

УДК 697.329

Порівняння конструкцій теплових акумуляторів з твердим теплоакумулюючим матеріалом та комбінованим теплоакумулюючим матеріалом

О.П. Любарець¹, А.С. Москвітіна²

¹к.т.н., доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, apl_knuba@ukr.net

²аспірант, Київський національний університет будівництва і архітектури, anisiyaa@ukr.net

Однією з технологій накопичення теплової енергії в теплий період року, її зберігання та подальшого використання в опалювальний період, є створення сезонних акумуляторів теплоти. В якості джерела теплоти в теплий період року для зарядки сезонного теплоаккумулятора найчастіше використовують систему сонячних колекторів. Для таких систем (геліоколектори + сезонний теплоаккумулятор) доцільно використовувати організовані сезонні теплоаккумулятори, які розраховані на визначену кількість теплоти. В статті проводиться порівняння конструкцій бетонних теплових акумуляторів та комбінованих теплових акумуляторів з рідким та твердим теплоакумулюючим матеріалом. Використовується фізико-математична модель процесу накопичення теплової енергії від геліоколекторів, на підставі якої в програмному комплексі Solidworks виконана якісна оцінка досліджуємих процесів для різних конструкцій теплових акумуляторів, з урахуванням того, що тепловий акумулятор розташований під будинком.

Ключові слова: бетонний тепловий акумулятор; комбінований тепловий акумулятор; сезонна акумуляція тепла; сезонний акумулятор теплоти; конструкція сезонного акумулятора теплоти.

Вступ. Вичерпаність традиційних паливних ресурсів та погіршення екології докільця надає актуальності дослідженням по відновлюваній та нетрадиційній енергетиці і необхідності залучення в енергетичний баланс України екологічно чистих джерел енергії. Перспективним напрямком є використання теплоти сонячної енергії для комунального теплопостачання, яке може забезпечити чималі потреби в теплоті навіть в умовах територій помірного клімату. Здебільшого методи використання теплової енергії сонця загалом економічно ефективні, однак частка застосування теплової сонячної енергії доволі мала [1]. Значно підвищити ефективність використання сонячної енергії можливо при наявності сезонного акумулятора великої теплової ємності. Проблема надлишку теплоти в літній період, коли потреби в ній зменшуються, актуальна для діючих теплогенеруючих підприємств (ТЕЦ). Вона також може бути вирішена шляхом акумулювання цих надлишків з їх використанням в опалювальний період.

Аналізуючи літературні джерела, можна зробити висновок, що теплоємкісні сезонні акумулятори теплової енергії мають найбільше поширення у світовій практиці (Швейцарія, Швеція, Данія та Ізраїль) [2,3], які

використовуються як для житлових будинків, так і котеджних містечок. Існує декілька конструктивних варіантів виконання таких сезонних акумуляторів теплоти [4,5].

Проаналізувавши переваги та недоліки існуючих конструкцій теплоакумуляторів [6,7], та врахувавши особливості котеджного будівництва, можна зробити висновок про те, що сезонні теплові акумулятори (ТА) повинні відповідати наступним основним вимогам:

- приймати та віддавати теплоту з максимальною інтенсивністю;
- мати як найменший об'єм;
- акумулювати теплоносії з температурою більше 100°C ;
- витримувати велику кількість циклів без суттєвого зменшення потужностей акумулятора;
- мати недорогі капітальні та експлуатаційні затрати, бути простим в подальшій експлуатації.

Комплексний розгляд цих вимог дозволив запропонувати конструкцію акумулятора теплоти (рис.1) з комбінованим двокомпонентним рідинно-твердим теплоакуючим матеріалом (ТАМом).

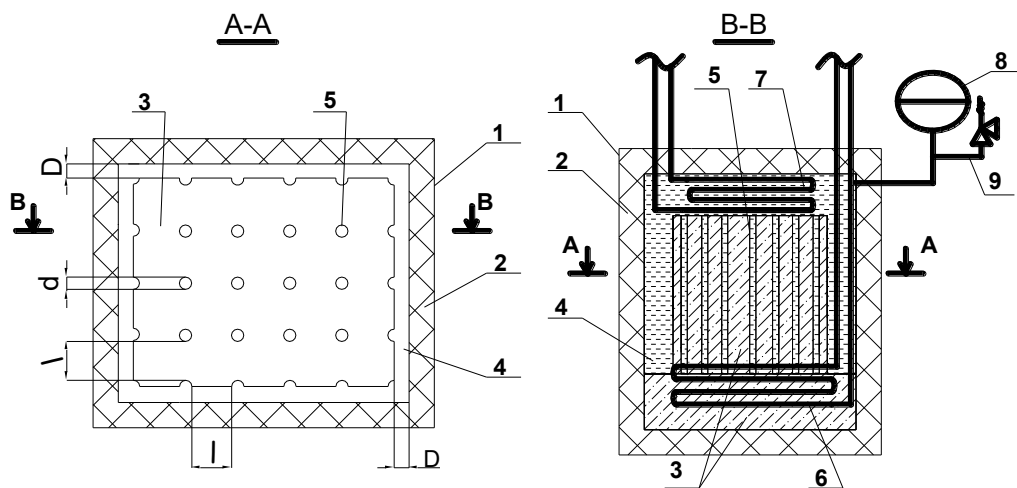


Рис.1. Конструкція комбінованого теплоакумулятора з комбінованим ТАМом.

Він складається з корпусу 1 з теплоізоляцією 2, в якому розташований твердий теплоакуючий матеріал 3, наприклад бетон, у формі куба (або інш. правильної геометричної форми) з вертикальними каналами 5 діаметром d для циркуляції рідкого ТАМу. Між корпусом 1 та твердим теплоакуючим матеріалом 3, по периметру розташований канал 4, шириною D , також заповнений рідким теплоакуючим матеріалом. В нижній частині корпусу 1 розташований замоноличений в бетон теплообмінник 6 для зарядки теплоакумулятора від масиву геліоколекторів. У верхній частині - теплообмінник 7 для розрядки теплоакумулятора, омивається рідким ТАМом. Для компенсації

об'ємних температурних розширень рідкого теплоакумулюючого матеріалу встановлено мембранний розширювальний бак 8 з підливним клапаном 9. Наведена конструкція сезонного теплоаккумулятора захищена авторськими правами на винахід.

Для порівняння та якісної оцінки процесів зарядки теплоаккумулятора з комбінованим двокомпонентним рідинно-твердим ТАМом та аккумулятора з твердим ТАМом (рис.2) було застосовано програмний комплекс SolidWorks [8,9].

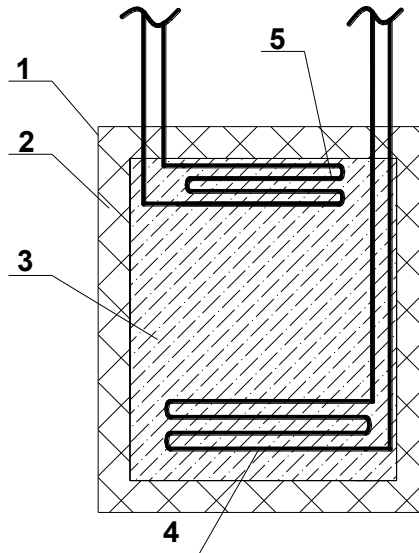


Рис.2. Конструкція ТА з бетонним ТАМом. 1 – корпус; 2 – теплоізоляція; 3 – твердий теплоакумулюючий матеріал (бетон); 4 – теплообмінник зарядки ТА; 5 – теплообмінник розрядки.

Геометричні розміри теплового аккумулятора ($a \times b \times h$) за аналітичними розрахунками склали $8,1 \times 8,1 \times 3,65$ м при його теплоакумулюючій здатності 51,2 ГДж достатній для тепlopостачання коттеджного будинку площею 250 м^2 в холодний період року. Місце найкращого розташування сезонного аккумулятора – в підвалі будинку, що збільшує теплову ефективність комплексу «будинок-аккумулятор» на величину тепловтрат через підлогу першого поверху та частину непродуктивних трансмісійних тепловтрат від аккумулятора до ґрунту при зберіганні теплоти.

На рис.3 проілюстровано головну проблему теплового аккумулятора з бетонним теплоакумулюючим матеріалом [10], а саме нерівномірний розподіл температур в масиві об'єму бетону, що зменшує питому теплонакопичувальну здатність аккумулятора, w , кВт/м^3 . Так при зарядці теплоаккумулятора теплоносієм з температурою 160°C мінімальна температура в об'ємі твердотілого ТАМу (бетону) складає всього $65,4^\circ\text{C}$.

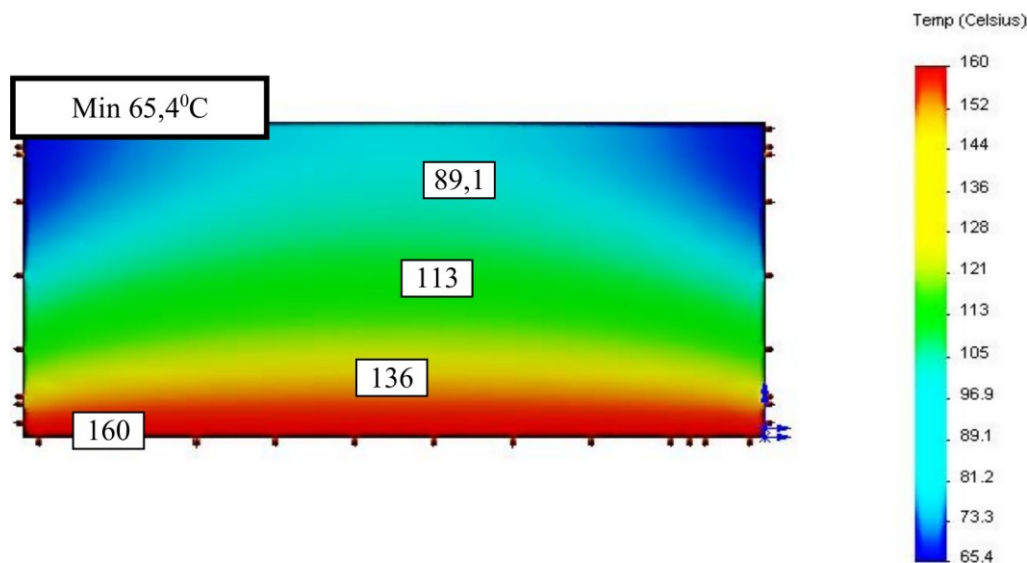


Рис.3. Конструкція ТА з бетонним ТАМом, варіант 1, результати дослідження.

Задачу більш рівномірного розподілу температур вирішуємо за рахунок системи каналів, заповнених рідким ТАМом (гліцерином), що знаходяться в каналах масиву твердого ТАМу – бетону. Діаметр каналів та відстань між ними приймається з розрахунку значної вартості рідкого ТАМу. На рис. 4 наведені результати моделювання температурного поля акумулятора при діаметрі каналів $d = 50$ мм і відстанях між ними $l = 500$ мм, товщина прошарку $D = 50$ мм. По результатам видно, що мінімальна температура $67,4$ °С та об'єм охолодженої зони зменшився але прошарок з рідким ТАМом по периметру остигає швидше, ніж твердий ТАМ. Тому розглянемо варіант 2 конструкції комбінованого ТА з рідким та твердим ТАМом. ТА складається з корпусу з тепловою ізоляцією, заповнений твердим ТАМом, в об'ємі якого виконано канали, заповнені рідким ТАМом та зверху виконаний прошарок з рідкого ТАМу (рис. 5). Результати дослідження наведені на рис. 6. Мінімальна температура в об'ємі теплового акумулятора збільшилася до $68,1$ °С. Але це все одно незадовільний результат, тому спробуємо розташувати канали, які знаходяться в масиві твердого ТАМу і заповнені рідким ТАМом, розташувати в у шаховому порядку. На рис. 7 наведені результати моделювання температурного поля акумулятора при діаметрі каналів $d = 50$ мм і відстанях між ними $l = 500$ мм, канали розташовані в шаховому порядку. Можна зробити висновок, що шаховий порядок розташування каналів погіршив ефективність роботи конструкції сезонного теплоакумулятора з комбінованим двокомпонентним рідинно-твердим ТАМом.

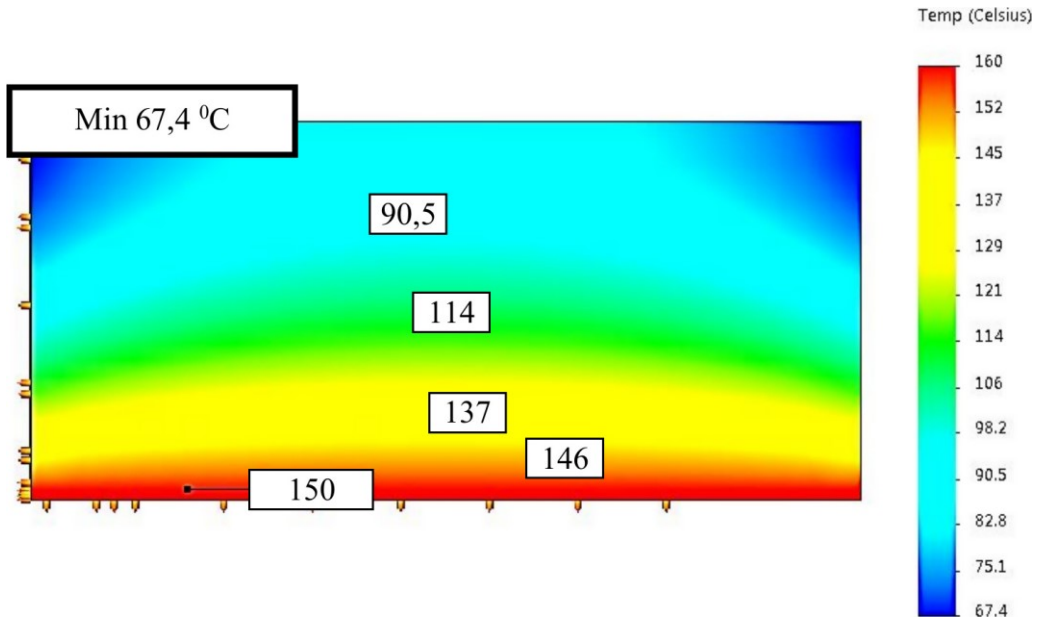


Рис.4. Конструкція комбінованого ТА з твердим (бетон) та рідким (гліцерин) ТАМом, діаметр каналів 50 мм, відстань 500 мм, 15 каналів в ряду, результати дослідження.

Для покращення ефективності теплообміну при зарядці теплового акумулятора збільшимо розмір діаметра каналів та їх кількість в ряду. Як видно на рис. 8 при діаметрі каналу 100 мм, відстань між каналами 500 мм, розташуванні 16 каналів в одному ряду мінімальна температура в об'ємі теплового акумулятора становить $69,6^{\circ}\text{C}$. Але при такій конструкції ми все одно маємо вихолоджену верхню зону ТА, тому прийнято рішення розмістити теплообмінник зарядки по середині конструкції. Для порівняння ефективності зробимо дослідження варіанту 2 конструкції ТА з бетоном в якості ТАМа. (рис. 9, 10). Комбінований ТА з рідким та твердим ТАМом (варіант конструкції 3) складається з корпусу з тепловою ізоляцією, заповнений твердим ТАМом, в об'ємі якого виконано канали, заповнені рідким ТАМом та зверху виконаний прошарок з рідкого ТАМу, змієвик зарядки розташований посередині (рис.11).

Як видно на рис. 12 комбінований ТА з рідким та твердим ТАМом, змієвик зарядки розташований по середині конструкції має кращі показники мінімальної температури та більш рівномірний розподіл температур в об'ємі ТА аніж ТА з бетонним ТАМом. Це пояснюється рухом рідкого теплоакумуючого матеріалу в каналах, які розташовані в об'ємі твердого теплоакумуючого матеріалу, при нагріванні (зарядці) ТА.

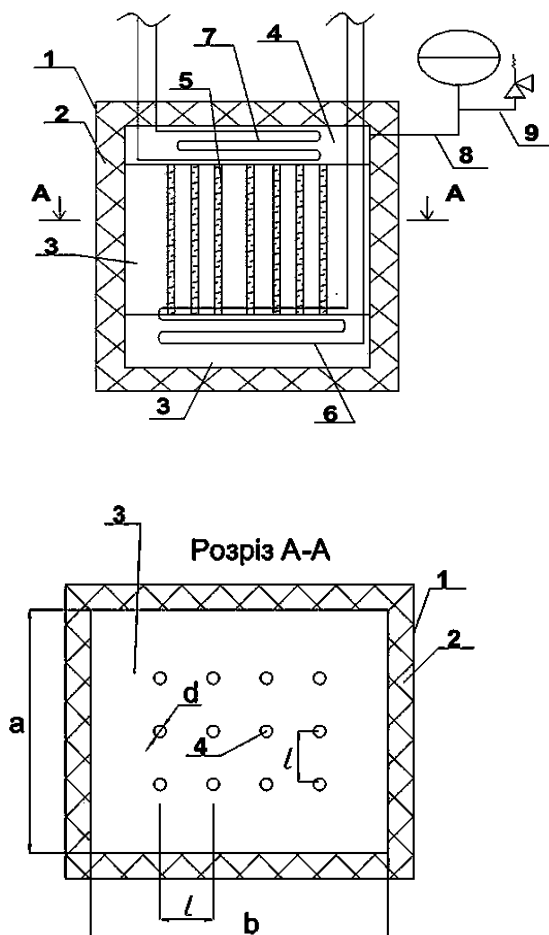


Рис.5. Конструкція комбінованого ТА з твердим та рідким ТАМом, варіант 2.

1 – корпус; 2 – теплоізоляція; 3 – твердий теплоакumuлюючий матеріал (бетон);
 4 – рідкий теплоакumuлюючий матеріал (гліцерин); 5 – канали з рідким теплоакumuлюючим
 матеріалом в об'ємі твердого; 6 – теплообмінник зарядки ТА; 7 – теплообмінник розрядки;
 8 – мембранний розширювальний бак; 9 – запобіжний клапан; d – діаметр каналу, заповненого
 рідким ТАМом; l – відстань між каналами.

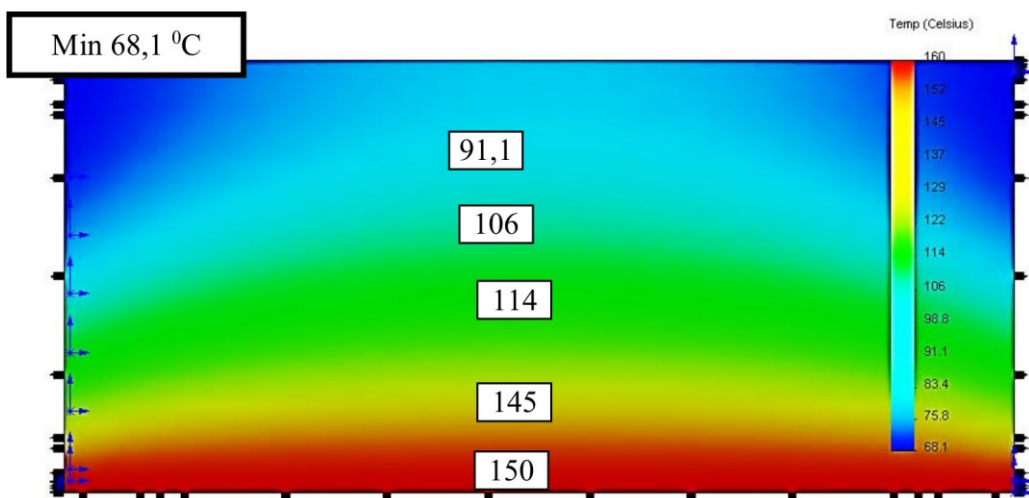


Рис. 6. Конструкція комбінованого ТА з твердим та рідким теплоакумуючим матеріалом (варіант 2), діаметр каналів 50 мм, відстань 500 мм, 15 каналів в ряду, результати дослідження.

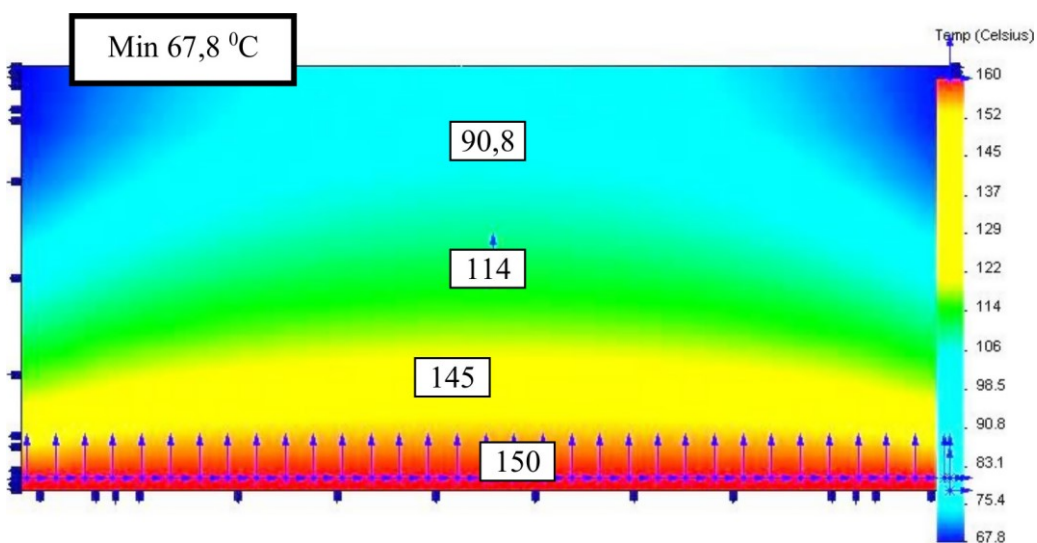


Рис. 7. Конструкція комбінованого ТА з твердим та рідким теплоакумуючим матеріалом (варіант 2), діаметр каналів 50 мм, відстань 500 мм, канали розташовані в шаховому порядку, результати дослідження.

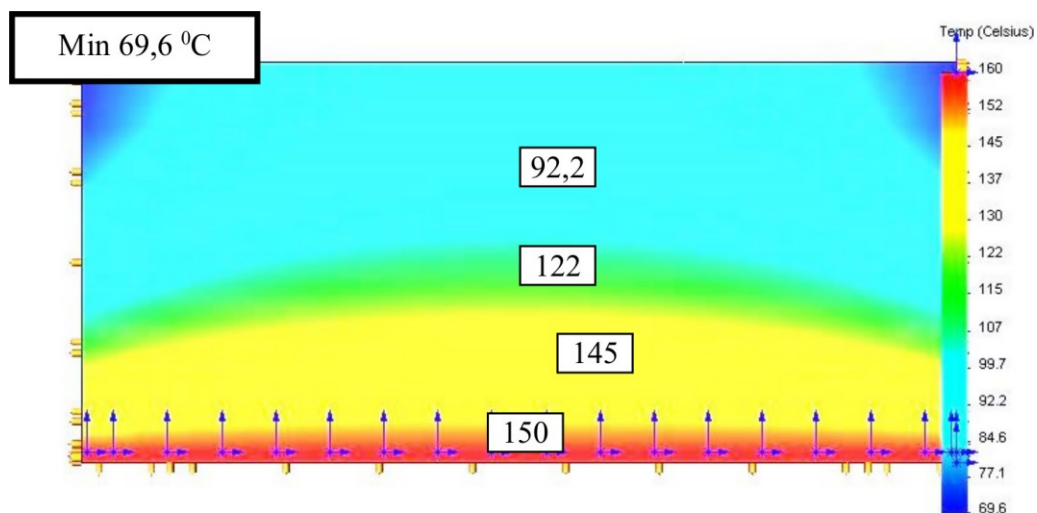


Рис. 8. Конструкція комбінованого ТА з твердим та рідким теплоакумуючим матеріалом (варіант 2), діаметр каналів 100 мм, відстань 500 мм 16 каналів в ряду, результати розрахунку.

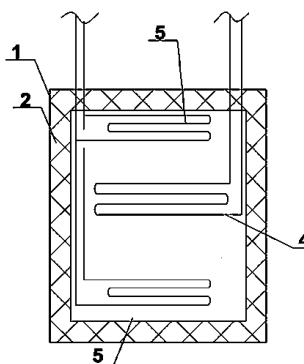


Рис. 9. Конструкція ТА з бетонним ТАМом, варіант 2. 1 – корпус; 2 – теплоізоляція; 3 – твердий теплоакумуючий матеріал (бетон); 4 – теплообмінник зарядки ТА; 5 – теплообмінник розрядки.

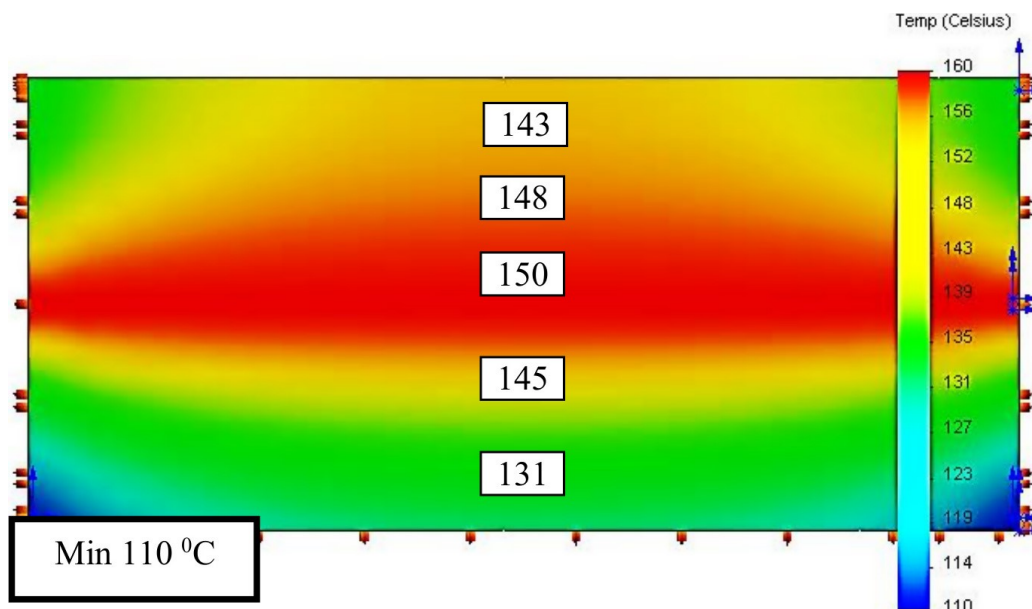


Рис. 10. Конструкція ТА з бетонним ТАМом, варіант 2, результати розрахунку.

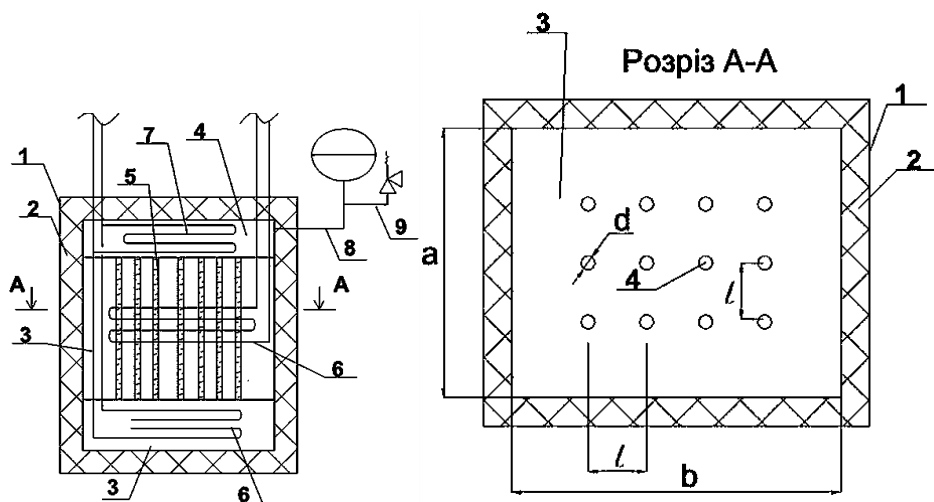


Рис.11. Конструкція комбінованого ТА з твердим та рідким ТАМом, варіант 3.
1 – корпус; 2 – теплоізоляція; 3 – твердий теплоакumuлюючий матеріал (бетон);
4 – рідкий теплоакumuлюючий матеріал (гудрон); 5 – канали з рідким теплоакumuлюючим матеріалом в об'ємі твердого; 6 – теплообмінник зарядки ТА; 7 – теплообмінник розрядки; 8 – мембранний розширювальний бак; 9 – запобіжний клапан; d – діаметр каналу, заповненого рідким ТАМом; l – відстань між каналами.

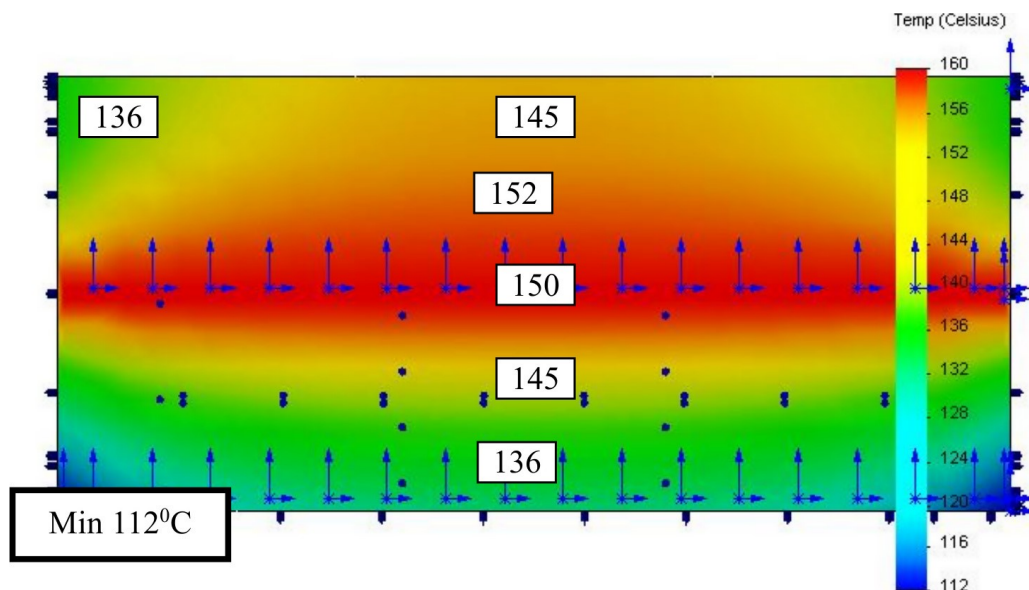


Рис. 12. Конструкція комбінованого ТА з твердим та рідким теплоакumuлюючим матеріалом (варіант 3), діаметр каналів 100мм, відстань 500мм 16 каналів в ряду, результати розрахунку.

Висновки: Тепловий акумулятор з твердим теплоакumuлюючим матеріалом має основний недолік – нерівномірність розподілу температур в об’ємі теплового акумулятора. Покращити розподіл температур в об’ємі теплового акумулятора з твердим ТАМом можливо за рахунок каналів з рідким ТАМом, які знаходяться в об’ємі твердого ТАМу. Найкращий результат розподілу температур в об’ємі теплового акумулятора досягається при використанні конструкції комбінованого теплового акумулятора з рідким та твердим ТАМом, при чому змієвик нагріву розташований по середині конструкції.

Література

1. Украина: эффективность малой энергетики. ЕС EnergyCetntreinKiev. 1997. -280с.
2. ДаффиДж.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии: пер. с англ.. – М.: Мир, 1977 – 420с.
3. Б. Андерсон. Солнечная энергия (основы строительного проектирования)/ Пер. с англ. А.Р. Анисимова; Под ред. Ю.Н. Милевского – М.: Стройиздат, 1982. – 375с.
4. Бекман Н.Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии./ Пер. с англ. В.Я. Сидорова, Е.В. Сидорова; Под ред. В.М. Бродянского. – М.: Мир, 1987. – 272с.
5. Левенберг В.Д., Ткач М.Р, Гольстром В.А. Аккумулирование тепла. - К.: «Тэхніка», 1991. – 112 с.
6. Ішук, НаталіяФедорівна. Енергозберігаючатеxнологіяакumuлювання в системтеплопостачання [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.06 / ІшукНаталіяФедорівна ; Одес.нац. політехн. ун-т. - О., 2012. - 19 с.
7. Любарець О.П., Москвітін А.С. Аналіз конструкцій сезонних теплоакumuляторів для забезпечення систем гарячого водопостачання та опалення в

котеджному будівництві/Любарець О.П., Москвітін А.С.//Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: Наук.-техн. збірник. Відпов. ред.Е.С.Малкін. – К., КНУБА, 2015. – Вип. 18. – с.61-69.

8. Алямовский А.А. Инженерные расчёты в Solidworks Simulation. – М.:ДМК-Пресс,2010. – 466с.

9. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. – С.-П.:БХВ-Петербург,2012. – 448с.

10. Любарець О.П., Москвітін А.С. Техніко-економічне обґрунтування використання теплоакumuлюючих матеріалів для систем міжсезонного сонячного теплопостачання/Любарець О.П., Москвітін А.С.//Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: Наук.-техн. збірник. Відпов. ред.Е.С.Малкін. – К., КНУБА, 2014. – Вип. 17. – с.115-119.

Сравнение конструкций тепловых аккумуляторов с твердым теплоаккумулирующим материалом и комбинированным теплоаккумулирующим материалом

А.П. Любарец, А.С. Москвитина

Одной из технологий накопления тепловой энергии в теплый период года, ее сохранение и дальнейшего использования является создание сезонных аккумуляторов теплоты. В качестве источника теплоты в теплый период года для зарядки сезонного теплоаккумулятора чаще всего используют систему солнечных коллекторов. Для таких систем (солнечные коллекторы + сезонный теплоаккумулятор) целесообразно использовать организованные сезонные теплоаккумуляторы, которые рассчитаны на определенное количество теплоты. В статье проводится сравнение конструкций бетонных тепловых аккумуляторов и комбинированных тепловых аккумуляторов с жидким и твердым теплоаккумулирующим материалом. Используется физико-математическая модель процесса накопления тепловой энергии от гелиоколлекторов, на основании которой в программном комплексе Solidworks выполнена качественная оценка исследуемых процессов для разных конструкций тепловых аккумуляторов, с учетом того, что тепловой аккумулятор находится под домом.

Comparison of constructions of heat accumulators with a solid heat storage material and combined heat storage material

O. Liubarets, A. Moskvitina

One of the thermal energy storage technologies during the warm season, its preservation and future use is to create seasonal heat accumulators. As a source of heat during the warm period of the year for charging seasonal heat storage often use system of solar collectors. For such systems (solar collectors + seasonal heat accumulator) should be used organized seasonal heat accumulators, which are designed for a certain amount of heat. The article compares the constructions of concrete thermal storage and combined heat accumulators with liquid and solid heat accumulating material. Use of physical and mathematical model of the accumulation of heat energy from solar collectors, under which in Solidworks software package made a qualitative assessment of the processes for the different constructions of heat accumulators, taking into account the fact that heat accumulator is under the house.

Надійшла до редакції 12.04.2016