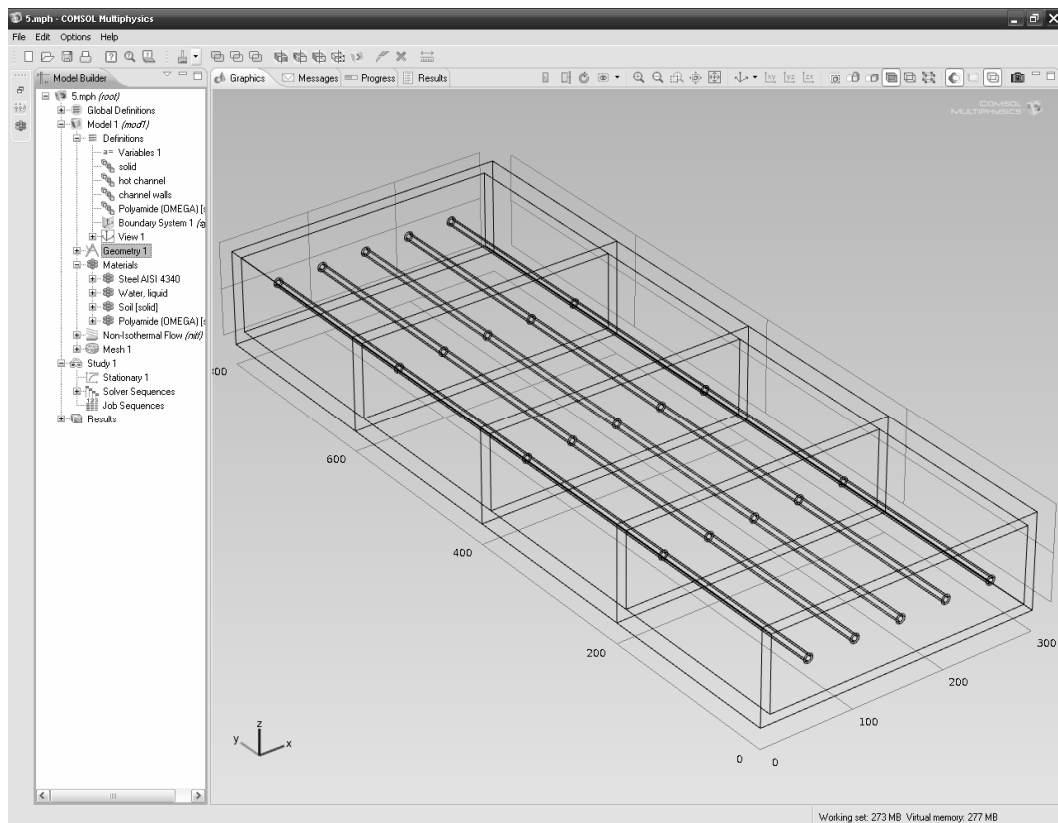


Рис. 2. Схема теплового аккумулятора

Висновки

Проведені розрахунки показали, що для добового акумулювання теплової енергії з подальшим її використанням в системі теплозабезпечення приміщення об'ємом 80 м^3 , потрібен ТА з такими параметрами:

- матеріал труб – нержавіюча сталь марки SUS304;
- зовнішній діаметр $d_3 = 0,034 \text{ м}$;
- відстань між нагрівними трубами $0,11 \times 0,11 \text{ м}$;
- кількість нагрівних труб $n_{\text{тр}} = 5 \text{ шт.}$,
- кількість охолоджуючих труб $n_{\text{тр}} = 15 \text{ шт.}$,
- теплоакумулюючий матеріал – сіль $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$;
- маса ТАМу – 550 кг ;
- розміри аккумулятора – $2,2 \times 0,55 \times 0,3 \text{ м}$.

Список літератури

1. Бекман Г. Тепловое аккумулирование энергии / Г. Бекман, П. Гилли – Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 272 с.
2. Быстров В.П. Теплоаккумуляторы с использованием фазового перехода / В.П. Быстров, А.В. Ливчак // Вопросы экономии теплоэнергетических ресурсов в системах вентиляции и теплоснабжения. Сб. науч. трудов. – М.: Изд-во ЦНИИЭПИО, 1984. – С.75–90.
3. Гулиа Н.В. Накопители энергии / Н.В. Гулиа. – М.: Мир, 1980. – 321 с.
4. Даффи Дж.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж.А. Даффи, У.А. Бекман. – М.: Мир, 1977. – 312 с.

5. Елистратов В.В. Аккумуляирование солнечной энергии / В.В. Елистратов // Нетрадиционная энергетика и технология: материалы междунар. конф. – Ч. 1. – Владивосток: ДВО РАН, 1975. – С. 32.

6. Матвеев В.М. Приближенный расчет теплопередачи в аккумуляторах тепла солнечных энергоустановок / В.М. Матвеев // Гелиотехника. – 1971. – №5. – С. 43–45.

7. Шишкин Н.Д. Тепловые аккумуляторы с фазовым переходом / Н.Д. Шишкин, Ю.В. Цымбалюк. – Ростов на Дону: Просвещение, 2005. – 120 с.

Разработана методика расчета теплового солевого аккумулятора с фазовым переходом аккумулирующего материала. Проведен расчет аккумулятора теплоты для обогрева строительных помещений. Определены размеры аккумулятора и массу аккумулирующего материала для суточного теплопотребления. Рассчитаны тепловые потери в окружающую среду и временные промежутки для «зарядки» и «разрядки» теплового аккумулятора.

Тепловой солевой аккумулятор, аккумулирующий материал, тепловые потери, фазовый переход.

The method of calculation of the thermal battery with electrolyte phase transition of accumulating material is developed. The calculation of heat battery for heating of building space is made. Size accumulator battery and weight accumulating material for daily heat consumption are found. Heat loss to the environment and time period to "charge" and "discharge" of thermal battery are calculated.

Heat salt battery, accumulating material, heat loss, phase transformation.

УДК 621.314

ІНСТРУМЕНТАЛЬНА ДОСТОВІРНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОПУСКОВОГО КОНТРОЛЮ

О.І. Щепотьєв, кандидат технічних наук

А.В. Жильцов, доктор технічних наук

В.В. Васюк, аспірант*

Розглянуто питання інструментальної достовірності результатів допускового контролю. Обґрунтовано вимоги до засобів вимірювання залежно від характеристик контролюваного параметра для досягнення необхідної величини достовірності.

Надійність, допусковий контроль, інструментальна достовірність, об'єкт контролю.

Достовірність результатів контролю – це показник ступеня об'єктивного відображення результатами контролю дійсного технічного стану

*Науковий керівник – доктор технічних наук А.В. Жильцов

© О.І. Щепотьєв, А.В. Жильцов, В.В. Васюк, 2013