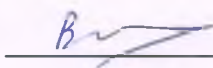


Довідка
про відсутність плагиату у випускній кваліфікаційній роботі

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій
Кафедра Інтелектуальні системи енергопостачання

ДОВІДКА

За результатами перевірки випускної кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти Владислава Могилевця на тему: Проект модернізації системи теплопостачання студмістечка університету з використанням сонячної енергії в роботі не виявлено порушень академічної доброчесності.

Керівник ВКР  Вадим Горячкін

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет науки і технологій

Кафедра Інтелектуальні системи енергопостачання

«ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри

_____ /Дмитро БОСІЙ/

«_____» _____ 20____ р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Галузь знань **14 Електрична інженерія**

Спеціальність **144 Теплоенергетика**

Освітньо-професійна програма **Теплоенергетика**

Тема **Проект модернізації системи теплопостачання студмістечка університету з використанням сонячної енергії**

Theme **The project of modernization of the heat supply system of the university campus with the solar energy usage**

Керівник дипломної роботи доцент _____ **Вадим ГОРЯЧКІН**

Нормоконтролер доцент _____ **Віктор ДЬЯКОВ**

Студент групи **ТЕ2021** _____ **Владислав МОГИЛЕВЕЦЬ**

Student **Mohylevets Vladyslav**

Дніпро – 2021

Український державний університет науки і технологій

Факультет «Управління енергетичними процесами»

Кафедра «Інтелектуальні системи енергопостачання»

Галузь 14 Електрична інженерія

Спеціальність 144 Теплоенергетика

Спеціалізація «Теплоенергетика»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри

Босий Д.О.

«25» січня 2021р.

ЗАВДАННЯ

до дипломної роботи на здобуття ОСмагістр

студента групи ТЕ2021Могилевця Владислава Андрійовича

1 Тема дипломної роботи: **«Проект модернізації системи теплопостачання студмістечка університету з використанням сонячної енергії»**

затверджена наказом по університету від «25» січня 2021р. №46ст.

2 Термін подання студентом закінченої роботи «5» грудня 2021р.

3 Вихідні дані до дипломної роботи: Опалювальне навантаження системи теплопостачання та навантаження гарячого водопостачання студмістечка університету.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань до розробки): сонячна енергетика, застосування сонячних водонагрівальних установок в системах теплопостачання, визначення розрахункових теплових навантажень системи теплопостачання, заходи з техніки безпеки при монтажі сонячних водонагрівальних установок, комплексна оцінка характеристик сонячних водонагрівальних установок.

5 Перелік креслень (демонстраційного матеріалу): 1. Сонячна енергетика. 2. Способи отримання електрики і тепла з сонячного випромінювання. 3. Переваги та недоліки сонячної енергетики. 4. Потенціал

сонячної енергії . 5. Сонячні колектори та їх типи. 6. Плaskий сонячний колектор. 7. Вакуумний сонячний колектор. 8. Параболічні концентратори. 9. Переваги та недоліки сонячних колекторів. 10. Використання сонячних водонагрівальних установок в системах теплопостачання. 11. Системи енергопостачання з використанням відновлювальних джерел енергії. 12. Схема експериментальної СВНУ для системи теплопостачання автономного об'єкта. 13. Ефективність сонячного водонагрівача з сонячним колектором вакуумного типу. 14. Технологічні рішення для підвищення ефективності роботи СВНУ. 15. Техніко-економічні показники СВНУ.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва розділу	Термін виконання	Об'єм розділу, %
1.	ВСТУП	17.10	5
2.	1 СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА	17.10	20
3.	2 ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ ВОДОНАГРІВАЛЬНИХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	14.11	15
4.	3 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	14.11	20
5.	4 ЗАХОДИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ МОНТАЖІ СОНЯЧНИХ ВОДОНАГРІВАЛЬНИХ УСТАНОВОК	14.11	15
6.	5 КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК СОНЯЧНИХ ВОДОНАГРІВАЛЬНИХ УСТАНОВОК	05.12	15
7.	ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	05.12	5
8.	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	05.12	5

Дата видачі завдання «25» січня 2021 р.

Керівник дипломної роботи, доцент

Вадим Горячкін

Завдання прийняв до виконання

Владислав Могилевець

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 81 сторінка, 5 частин, 18 рисунків, 13 таблиць, 16 літературних джерел.

Об'єкт розробки – сонячні водонагрівальні установки.

Мета роботи – теоретичне обґрунтування комплексного використання геліоустановок, теплових насосів і акумуляторів теплоти для вдосконалення і підвищення енергоефективності існуючих систем теплопостачання на об'єктах студмістечка УДУНТ.

Реалізація комплексного підходу до створення геліоустановок, енергетичний потенціал яких використовується в сукупності з відомими способами теплопостачання (включаючи теплові насоси та акумулятори теплоти), показала, що існує технічна можливість нагріву води в СВНУ для ГВП споживачів незалежно від нестабільності генерації сонячної енергії.

Розроблено узагальнюючий показник (комплексна енергетична характеристика сонячного колектора), який визначається як відношення кількості теплової енергії, фактично виробленої колектором за день до кількості всієї надходить сонячної радіації в площину колектора. Комплексна енергетична характеристика сонячного колектора дозволяє проводити оцінку ефективності застосування сонячних колекторів різних типів.

Ключові слова: ГЕЛІОКОЛЕКТОР, АКУМУЛЯТОР ТЕПЛОТИ, ТЕПЛОВИЙ НАСОС, СОНЯЧНА ВОДОНАГРІВАЛЬНА УСТАНОВКА.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП.....	7
1 СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА.....	10
1.1 Визначення, способи отримання, переваги та недоліки сонячної енергетики.....	10
1.2 Потенціал відновлювальних енергоресурсів.....	13
1.3 Сонячний колектор. Типи сонячних колекторів.....	14
1.4 Застосування сонячних колекторів.....	19
1.5 Переваги та недоліки сонячних колекторів.....	21
2 ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ ВОДОНАГРІВАЛЬНИХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.....	24
2.1 Особливості використання сонячних водонагрівальних установок в системах теплопостачання.....	24
2.2 Основні принципи конструювання комбінованих систем сонячного теплопостачання.....	28
2.3 Методика визначення характеристик сонячних колекторів при конструюванні сонячних водонагрівальних установок.....	32
3 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.....	38
3.1 Загальна характеристика університету як об'єкта теплопостачання....	38
3.2 Опалювальне навантаження системи теплопостачання.....	40
3.3 Навантаження гарячого водопостачання.....	43
3.4 Особливості експлуатації сонячних вакуумних колекторів в структурі теоретичної гелі системи.....	45
3.5 Технологічні рішення для підвищення ефективності роботи сонячних водонагрівальних установок в системах теплопостачання.....	47

					02.15.ТЕ2021.РД.2021–ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проект модернізації системи теплопостачання студмістечка університету з використанням сонячної енергії	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробник		В. Могиливець					5	79
ОП та БНС								
Керівник		В. Горячкін						
Економ.								
Н. контр.		В. Дьяков				УДУНТ, ІСЕ, гр. ТЕ2021		

4 ЗАХОДИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ МОНТАЖІ СОНЯЧНИХ ВОДОНАГРІВАЛЬНИХ УСТАНОВОК.....	56
4.1 Загальні вказівки з безпеки.....	56
4.2 Використання за призначенням.....	60
5 КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК СОНЯЧНИХ ВОДОНАГРІВАЛЬНИХ УСТАНОВОК.....	61
5.1 Особливості застосування теплових насосів і акумуляторів теплоти в структурі сонячних водонагрівальних установок.....	61
5.2 Оцінка техніко-економічних показників сонячних водонагрівальних установок.....	73
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80

					02.15.ТЕ2021.РД.2021–ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Проект модернізації системи теплопостачання студмістечка університету з використанням сонячної енергії			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробник	В. Могилевець										
ОП та БНС									6	79	
Керівник	В. Горячкін							УДУНТ,ІСЕ,гр. ТЕ2021			
Економ.											
Н. контр.	В. Дьяков										

ВСТУП

Актуальність роботи. Активне використання поновлюваних джерел енергії відноситься до одного з головних напрямків розвитку сучасної енергетики. Необхідність вирішення цього питання є інженерним, економічним та екологічним завданням.

Реалізація комплексного підходу до створення геліоустановок, енергетичний потенціал яких використовується в сукупності з відомими способами теплопостачання (включаючи теплові насоси та акумулятори теплоти), показала, що існує технічна можливість нагріву води в СВНУ для ГВП споживачів незалежно від нестабільності генерації сонячної енергії.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Робота відповідає науковим напрямам роботи кафедри «Інтелектуальні системи енергопостачання» Українського державного університету науки і технологій.

Мета і завдання роботи. Мета роботи полягає в теоретичному обґрунтуванні комплексного використання геліоустановок, теплових насосів і акумуляторів теплоти, сучасних засобів автоматизації для вдосконалення і підвищення енергоефективності існуючих систем теплопостачання на об'єктах студмістечка УДУНТ.

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішені наступні завдання:

- визначити основні напрямки використання геліоустановок при конструюванні систем теплопостачання;
- виконати оцінку сучасних тенденцій розвитку систем сонячного теплопостачання і обґрунтувати техніко-економічні переваги використання сонячної енергії, теплоти з низькотемпературних джерел і систем тривалого акумулювання теплової енергії для ГВП і опалення;
- запропонувати комбіновану системи теплопостачання для гарячого водопостачання студмістечка університету.

Об'єкт дослідження – сонячні водонагрівальні установки.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Предмет дослідження – застосування геліоустановок для гарячого водопостачання студмістечка університету.

Наукова новизна та основні положення, які виносяться на захист:

1. Встановлено залежності потенціалу сонячної енергії (щільності теплового потоку сумарної сонячної радіації) від характеру хмарності і розрахункового місця розташування об'єктів і кута нахилу колектора по відношенню до сонця.

2. Розроблено узагальнюючий показник (комплексна енергетична характеристика сонячного колектора), який визначається як відношення кількості теплової енергії, фактично виробленої колектором за день до кількості всієї надходить сонячної радіації в площину колектора. Комплексна енергетична характеристика сонячного колектора дозволяє проводити оцінку ефективності застосування сонячних колекторів різних типів;

3. Запропоновано технологічне рішення комбінованої СВНУ, що включає тепловий насос і спеціалізовані акумулятори теплоти для найбільш ефективного застосування геліоустановок в системах теплопостачання.

4. Виконана оцінка техніко-економічних показників сонячних водонагрівальних установок на прикладі гуртожитку №4 студмістечка УДУНТ.

Практична цінність роботи. Розроблена система гарячого водопостачання від сонячних водонагрівальних установок може бути застосована в системах теплопостачання студмістечка університету.

Особистий внесок здобувача. Постановку мети та завдань дослідження виконано спільно з науковим керівником. Здобувачем самостійно проведені розрахунки, зіставлення та аналіз отриманих результатів розрахунків, формулювання висновків.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення роботи і результати досліджень доповідалися здобувачем і обговорювалися на Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології в

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

металургії та машинобудуванні» (16-18 березня 2021 р.) та 81 Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих учених, магістрантів та студентів «Наука і сталий розвиток транспорту» (28 жовтня 2021 р.)

Публікації.

Горячкін В.М, Могилевець В.А. Математичне моделювання теплообміну та переносу теплоти в потоці рідини в циліндричному каналі / В.М Горячкін, В.А. Могилевець // “Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні”: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, 16-18 березня 2021 р. - Дніпро, Дніпровський нац. ун – т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2021.- С. 121-124.

Могилевець В.А. Проект модернізації системи тепlopостачання студмістечка університету з використанням сонячної енергії / В.А. Могилевець // “Наука і сталий розвиток транспорту”: збірник тез доповідей секції 81 Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених, магістрантів та студентів, 28 жовтня 2021 р. - Дніпро, Дніпровський нац. ун – т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2021.- С. 9.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1 СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА

1.1 Визначення, способи отримання, переваги та недоліки сонячної енергетики

Сонячна енергетика – використання сонячної енергії для отримання електричної або теплової енергії у будь-якому зручному для їх застосування вигляді. Сонячна енергетика використовує поновлювальне джерело енергії і в майбутньому може стати екологічно чистою, тобто такою, що не виробляє шкідливих відходів.

Існує декілька способів отримання електрики і тепла з сонячного випромінювання:

- Отримання електроенергії за допомогою фотоелементів. Для цієї мети застосовують кремнієві сонячні батареї, ККД яких досягає 20%. Але вартість отримання чистої кремнії досить велика. Кремнієм, у якому на 10 кг продукту припадає не більше 1 грам домішок, коштує стільки ж, скільки збагаченого урану для електростанцій, хоча запаси останнього в 100 000 разів менше запасу кремнію. У той же час, «хорошого» кремнію у світі добувають в 6 разів менше, ніж такого ж урану. З однієї тонни піску, в якій міститься 500 кг кремнію, отримують 50-90 кг сонячного сільця. При цьому на отримання 1 кг витрачається близько 250 кВт-годин електроенергії. За новою технологією, розробленою німецькою фірмою Siemens ще 1979 року, енерговитрати падають на порядок, а вихід продукту збільшується в 10-15 разів. Вартість отримання кремнію при цьому знижується до 10-15 \$ за кілограм. Простий пісок для цієї технології не підходить. Тут потрібні «особливо чисті кварцити», поклади яких якого пішов 1 кг сонячного кремнію, може дати стільки ж електроенергії, скільки її може бути отримано при використанні 100 т нафти на ТЕС або 1 кг збагаченого урану на АЕС.

При другому методі, на території в кілька тисяч квадратних метрів, встановлюються дзеркала-геліостати, які повертаються вслід за сонцем направляють промені сонячного світла на ємність із теплоприймачем

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

(водою). Вода нагрівається, перетворюється на пару, яка крутить турбіну, а остання обертає генератор струму.

- Геліотермальна енергетика - нагрівання поверхні, що поглинає сонячні промені і подальший розподіл та використання тепла (фокусування сонячного випромінювання на ємності з водою для подальшого використання нагрітої води в опаленні або в парових електрогенераторах).

Сонячну енергію можна використовувати для отримання тепла безпосередньо без перетворення на електричну. Установки, які збирають, зберігають і передають тепло, називаються сонячними колекторами. У цьому випадку, на даху будинку, або з його південної сторони, встановлюється панель, що складається з трубочка, за яким в спеціальний бак-акумулятор подають воду. Сонце нагріває воду в трубах до 60-70 С, яка накопичується в баку, а звідти надходить для обігріву або гарячого водопостачання.

- «Сонячне вітрило» в безповітряному просторі, може перетворити сонячні промені на кінетичну енергію.

- Термоповітряні електростанції (перетворення сонячної енергії в енергію повітряного потоку, що направляється на турбогенератор).

Сонячні аеростатні електростанції (вироблення водяної пари всередині балона повітряного вугілля за рахунок нагрівання сонячним випромінюванням поверхні аеростату, покритті вибірково-поглинаючим покриттям). Перевага - запасу пари в балоні достатньо для роботи електростанцій у темний час доби та хмарної погоди.

До переваг сонячної енергетики належать:

- Загальнодоступність і невичерпність джерела.

у значному обсязі, в основному, знаходяться в Росії.

Такі батареї можна встановити на супутниках, автомобілях, крилах літака, вмонтувати їх елементи в години, калькулятор, ноутбук. Термін їх служби становить 30 років. За цей час елемент, на виготовлення

- Теоретично, повна безпека для навколишнього середовища.

Недоліки сонячної енергетики:

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Фундаментальні проблеми

- Через відносно замалу величини сонячної постійної, для сонячної енергетики потрібне використання великих площ землі під електричні станції (наприклад, для електростанцій потужністю 1 ГВт, це може бути декілька десятків квадратних кілометрів). Проте цей недолік не такий великий, наприклад, гідроенергетика виводить з використання значно більших ділянок землі. До того ж фотоелектричні елементи на великих сонячних електростанціях встановлюються на висоті 1,8-2,5 метра, що дозволяє використовувати землю під електростанцію для сільськогосподарських потреб, наприклад, для випасу худоби.

Проблема знаходження великих площ землі під сонячні електростанції, вирішується в разі застосування сонячних аеростатних електростанцій, придатних як для наземної, так і для морського та для висотного розташування.

- Потік сонячної енергії на поверхні Землі дуже залежить від широти і клімату. У різних місцевостях, середня кількість сонячних днів в році, може дуже сильно відрізнятися.

Технічні проблеми

- Сонячна електростанція не працює вночі і недостатньо ефективно працює в ранкових та вечірніх сутінках. При цьому пік електроспоживання припадає саме на вечірні години. Крім того, потужність електростанції може стрімко й несподівано коливатися через зміни погоди. Для подолання цих недоліків потрібно або використовувати ефективні електричні акумулятори (дотепер це невирішена проблема), або будувати гідроакумуляуючі станції, які теж займають велику територію, або використовувати концепцію водної енергетики, яка також поки далеко від економічної ефективності.

Проблема залежності потужності сонячної електростанції від часу доби і погодних умов вирішується в разі сонячних аеростатних електростанцій.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- Висока ціна сонячних фотоелементів. Ймовірно, з розвитком технології цей недолік подолає. В 1990-2005 рр. ціни на фотоелементи знизилися в середньому на 4% на рік.

- Недостатній ККД сонячних елементів (ймовірно, буде незабаром збільшений).

- Поверхню фотопанелей потрібно очищати від пилу та інших забруднень. За їх площа в декількох квадратних кілометрів, це може викликати утруднення.

- Ефективність фотоелектричних елементів помітно зменшується при їх нагріванні, тому виникає потреба в установці систем охолодження, звичайно водяних.

- З кожним роком експлуатації ефективність фотоелектричних елементів знижується.

Екологічні проблеми

- Незважаючи на екологічну чистоту одержуваної енергії, самі фотоелементи містять отруйні речовини, наприклад свинець, кадмій, галій, миш'як тощо, а їх виробництво споживає велику кількість інших небезпечних речовин. Сучасні фотоелементи мають обмежений термін служби (30-50 років), і масове їх застосування поставить найближчий час складний питання їх переробки.

Останнім часом починає активно розвиватися виробництво тонкоплівкових фотоелементів, в складі яких міститься всього близько 1% кремнію. Завдяки низькому вмісту кремнію тонкоплівкові фотоелементи дешевші у виробництві, але поки мають меншу ефективність. Так, наприклад, у 2005 р. Компанія «Shell» ухвалила рішення зосередитися на виробництві тонкоплівкових елементів, і продала свою справу з виробництва кремнієвих фотоелектричних елементів.

1.2 Потенціал відновлювальних енергоресурсів

Сонце є головним джерелом енергії для потреб Землі. Сонячна енергія є праджерелом усіх джерел енергії, що використовуються людиною

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

(відновлюваних і не відновлюваних). В основі інших існуючих на сьогодні навіть альтернативних енергетичних джерел (наприклад, вітру, води) також є енергія сонця. Кількість енергії, яка досягає поверхні Землі протягом року, у тисячі разів перевищує енергетичні потреби нашого світу. Тому потенціал сонячної енергії на Землі є величезний (табл. 1.1). У структурі загального потенціалу відновлюваних джерел енергії Землі, як видно із табл. 1.1, сонячна енергія займає 91%. Але в структурі економічно доцільного на сьогодні енергетичного відносного потенціалу вона поки що становить всього 17,2%.

Таблиця 1.1- Потенціал сонячної енергії

Вид відновлюваного енергоресурсу	Загальний потенціал, млрд т/рік у.п.	Технічний потенціал, млрд т/рік у.п.	Економічно доцільний потенціал, млрд т/рік у.п.
Променева енергія Сонця	86000,0	5,0	1,0
Теплова енергія морів та океанів	7500,0	1,0	0,1
Енергія вітру	860,0	5,0	1,0
Загальна гідроенергія	6,1	3,0	1,5
Біомаса	40,0	2,6	2,0
Геотермальна енергія	16,0	0,5	0,2
Всього	94422,065	17,1	5,8

1.3 Сонячний колектор. Типи сонячних колекторів

Виділено три основні напрямки досліджень методів використання сонячної енергії:

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

- використання сонячної енергії для виробництва електричної енергії на основі фотоелектричних перетворювачів;
- використання сонячної енергії для виробництва теплової енергії в сонячних колекторах різних конструкцій;
- використання сонячної енергії для когенераційного виробництва електричної та теплової енергії.

Сонячний колектор - пристрій для збору енергії випромінювання Сонця у видимому та інфрачервоному спектрі.

Плаский сонячний колектор приведено на рис. 1.1.



Рисунок 1.1- Плаский сонячний колектор

Складається з елемента, що поглинає сонячне випромінювання, прозорого покриття й термоізолюючого шару. Поглинаючий елемент називається абсорбентом; він з'єднаний з теплопровідною системою. Прозорий елемент звичайно виконується із загартованого скла з низьким вмістом металів.

При відсутності відбору тепла пласкі колектори здатні нагрівати воду до 190-200 ° С. Чим більше енергії випромінювання передається теплоносію, що протікає в колекторі, тим вище його ефективність. Підвищити її можна,

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

застосовуючи спеціальне оптичне покриття, яке не випромінює тепло в інфрачервоному спектрі.

Стандартним рішенням підвищення ефективності колектора стало застосування абсорбера з листової міді з-за її високої теплопровідності, оскільки застосування міді проти алюмінію дає вигоду 4% (хоча теплопровідність алюмінію вдвічі менше, що означає значне перевищення "запасу потужності" по теплопередачі), що незначно в порівнянні з ціною.

Вакуумний сонячний колектор приведено на рис. 1.2.

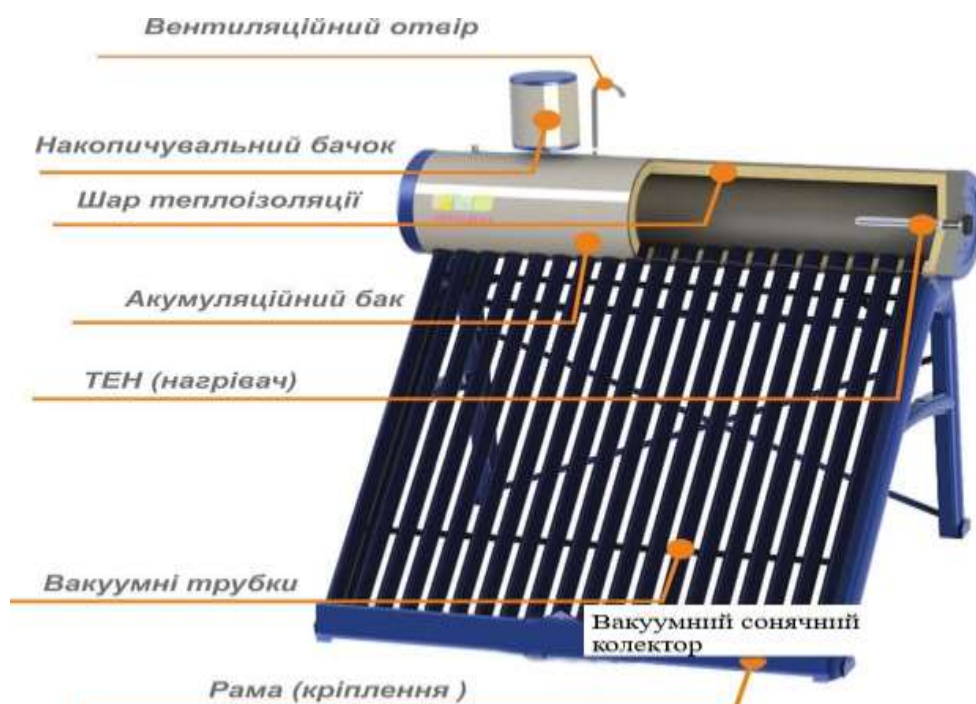


Рисунок 1.2 - Вакуумний сонячний колектор

Можливе підвищення температур теплоносія аж до 250-300 °С в режимі обмеження відбору тепла. Добитися цього можна за рахунок зменшення теплових втрат в результаті використання багат шарового скляного покриття, герметизації або створення в колекторах вакууму.

Фактично сонячна тепла труба має пристрій, схожий з побутовими термосами. Тільки зовнішня частина труби прозора, а на внутрішній трубці нанесено високо селективне покриття для вловлювання сонячної енергії. Між зовнішньою і внутрішньою скляною трубкою знаходиться вакуум. Саме вакуумний прошарок дає можливість зберегти близько 95% зібраної теплової енергії.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Крім того, у вакуумних сонячних колекторах знайшли застосування теплові трубки, які виконують роль провідника тепла. При опроміненні установки сонячним світлом, рідина, що знаходиться в нижній частині трубки, нагріваючись, перетворюється на пару. Пара піднімається у верхню частину трубки (конденсатор), де конденсуючись, передає тепло колектору. Використання даної схеми дозволяє досягти більшого ККД (порівняно з плоскими колекторами) при роботі в умовах низьких температур і слабкої освітленості

Сонячні повітряні колектори

Сонячні повітряні колектори - це прилади, що працюють на енергії Сонця і нагрівають повітря. Сонячні повітряні колектори являють собою найчастіше прості плоскі колектори і використовуються в основному для опалення приміщень, сушіння сільськогосподарської продукції. Повітря проходить через поглинач завдяки природній конвекції або під впливом вентилятора. Оскільки повітря гірше проводить тепло, ніж рідина, він передає поглиначу менше тепла, ніж рідкий теплоносій. У деяких сонячних повітрянагрівачах до поглинаючої пластини приєднані вентилятори, які збільшують турбулентність повітря та поліпшують теплопередачу. Недолік цієї конструкції в тому, що вона витрачає енергію на роботу вентиляторів, таким чином збільшуючи витрати на експлуатацію системи. У холодному кліматі повітря направляється в проміжок між пластиною-поглиначем і утепленою задньою стінкою колектора: таким чином, уникають втрат тепла крізь засклення. Однак, якщо повітря нагрівається не більше, ніж на 17°C вище температури зовнішнього повітря, теплоносій може циркулювати по обидві сторони від пластини-поглиначі без великих втрат ефективності. Основними перевагами повітряних колекторів є їх простота і надійність. Такі колектори мають просту будову. При належному догляді якісний колектор може прослужити 10-20 років, а управління ним досить нескладно. Теплообмінник не потрібний, так як повітря не замерзає. Потенційним способом зниження вартості колекторів є їх інтеграція в стіни чи даху

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

будівель, а також створення колекторів, які можна буде збирати з готових збірних компонентів. Колектори призначені для обігріву приміщень в умовах достатньої сонячної освітленості і при відсутності (або паралельно з ними) інших джерел енергії (таких як газ, електрика, рідке і тверде паливо). Колектори не можуть бути основною системою опалення, так як не забезпечують постійних характеристик, як протягом доби, так і при зміні сезонів року. Однак система може бути інтегрована в будь-яку існуючу систему опалення та вентиляції.

Параболічні концентратори приведено на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 - Параболічний концентратор

Параболічні концентратори мають форму параболоїда обертання. Параболічний відбивач керується за двома координатами при стеженні за сонцем. Енергія сонця фокусується на невеликій площі. Дзеркала відбивають близько 92 % падаючого на них сонячного випромінювання. У фокусі відбивача на кронштейні закріплений двигун Стірлінга, або фотоелектричні елементи. Двигун Стірлінга розташовується таким чином, щоб область нагріву перебувала у фокусі відбивача.

В даний час будуються установки з параболічними концентраторами потужність кВт 9-25. Розробляються побутові установки потужністю 3 кВт. ККД таких систем близько 22-24 %, що вище, ніж у фотоелектричних елементів. Колектори виробляються зі звичайних матеріалів: сталь, мідь, алюміній, і т. д. без використання кремнію «сонячної чистоти». У металургії

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

використовується так званий «металургійний кремній» чистотою 98 %. Для виробництва фотоелектричних елементів використовується кремній «сонячної чистоти», або «сонячної градації» з чистотою 99,9999 %.

Україна може стати світовим лідером в області виробництва сонячних батарей з «сонячного» кремнію. За часів СРСР в Україні було зосереджено понад 80% потужностей для виробництва кремнію, що повністю забезпечувало потреби Союзу.

Запаси сировини для виробництва кремнію в Україні за своїм кількостям не мають аналогів у Європі. Це забезпечує країні в майбутньому провідне місце в світі з виробництва кремнієвих сонячних елементів та електроніки. У найближчому майбутньому Україна зробить відчутний ривок у розвитку кремнієвої галузі, обігнавши, щонайменше за якістю і кількістю Китай, який зараз багато людей помилково вважають лідером у галузі електроніки - але вони тільки збирають деталі, а якісну сировину закупають у розвинених країнах, у тому числі в Україні.

1.4 Застосування сонячних колекторів

Сонячні колектори застосовують для опалення промислових та побутових приміщень, гарячого водопостачання виробничих процесів, побутових потреб. Найбільше кількість виробничих процесів, в яких використовується тепло та гаряча вода (30-90 °C), проходять у харчовій та текстильній промисловості, які таким чином мають найвищий потенціал для використання сонячних колекторів.

У Європі 2000 року загальна площа сонячних колекторів становить 14,89 млн. м², а в усьому світі - 71,341 млн. м². Сонячні колектори-концентратори можуть виробляти електроенергію за допомогою фотоелектричних елементів або двигуна Стірлінга.

Перша ідея створення сонячної електростанції промислового типу була висунута радянським інженером Линицьким у 1930-х роках. Тоді ж була запропонована схема сонячної станції з центральним приймачем на вежі. Вона система захоплення сонячних променів складалася з поля

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

геліостатів - плоских відбивачів, керованих за двома координатами. Кожна геліостат відображає промені сонця на поверхню центральної приймача, який для усунення впливу взаємного затінення піднімається над полем геліостатів. За своїми розмірами і параметрами приймач аналоговий паровий котлу звичайного типу.

Економічні оцінки показали доцільність використання на таких станціях великих турбогенераторів потужністю 100 МВт. Для них типовими параметрами є температура 500 °С і тиск 15 МПа. З урахуванням втрат для забезпечення таких параметрів потрібна концентрація порядку 1000. Така концентрація досягається за допомогою управління геліостатами за двома координатами. Станції повинні мати теплові акумулятори для забезпечення роботи теплової машини при відсутності сонячного випромінювання.

У США з 1982 року було побудовано кілька станцій баштового типу потужністю від 10 до 100 МВт. Докладний економічний аналіз систем цього типу показав, що з урахуванням усіх витрат на спорудження 1 кВт встановленої потужності коштує приблизно 1150 доларів. Одна кВт·год електроенергії коштувала близько 0,15 доларів.

На рис. 1.4 представлена сонячна башта у місті Севілья.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20



Рисунок 1.4-Сонячна башта, Севілья, Іспанія (2007 р.)

1.5 Переваги та недоліки сонячних колекторів

До переваг сонячних колекторів відносяться:

Сонячна генерація в значних масштабах розглядається сьогодні тільки у вигляді способу економії невеликої частини традиційного викопного палива в денний час. Сонячна енергетика поки що не в змозі повністю взяти на себе навантаження в пікові вечірні години енергоспоживання і зменшити кількість та навантаження на АЕС, вугільних, газових і гідроелектростанцій, які в денні години повинні стояти в резерві, а у вечірні брати на себе значне енергетичне навантаження.

Якщо в результаті посилення тарифів (при яких, наприклад, виробникам водню і алюмінію буде вигідно запускати своє електролізне виробництво) в денні години пік споживання електроенергії зміститься на денні години, то в енергії сонця з'являться більш серйозні перспективи для розвитку.

Вартість сонячної генерації, яка є «нерегульована», непорівнянна з вартістю генерації електроенергії на звичайних електростанціях, які можуть вільно генерувати її в будь-який час, коли в цьому є необхідність.

Всупереч поширеній думці про те, що сонячні фотоелектричні перетворювачі (сонячні панелі) не ефективні взимку, можна протиставити безліч фактів.

- Взимку сонячні панелі працюють навіть краще, ніж в осінню похмуру погоду. Викликано це тим, що коли земля вкрита сніговим

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

покровом, частина денного світла відбивається від снігу, тим самим збільшуючи ефективність роботи сонячних систем.

- Сонячні системи мають високу якість, які володіють відповідними сертифікатами, призначені для роботи в різних діапазонах температур від -45°C до +45°C.

-Ще одним аргументом для використання взимку сонячних енергосистем є те, що при зниженні температури, ефективність сонячного модуля трохи зростає. Однак, при великій освітленості влітку, температура не впливає на систему, оскільки сонячний день компенсує мізерні втрати від нагрівання. При охолодженні, як відомо, опір провідників падає, тим самим дозволяючи енергії швидше «крокувати» по дротах і приносити в будинок тепло і світло.

- Останнім часом багато людей оснащують свої будинки системами, що працюють від альтернативних джерел енергії. Великою популярністю серед подібного обладнання користуються геліоколектори для отримання гарячого водопостачання. Використовуючи енергію сонця, вони забезпечують оселю теплом в автономному режимі і дозволяє відмовитись від послуги постачання гарячої води від житлово-комунальних структур.

- Також оснащують будинки обладнанням і для отримання електроенергії, що дозволяє відмовитись від послуг житлово-комунальних структур та бути забезпеченим власною електроенергією.

- Працюючи від безкоштовного невичерпного джерела енергії, сучасні сонячні колектори допомагають заощаджувати кошти на створення умов для комфортного проживання у будинку. До того ж, вони зручні в експлуатації і при правильному обслуговуванні прослужать не одне десятиліття.

До недоліків сонячних колекторів відносяться:

- Сонячні електростанції займають досить великі площі, це пояснюється низьким ККД. Тому для обслуговування міста сонячна електростанція повинна міститись за містом на досить великій території.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Наприклад , для електростанції потужністю 1ГВт це може бути кілька десятків квадратних кілометрів.

- Потужність одного типу станції в різних місцях планети відрізняється. Тому будь де побудувати може бути економічно не вигідним і працюватиме в збиток. Для того, щоб станція працювала на прибуток, потрібно провести дослід, розрахунки. Це займе додатковий час та фінанси.

- Сонячна електростанція має різну ефективність в різний час доби. Найбільш ефективна буде вдень, а найменш ефективна – вночі. Також ефективність змінюється від погоди, що неможливо контролювати.

- Висока початкова ціна.

- Сонячні батареї потребують постійного догляду. Для кращої ефективності їй періодично миють та чистять.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2 ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ ВОДОНАГРІВАЛЬНИХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

2.1 Особливості використання сонячних водонагрівальних установок в системах теплопостачання

Теплопостачання об'єктів в кліматичних умовах України, характерні високі витрати на енергоресурси. При використанні традиційних методів теплопостачання протягом тривалих опалювальних періодів, витрати на споживані енергоресурси майже дворазово перевершує витрати на електропостачання. Порівняно не висока енергетична ефективність, високі витрати на транспортну тарифікацію, і екологічні фактори, супутні використанню звичних систем теплопостачання, призводять до економічної ситуації, в якій необхідно розглядати альтернативні варіанти. Розглядаючи технічну область більш глибоко, можна відзначити, що експлуатація традиційних систем теплопостачання тягне за собою значні термодинамічні втрати, що як наслідок стає причиною зниження експегетичного ККД всієї системи, при використанні хімічної енергії палива. Середнє значення даного показника як правило знаходиться в межах 60 – 70%. Зростають також і експлуатаційні витрати теплових мереж і котелень, які крім цього фактора, є слабким місцем для надійності всієї системи, і як правило є причиною аварійних ситуацій. Загальна протяжність старих та аварійних теплових мереж на початок 2015 року становила 4,8 тис. км, або 18,6% від загальної кількості тепломереж країни. Таким чином, витрати на реконструкцію і підтримку робочого технічного стану теплових мереж рівносильні витрат на будівництво нових локальних котелень.

Перераховані фактори, що враховуються при використанні систем теплопостачання в містах і селищах, змушують розглядати СВНУ в якості альтернативного варіанту для ГВП та опалення.

Розвиток застосування сонячної енергетики супроводжує збільшення чисельності різноманітних архітектур систем даного роду, для покриття навантажень споживання електричної і теплової енергії. При новому

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

будівництві сонячні модулі, вбудовані в фасади і покрівлю, перетворюють сонячну енергію в електричний струм і теплову енергію, що дозволяє економити на теплопостачання будівлі до 60-80% енергії.

При проектуванні енергоефективних будівель необхідно створити систему теплопостачання, економічну як при будівництві, так і в експлуатації. Поставлені завдання вирішуються за рахунок використання утилізації теплоти геотермальних джерел або теплових викидів: тепловий насос, керований через систему автоматизації, постачає будинок тепловою енергією для ГВП, опалення та кондиціонування. У ряді випадків підвищення енергоефективності офісних будівель і соціальних об'єктів за рахунок оснащення геліосистемами і тепловими насосами дозволяє виробляти в літній період енергії більше, ніж споживати.

Сучасні методології проектування і впровадження СВНУ мають досить широке поширення і напрацювання, так само як і найважливіші методи оптимізації. Визначено найбільш перспективні напрямки використання сонячної енергії на основі СВНУ, що застосовуються в системах теплопостачання для опалення та ГВП виробничих, соціальних і житлових об'єктів.

Аналіз сучасних рішень, спрямованих на зниження енергетичних втрат і підвищення ефективності процесів перетворення енергії в геліоустановках показує, що вдосконалення систем теплопостачання на базі СВНУ пов'язано не тільки із застосуванням нових технологій і способів використання сонячної енергії, а й можливістю реалізації різних комбінованих методів генерації та утилізації теплової енергії, розробкою перспективних схем для конструювання систем теплопостачання з тепловими насосами та акумуляторами теплоти, підвищенням рівня автоматизації технологічних процесів.

У той же час подальше вирішення проблем, пов'язаних з оптимізацією сонячних систем теплопостачання, підвищенням техніко-економічних показників СВНУ, неможливо без врахування взаємозв'язку

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

геліюустановок з процесами енергоспоживання та використання різних традиційних джерел теплоти, теплових акумуляторів і теплових насосів. Особливо важливим і актуальним є вдосконалення структури комбінованих систем теплопостачання, що включають СВНУ і інші джерела теплоти, що вимагають високого рівня автоматизації геліюустановок.

Важливим питанням є застосування комплексних геліосистем, що включають теплові насоси і баки-акумулятори, відомих як модульні геліюустановки в системах теплопостачання. Виробництво модульних установок має низку переважних властивостей перед централізованою системою теплопостачання: вони представляють екологічно чисті технології, мають автономність, і, відповідно, високим рівнем надійності. Економічність обумовлена модульністю виконання і наявністю системи автоматичного регулювання параметрів теплоносіїв. Ці властивості є найбільш перспективними для розвитку геліосистем і застосування їх з метою теплопостачання.

Практика показує, що проекти з високою потужністю суттєво виграють у установок малої потужності за показником терміну окупності. Так, при будівництві об'єкта житлового фонду, при тепловому навантаженні в межах 20 кВт на потреби ГВП, впровадження СВНУ окупається за період до 10 років, а при установці системи сонячного теплопостачання, при навантаженні понад 50 кВт, система окупається за 5-6 років. Якщо розглядати віддалені об'єкти, теплофікація яких вкрай скрутна, і логістичні витрати на енергоресурси істотні, або промислові підприємства, з потребою в гарячій воді для виробництва, то термін окупності СВНУ при впровадженні може перебувати в межах 3-4 років.

Для аналітики економічних показників, необхідно враховувати встановлені на даний момент регіональні тарифи на теплову і електричну енергію.

Рекомендовані основні шляхи скорочення енергоспоживання з урахуванням можливостей геліотехніки включають:

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

- підвищення теплової ізоляції огорожувальних конструкцій (стіни, вікна та ін.) За рахунок застосування елементів з вбудованими сонячними колекторами;

- використання пасивних сонячних систем, застосування спеціальних добових і сезонних акумуляторів і масивів для накопичення теплової енергії в поєднанні з СВНУ;

- використання активних сонячних систем (сонячних водонагрівальних установок, сонячних калориферів і т.д.);

- застосування ефективної вентиляції будівель з рекуперацією теплової енергії за рахунок використання повітря-повітряних теплообмінників і теплових насосів;

- утилізацію теплоти стічних вод в системах з поділом каналізаційних потоків і в проміжних накопичувачах стічних вод в дублюючих джерелах теплоти для системи теплопостачання;

- використання геотермальних систем з сезонним (річним) накопиченням теплоти від СВНУ і реверсивних теплових насосів; - конструювання та застосування комбінованих систем теплопостачання з високим ступенем автоматизації, що включають СВНУ, теплові насоси, акумулятори теплоти різного типу, ефективні енергоустановки для резервного тепло та електропостачання.

Області використання СВНУ в цілому значно ширше, ніж розглянута спрямованість застосування геліоустановок як дублюючого джерела тепла в системах теплопостачання. Дослідно СВНУ вже застосовуються:

- у виробничих і сільськогосподарських технологіях при використанні гарячої води з температурою до 80 °С;

- для теплопостачання тепличних комплексів і оранжерей;

- для підігріву води та опалення басейнів;

- як джерело теплоти для адсорбційних холодильних машин систем кондиціонування;

- для обігріву автостоянок, автодоріг і тротуарів в зимовий період;

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

- в установках локального і централізованого теплопостачання для попереднього підігріву додаткової води котелень, особливо при необхідності деаерації теплоносія.

В аспекті широкого застосування СВНУ слід враховувати значний екологічний ефект сонячної енергетики. Сонячна установка з площею колекторів 50 м², заміщаючи котел на твердому паливі, може знизити викиди в атмосферу до 16850 кг CO₂, до 620 кг SO₂, до 60 кг NO₂, до 58600 кг забруднених димових газів, буде знижено споживання атмосферного кисню до 12300 кг, зменшується кількість твердих відходів до 1590 кг золи на рік.

2.2 Основні принципи конструювання комбінованих систем сонячного теплопостачання

Основна мета створюваних установок і систем, що використовують сонячну енергію для ГВП та опалення - забезпечити теплопостачання користувача в повному обсязі при мінімальних витратах, незважаючи на варіабельність надходження ресурсу. Виконання поставленої мети можливо при розробці та створенні комбінованих установок, що використовують різні джерела енергії. Необхідно розрізняти два підходи до вирішення проблем енергопостачання з використанням ВДЕ: створення комбінованих установок, які об'єднують поновлювані джерела енергії і традиційну генерацію, і автономних систем (рис. 2.1).

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

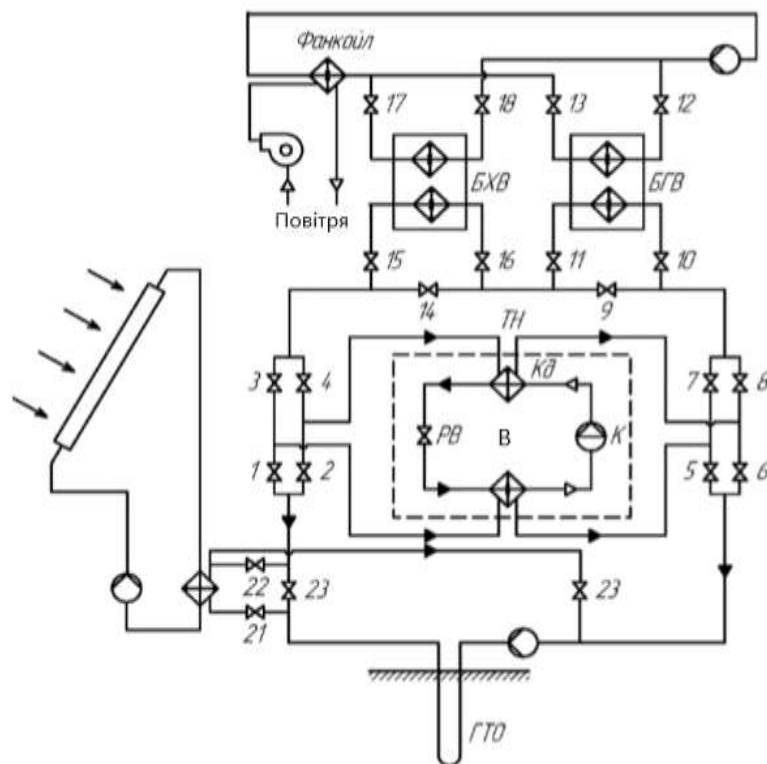


Рисунок 2.1 - Системи енергопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії

Комбіновані системи створюються при наявності і можливості оперативного підключення традиційного джерела енергії. У цих системах теплопостачання забезпечується від СВНУ і при необхідності від дублюючого джерела (електрокотел або котел на органічному паливі). Комбіновані системи створюються для роботи в автономному режимі при використанні тільки ВДЕ і обов'язкову наявність акумулюючих пристроїв електричної і теплової енергії. Електроенергія в цих системах може проводитися або вітроенергетичною установкою, або енергетичною установкою на основі паливного елемента. У зв'язку з непостійністю вітрової енергії в часі електроенергія запасастся в акумулюючих пристроях. Вона використовується на задоволення потреб об'єкта і власних потреб комбінованої системи енергопостачання. Найбільш ефективні системи теплопостачання, якщо тепла енергія виробляється комплексом, що включає СВНУ, тепловий насос, і присутній акумулятор теплової енергії. При сезонному акумулюванні економічно також доцільно застосувати літній кондиціювання повітря в приміщеннях об'єкта, що дозволяє забезпечити комфортні умови в приміщеннях об'єкта і повернути в тепловий акумулятор частина теплової енергії, витратити в опалювальний період. Для дослідження і визначення найбільш ефективних режимів роботи комбінованих геліосистем розроблена схема експериментальної установки для

теплопостачання автономного об'єкта (рис. 2.2). Можливість регулювання витрати в контурах установки і наявність двох баків гарячої та холодної води дозволяє змінювати режими роботи СВНУ з тепловим насосом в широкому діапазоні змінюваних параметрів. Представлена на схемі система опалення і річного кондиціонування повітря з тепловим насосом і ґрунтовим теплообмінником може працювати в двох режимах: в режимі опалення та в режимі літнього кондиціонування повітря. Рекомендується в якості акумулятора теплоти використовувати ґрунтовий масив, в якому пробурені свердловини, в яких розміщені ґрунтові теплообмінники. Надлишок теплоти, що виробляється сонячної водонагрівальної установкою в теплу пору року, надходить в ґрунт і відновлює температуру ґрунту або навіть трохи підвищує її, що забезпечить запас по продуктивності системи опалення при розрядці акумулятора в опалювальний період.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30



ТН - тепловий насос; Кд – конденсатор; В – випарник; К – компресор; РВ - регулюючий вентиль; ГТО - ґрунтовий теплообмінник; БГВ - бак гарячої води; БХВ - бак холодної води; 1-23 - регулюючі клапани.

Рисунок 2.2 - Схема експериментальної СВНУ для системи теплопостачання з тривалим акумулюванням теплоти

У зимовий період часу теплота ґрунту забирається тепловим насосом і використовується для отримання теплової енергії більш високого потенціалу, а в літній час в ґрунт повертається надлишкова тепла енергія, вироблена сонячної водонагрівальної установкою. При розробці комбінованих систем доцільно застосовувати принцип модульності, основні положення якого наступні: - збільшення теплової продуктивності і потужності системи забезпечується набором певної кількості модулів; - кожен модуль може працювати як автономно, так і на загальну систему; - для з'єднання модулів при нарощуванні потужностей в схемі повинні бути передбачені додаткові приєднувальні патрубки, штуцери, фланці і т.п

- система автоматичного контролю, регулювання та управління модулями повинна забезпечувати роботу модулів, як в автономному режимі, так і в загальній системі.

2.3 Методика визначення характеристик сонячних колекторів при конструюванні сонячних водонагрівальних установок

Для того, щоб оцінити ефективність сонячного водонагрівача з сонячним колектором вакуумного типу в залежності від місця установки і пори року проводиться теплоенергетичний розрахунок. Для розрахунку середнього значення теплоти, що отримується колектором протягом одного дня і використовуваного для нагріву теплоносія застосовується залежність:

$$Q_{\text{сд}} = q_{\text{ск}} F_{\text{ск}} \eta_{\text{ск}} ,$$

де $F_{\text{ск}}$ - площа абсорбера сонячного колектора;

$\eta_{\text{ск}}$ - ККД колектора.

Визначається обсяг води $V_{\text{в}}$, що нагрівається сонячним колектором протягом світлового дня до необхідної температури t_1 :

$$V_{\text{в}} = Q_{\text{сд}} / 0,0011 t_1 .$$

При відомому значенні обсягу води, що нагрівається аналогічно розраховується температура нагріву води в баку-акумуляторі СВНУ (без урахування теплових втрат в гідравлічній схемі установки).

Використовуючи експериментальні дані, визначається кількість сонячних колекторів, необхідних для СВНУ з заданим об'ємом теплового акумулятора:

$$N_{\text{к}} = V_{\text{б}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_1 - t_0) / Q_{\text{сд}} ,$$

де $V_{\text{б}}$ - обсяг бака акумулятора;

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

t_0 - початкова температура нагріву води всистемі ГВП.

Часто сонячні колектори розміщуються не в спеціально обладнаних місцях і не під точно вивіреном кутом нахилу до горизонту. Це означає, що кут між площиною сонячного колектора і горизонтом, а також відхилення положення сонячного колектора відносно напрямку на південь можуть бути будь-якими. У такій ситуації табличні дані про надходження сонячної радіації для певного регіону не завжди прийнятні для інженерного розрахунку сонячної енергії системи.

В роботі запропонована методика, що забезпечує розрахунок вироблення теплової енергії сонячним колектором без використання табличних даних про надходження сонячної радіації.

Сонячний тепловий потік, що падає на довільну плоску поверхню дорівнює:

$$Q = Q_{\text{пр}} + Q_{\text{роз}},$$

де $Q_{\text{пр}}$ - пряма складова сонячного теплового потоку;

$Q_{\text{роз}}$ - відбитий і розсіяне сонячне тепловий потік.

Пряме сонячне тепловий потік, що падає на довільну плоску поверхню в загальному випадку визначається формулою

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{макс}} \cdot K_{\text{АМ}} \cdot \cos \theta,$$

де $Q_{\text{макс}} = 1367 \text{ Вт/м}^2$ - сонячна постійна;

θ - кут падіння сонячних променів на довільну поверхню;

$K_{\text{АМ}}$ - коефіцієнт, що враховує поправку на повітряну масу, яку необхідно пройти світловому променю.

Косинус кута падіння сонячних променів може визначається за формулою:

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$\cos\theta = \sin\beta \cdot [\cos\delta \cdot (\sin\varphi \cdot \cos\alpha \cdot \cos\omega + \sin\alpha \cdot \sin\omega) - \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\alpha] + \cos\beta \cdot (\cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin\varphi),$$

де φ – географічна широта місцевості розміщення сонячного колектора;

α - азимутальний кут поверхні сонячного колектора, -кут нахилу площини геліоколектора до горизонтальної площини;

δ -кут відміни Сонця;

ω -часової кут Сонця, пов'язаний з годинниковим часом формулою.

$$\omega = t \cdot \frac{\pi}{12},$$

де t - сонячний час, що вимірюється щодо часу сонячного півдня і виражене в годиннику.

Кут відміни визначається як

$$\delta = 23,45 \cdot \left[\frac{\pi}{365} (284 + D) \right],$$

де D - порядковий номер дня в році.

Коефіцієнт K_{AM} приближено обчислюється за емпіричною залежністю

$$K_{AM} = 1,1254 - 0,1366 \cdot 1/\sin\gamma,$$

де γ - кут положення Сонця над горизонтом в момент часу ω , синус якого визначається за формулою

$$\sin\gamma = \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega.$$

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатково до прямої сонячної радіації на поверхню надходить і розсіяна радіація (небесне світло). Розсіяна радіація на горизонтальну поверхню розраховується за формулою

$$Q_{\text{роз}} = 137,1 - 14,82 \cdot 1/\sin \gamma ,$$

Розрахункова вироблення тепла сонячним колектором визначається виразом

$$Q_{\text{к}} = Q_{\eta} ,$$

$$\eta_{\text{СКП}} = \eta_{\text{ОПТ}} - k_{1\text{П}} \cdot \frac{T_{\text{к}} - T_{\text{в}}}{Q_{\text{с}}} - k_{2\text{П}} \cdot \frac{(T_{\text{к}} - T_{\text{в}})^2}{Q_{\text{с}}} ,$$

де η - теплова ефективність (ККД) сонячного колектора;

$\eta_{\text{ОПТ}}, k_{1\text{П}}, k_{2\text{П}}$ - оптичний ККД і коефіцієнти втрат сонячного колектора (наводяться в паспорті і коригуються після проведення випробувань колектора на стенді);

$T_{\text{в}}$ - температура навколишнього середовища;

$T_{\text{к}}$ - середня температура теплоносія всередині колектора, орієнтовно може бути знайдена за формулою:

- для плоских і проточних трубчастих колекторів

$$T_{\text{к}} = (T_{\text{ВХ}} - T_{\text{ВИХ}})/2 ,$$

– для вакуумних трубчатих колекторів

$$T_{\text{к}} = T_{\text{ВИХ}} ,$$

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

де $T_{ВХ}$ і $T_{ВІХ}$ - температура теплоносія на вході і виході колектора.

Схема усереднених значень теплових втрат з вакуумного колектора приведена на рис. 2.3.

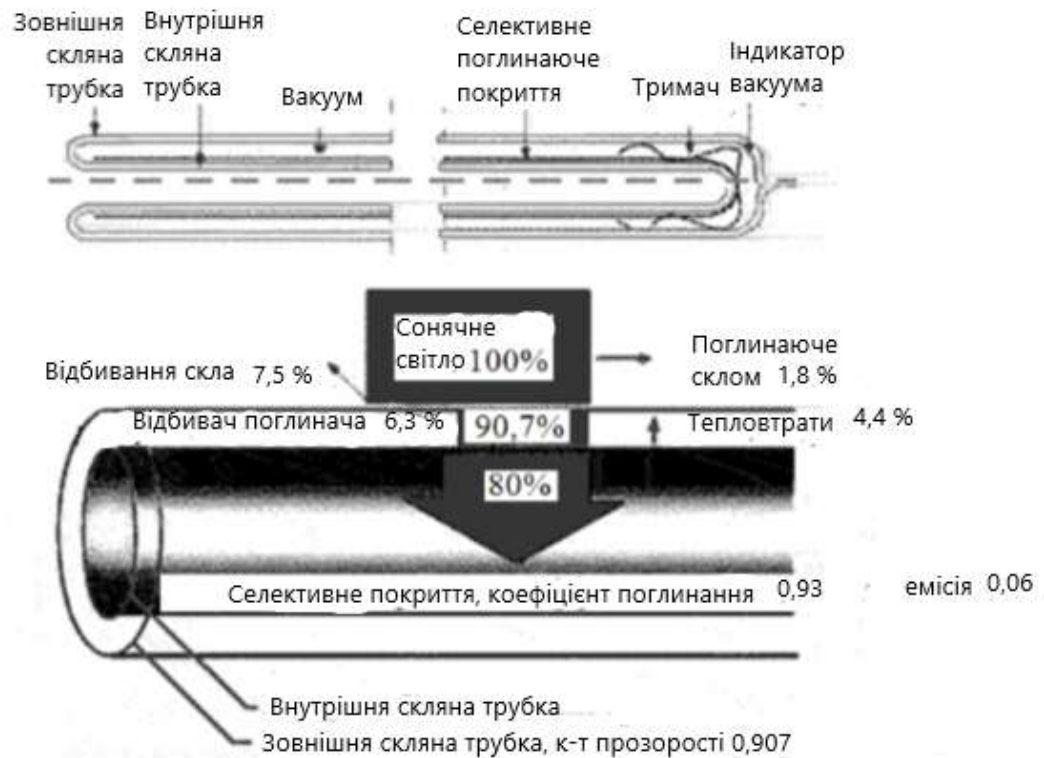
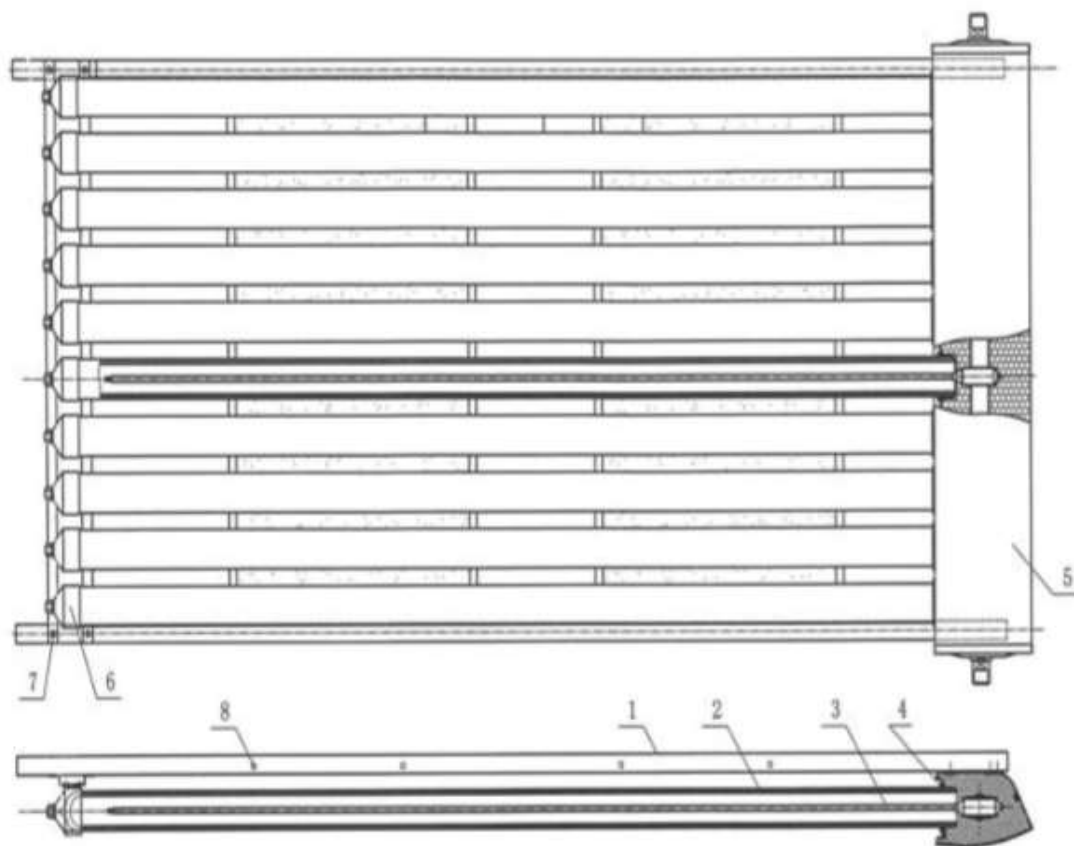


Рисунок 2.3 - Теплові характеристики вакуумного колектора

Структурна схема вакуумного колектора приведена на рис. 2.4.



1 - підставка; 2 - вакуумна трубка; 3 - мідний сердечник; 4 - ущільнення; 5 - маніфольд; 6 - нижнє кріплення; 7 - з'єднувальні болти; 8 - опорна рама.

Рисунок 2.4 - Структурна схема вакуумного колектора

Розрахункові параметри засновані на наступних даних: площаапертури (концентруючого відбивача, розташованого усередині трубки) $0,936 \text{ м}^2$, площа поглинання відбивача і мідного сердечника $0,808 \text{ м}^2$, $\eta_1 = 0,734$; $\eta_2 = 0,850$.

Вакуумним колекторам (рис. 2.4) ES 58-1800-30R характерні наступні технічні параметри: 30 вакуумних трубок; зовнішній діаметр вакуумної трубки дорівнює 58мм; внутрішній діаметр вакуумної трубки дорівнює 47мм; довжина вакуумної трубки становить 1800мм; площа апертури складає $2,791 \text{ м}^2$; площа поглинання становить $2,411 \text{ м}^2$; обсяг теплоносія дорівнює 2,3 л; максимальний тиск - 1МПа; робочий тиск – 6МПа діаметр конденсатора в тепловому осерді - 24 мм; довжина конденсатора в тепловому осерді - 90мм; діапазон робочих температур – від-40 °С до + 300 °С. Складові елементи колектора ES 58-1800-30R: мідний теплообмінник і тепловий сердечник; алюмінієва рама і підставки; поліуретанова теплоізоляція.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

3 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

3.1 Загальна характеристика університету як об'єкта теплопостачання

Український державний університет науки і технологій (УДУНТ) засновано в 1930 році і розташовано в південно-центральної частини країни, в місті Дніпро.

Клімат у зоні розташування – помірно – континентальний. Середня температура опалювального періоду становить $-1,0^{\circ}\text{C}$, температура найхолоднішого місяця $-5,4^{\circ}\text{C}$, розрахункова температура для проектування опалення -23°C , тривалість опалювального періоду 175 діб.

Теплопостачання студмістечка університету, на території якого розташовані навчальні корпуси, спорткомплекс, гуртожитки, їдальня та інші будівлі, відбувається централізовано від котельні, яка також знаходиться на території студмістечка. Для цього від котельні прокладена теплова мережа, від якої теплоносії подається на опалення та гаряче водопостачання будівель. Схеми системи теплопостачання та системи гарячого водопостачання наведені в додатку. В якості теплоносія використовується вода.

В табл. 3.1 наведені загальні характеристики об'єктів тепло споживання.

Таблиця 3.1 – Об'єкти тепло споживання

№	Найменування об'єкту	Рік спорудження	Кількість поверхів	Загальна площа, м^2	Об'єм будівлі, м^3
1	Учбовий корпус(новий)	1955	4	11091	61369
2	Учбовий корпус (старий)	1930	5	35438	176337
3	Прибудова актової зали	1984	4	5564	33865
4	Лабораторія ЕПС	1961	1	357	3487

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Продовження таблиці 3.1

5	Лабораторія зварювальних робіт	1970	3	505	2284
6	Учбово-механічні майстерні	1932	1	703	5121
7	Спортивний корпус	1970	2	2054	14587
8	Лабораторія механіки ґрунтів та центр обіжного моделювання	1946	1	886	4031
		1967	2		
9	Лабораторія теплотехніки	1934	1	410	1350
10	Плавальний басейн	1967	1	339	1901
11	Гуртожиток №1	1931	4	9292	36311
12	Гуртожиток №2	1936	4	10126	43139
13	Гуртожиток № 3	1957	4	4503	17933
14	Гуртожиток № 4	1974	9	6976	27940
15	Гуртожиток № 5	1981	9	10968	43165
16	Центральний матеріальний склад	1967	2	404	1655
17	Матеріальний склад №2(метал.деталей)	1972	1	102	345
18	Матеріальний склад № 3(дрібних деталей)	1973	1	73	441
19	Автогараж	1938	1	1008	7005
20	Їдальня,вт.ч. пекарня	1934	2	3181	17325
21	ГРП	1962	1	32	186
22	Котельня(нова будівля)	1984	2	1254	7774
23	Склад їдальні д/тари	1971	1	30	96
24	Лабораторія теплових двигунів	1938	1	625	30 69

Продовження таблиці 3.1

25	Гараж на 1 автомашину	1982	1	54	215
26	Столярні майстерні	1950	1	393	1487
27	Склад рем.групи	1970	1	34	72
28	Майстерні котельні	1972	1	133	399
29	Неповна середня школа №11	1981	2	1883	9572
30	Центральна котельня (стара будівля)	1934	2	843	5344
31	Насосна станція	1934	1	83	553
32	Житловий буд.№1	1939	3	2192	10243
33	Житловий буд.№2	1988	5	2969	11078
34	Житловий буд.№3	1937	4	2521	11691
35	Житловий буд.№4	1939	4	2438	11660
36	Житловий буд. №5	1955	3	1563	6684
37	Житловий буд. №6	1955	3	1545	6671
38	Житловий буд. №7	1974	5	3659	13615
39	Житловий буд. №9	1963	5	3867	12811
40	Житловий буд. №10	1967	5	5715	20650

3.2 Опалювальне навантаження системи тепlopостачання

Розрахункове навантаження системи опалення будівель для найбільш холодної п'ятиденки визначається за формулою

$$Q_o^p = q_o V (t_{вн} - t_o^p),$$

де q_o – питома опалювальна характеристика, Вт/(м³·К);

V – зовнішній об'єм будівлі, м³;

$t_{вн}$ – усереднена внутрішня температура, °С;

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

t_o^p – розрахункова температура зовнішнього повітря для розрахунку опалювального навантаження, °С.

Питома опалювальна характеристика для будівель з зовнішнім об'ємом більше 3000 м³ збудованих після 1985 року, а також більш утеплених будівель збудованих раніше для районів з зовнішньою розрахунковою температурою для проектування опалення -30 °С може бути орієнтовно розрахована як:

$$q_o = \frac{1,85}{\sqrt[6]{V}} .$$

Для районів з іншою розрахунковою температурою для проектування опалення вводяться поправні коефіцієнти β , представлено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Поправний коефіцієнт β

t_o^p , °С	-10	-20	-30
β	1,3	1,1	1,0

Розрахункове опалювальне навантаження для найбільш холодної п'ятиденки наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахункове опалювальне навантаження для найбільш холодної п'ятиденки

№	Найменування об'єкту	$t_{вн}$, °С	q_o , Вт/(м ³ ·К)	Q_o^p , Вт
1	Учбовий корпус (новий)	18	0,315	793043
2	Учбовий корпус (старий)	18	0,264	1911139
3	Прибудова актової зали	16	0,348	459635
4	Лабораторія ЕПС	18	0,508	72674
5	Лабораторія теплових двигунів	18	0,519	65338

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Продовження таблиці 3.3

6	Лабораторія зварювальних робіт	18	0,545	51080
7	Учбово-механічні майстерні	18	0,477	100107
8	Спортивний корпус	18	0,402	239503
9	Лабораторія механіки ґрунтів та центробіжного моделювання	18	0,496	82006
10	Лабораторія теплотехніки	18	0,595	32957
11	Плавальний басейн	25	0,562	51319
12	Гуртожиток №1	18	0,344	512119
13	Гуртожиток №2	18	0,334	591195
14	Гуртожиток № 3	18	0,387	284479
15	Гуртожиток № 4	18	0,359	411649
16	Гуртожиток № 5	18	0,334	591492
17	Центральний матеріальний склад	18	0,576	39054
18	Матеріальний склад №2(метал.деталей)	18	0,747	10572
19	Матеріальний склад № 3(дрібних деталей)	18	0,717	12972
20	Автогараж	10	0,453	104610
21	Їдальня,вт.ч. пекарня	16	0,389	262934
22	ГРП	18	0,829	6318
23	Котельня(нова будівля)	18	0,445	141756
24	Склад їдальні д/тари	16	0,925	3463
25	Гараж на 1 автомашину	10	0,809	5738
26	Столярні майстерні	18	0,586	35721
27	Склад ремгрупи	18	0,971	2864
28	Майстерні котельні	18	0,730	11934
29	Неповна середня школа №11	20	0,430	176817

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Продовження таблиці 3.3

30	Центральна котельна (стара будівля)	18	0,473	103727
31	Насосна станція	18	0,691	15665
32	Житловий буд.№1	18	0,425	178386
33	Житловий буд.№2	18	0,419	190424
34	Житловий буд.№3	18	0,416	199166
35	Житловий буд.№4	18	0,416	198726
36	Житловий буд. №5	18	0,456	124988
37	Житловий буд. №6	18	0,456	124785
38	Житловий буд. №7	18	0,405	226127
39	Житловий буд. №9	18	0,409	214943
40	Житловий буд.№10	18	0,378	319967
	Сума	-	-	8 948 337

3.3 Навантаження гарячого водопостачання

Витрати тепла на побутове гаряче водопостачання визначаються на основі норм споживання гарячої води ($t=65\text{ }^{\circ}\text{C}$) для житлових будівель, підприємств житлово-комунального призначення, промислових будівель. Ця витрата є нерівномірною протягом доби і тижня.

Розрахункова витрата теплоти на гаряче водопостачання визначається за формулою

$$Q_{\text{гв}} = \frac{q m c \rho (65 - t_{\text{гв}})}{T},$$

де q – добова норма витрати гарячої води на одиницю споживання (визначається за СНіП або іншою нормативними документом), м^3 ;

m – кількість одиниці споживання;

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

c – теплоємність підігріваємої води, Дж/(кг·К);

$t_{хв}$ – температура холодної води (взимку приймається 5 °С, влітку – 15 °С);

T – число годин роботи гарячого водопостачання протягом доби (для житлових будівель $T=24$ год., для підприємств – відповідає кількості годин зарядки баки – акумуляторів), с.

Результати розрахунку витрати тепла на гаряче водопостачання приведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Розрахункова витрати тепла на гаряче водопостачання

№	Найменування об'єкту	Одиниця споживання	Норма витрати гарячої води, л/добу	Кількість одиниць споживання	Витрата тепла, Вт	
					влітку	взимку
1	Учбові корпуса	1 студента та 1 викладач	6	5000	72743	87291
2	Учбово-механічні майстерні	1прилад за зміну	112	2	1086	1303
3	Спортивний корпус	1 фізкультурник	30	500	36371	43645
4	Плавальний басейн	1 спортсмен	60	25	3637	4364
		1 фізкультурник				

Продовження таблиці 3.4

		% місткість басейна на добу	60000		26187	55284
5	Гуртожиток№1	1 житель	50	687	83290	99948
6	Гуртожиток№2	1 житель	50	635	76986	92383
7	Гуртожиток№3	1 житель	50	380	46070	55284
8	Гуртожиток№4	1 житель	80	640	124148	148977
9	Гуртожиток№5	1 житель	80	920	178463	214155
10	Їдальня,вт.ч. пекарня	1 умовна страва	112	6500	176523 1	211827 8
11	Котельня(нова будівля)	1 робітник	1	20	48	58
12	Столярні майстерні	1 прилад за зміну	112	2	45	54
13	Майстерні котельні	1 прилад за зміну	112	2	45	54
14	Дитсадок 26	1 дитина	25	150	9092	10911
15	Насосна станція	1 робітник	11	3	80	96
16	Житловий буд.№1	1 житель	105	36	24441	29330
17	Житловий буд.№2	1 житель	105	85	39717	47661
	Сума	-	-	-	785499	966459

3.4 Особливості експлуатації сонячних вакуумних колекторів в структурі теоретичної гелісистеми

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Установка складається з 33 сонячних колекторів типу ES 58-1800-30R, включених паралельно (5 модулів по 5 колекторів і 2 модуля по 4 колектора), бака-акумулятора, водо-водяних пластинчастих теплообмінників, розширювального мембранного бака, циркуляційних насосів і сполучних трубопроводів. Схема установки триконтурна: контур теплоносія (тосола), контур бака-акумулятора, контур гарячого водопостачання. Всі сонячні колектори працюють на один бак-акумулятор. Бак-акумулятор, застосований в установці, складається з трьох секцій заводського виконання. На виході з кожного модуля сонячних колекторів встановлені термометри для контролю за температурою теплоносія.

У СВНУ застосовані два пластинчастих паяних теплообмінника «ALFA LAVAL». Дані теплообмінники мають високу міцність і надійність (робочий тиск для паяних теплообмінників до 30 кг/см^2 , для розбірних, зі стійкими до тосол ущільненнями, до 14 кг/см^2). Для того, щоб виключити потрапляння теплоносія в систему гарячого водопостачання прийнята схема з проміжним баком-акумулятором. В теплообміннику гарячої води тиск з боку гарячої води (більше 2 кг/см^2), що виключає потрапляння теплоносія з контуру бака-акумулятора (максимальний тиск $0,4 \text{ кг/см}^2$) в системи гарячого водопостачання. На кожному теплообміннику, на вході і виході, встановлені контрольно-вимірювальні прилади (термометри і манометри).

На всмоктуючому і нагнітальному патрубку циркуляційних насосів встановлені манометри і кожного насоса на всмоктуючому і нагнітальному патрубку, встановлені клапана. На циркуляційних насосах, встановлених по два, на нагнітальному трубопроводі, перед кожним насосом, до клапана встановлені лічильники води.

Для підвищення надійності експлуатації СВНУ передбачена установка двох циркуляційних насосів в кожному контурі (один - робочий, другий - резервний). Робочий ресурс застосовуваних насосів (фірми Wilo) становить не менше 10 років. Ємність бака-акумулятора дозволяє

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

накопичувати теплову енергію в кількості, достатній для технічного обслуговування насосів.

Дана сонячна водонагрівальна установка є експериментальною установкою середньої потужності (теплова потужність до 60 кВт). Установка також оснащена контрольно-вимірювальним обладнанням для дистанційного зняття показників системи. Основні технічні характеристики дослідної СВНУ:

Проектна потужність установки - 70 кВт;

Площа сонячних колекторів - 150 м²;

Ємність баку теплоаккумулятора - 10 м³.

3.5 Технологічні рішення для підвищення ефективності роботи сонячних водонагрівальних установок в системах тепlopостачання

Для вибору ефективних режимів роботи в системі тепlopостачання і оптимізації схеми СВНУ з тепловим насосом на основі моделювання теплових процесів розглянуті можливі варіанти модернізації діючої установки з метою визначення необхідних змін гідравлічної, електричної та автоматизованої систем, що забезпечують роботу СВНУ.(рис. 3.1).

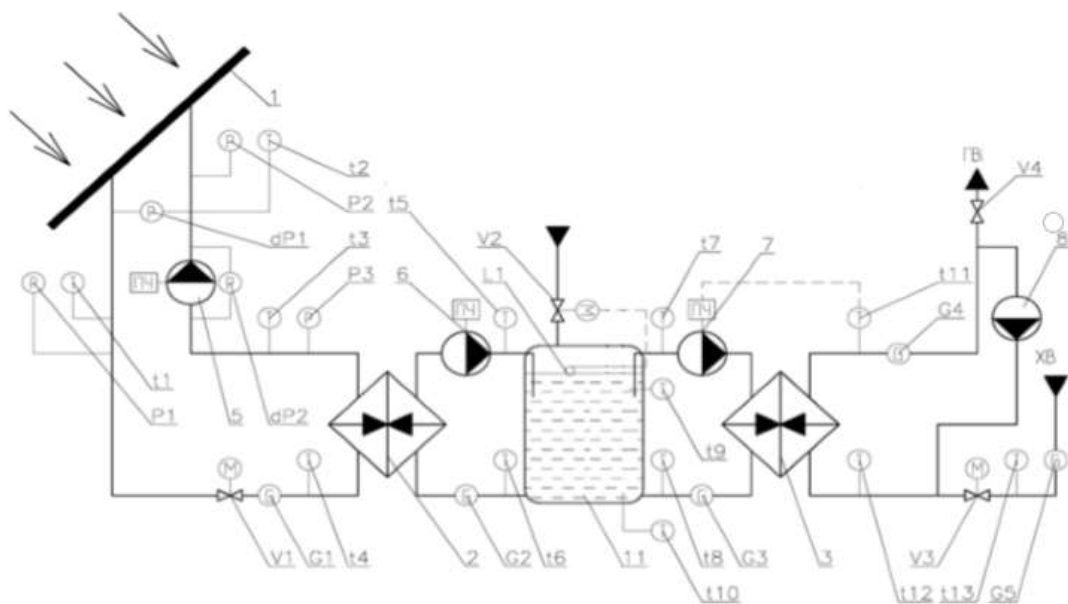


Рисунок 3.1-Схема експериментальної СВНУ з регулюванням витрати теплоносіїв в контурах

До модернізації експериментальна СВНУ експлуатувалася за схемою, представленої на рис. 3.1. Специфікація основних елементів установки приведена в табл. 3.5. Розроблена для використання в умовах низьких температур СВНУ має три контури циркуляції різних теплоносіїв. перший контурвключає в себе сонечние колектори 1 і теплообмінник 2, встановлений в окремому приміщенні. Даний контур виконаний з мідних труб і заповнен теплоносієм, який не замерзає при негативних температурах, а при нагріванні, температура досягає до 105 °С.

Таблиця 3.5 - Специфікація до схеми рисунка 3.1

Позначе ння	Найменування	Кіль кість	Тип	Характерист ики
1	Сонячний колектор	1		
2	Теплообмінник	1	ALFA-LOVAL m6fg	70кВт
3	Теплообмінник	1	ALFA-LOVAL m6- mfg	270кВт
5	Циркуляційний насос	2	wilo-top-s 30/10	300 Вт
6	Циркуляційний насос	2	wilo-top-s 30/10	300 Вт
7	Циркуляційний насос	2	wilo-top-s 40/10	480 Вт
8	Циркуляційний насос	2	wilo-top-s 25/7	195 Вт
11	Бак акумулятор	3		3,5 м ³
t1-t11	Датчик температури	11	PT1000	
P1-P3	Перетворювач тиску	3	MSB 32	
dP1-dP2	Диференціальний датчик тиску	2		
G1-G5	Водомірний лічильник	5	AC-001-50	
V1-V3	Кран шаровий	3	X2777	моторизо ваний
V4	Споживач			
L1	Датчик рівня поплавковий	1	ДУУ2М	

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Теплообмінник 2 першого контуру забезпечує нагрів другого контуру, який в свою чергу призначений для нагрівання води в баках акумуляторах 11. Вода в баках акумуляторах нагрівається до максимальної температури 85 °С. Другий контур, в свою чергу, служить джерелом тепла для нагріву пластинчастого теплообмінника 3 типу М6-MFG, який забезпечує нагрівання холодної води для потреб ГВП об'єкта до температури 60 °С.

Гаряче водопостачання об'єкта забезпечується третім контуром.

СВНУ оснащена комплексом КВП для збору даних про стан кожного контуру системи, і включає: витратоміри, датчики температури і тиску середовища. Регулятор тиску контуру ГВП для забезпечення підживлення контуру ГВП з системи холодного водопостачання працює в автоматичному режимі. При нагріванні води в баку-акумуляторі першого контуру СВНУ до температури 85 °С, спеціальний клапан відключає насос, який створює циркуляцію теплоносія в сонячних колекторах.

До модернізації досліджувана СВНУ мала обмежену теплову потужність (35-40 кВт), обумовлену відсутністю місця для розміщення додаткової кількості сонячних колекторів. Крім цього, обсягу бака-акумулятора спочатку не вистачало для забезпечення рівномірного завантаження сонячного колектора протягом світлового дня. У денний час доби, колектори могли працювати з перевантаженням, не забезпечуючи повноцінну віддачу сприймається енергії для потреб системи ГВП, а збільшення споживання гарячої води у вечірній час доби призводило до швидкого зниження температури води в баку-акумуляторі, що змушувало робити підживлення гарячої води від міської теплофікаційної мережі.

За результатами обстеження об'єкта СВНУ встановлено, що питання оптимізації схеми можна вирішити способами:

- у баку-акумулятора збільшити обсяг - це також дозволить збільшити подачу теплоти в період максимального споживання на гаряче водопостачання;

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

- монтаж сонячних колекторів, додатково встановлених, дозволить збільшити теплову потужність СВНУ, при цьому, для ефективності цього способу необхідно буде також збільшити і обсяг бака-акумулятора;

- підключення теплового насоса для подачі додаткової теплоти в тепловий акумулятор в період максимального теплового навантаження. Для реконструкції теплопостачального комплексу запропонована схема СВНУ з тепловим насосом і акумуляторним баком.

В результаті аналізу структури діючої системи ГВП джерелами теплоти низькотемпературного потенціалу для теплового насоса обрані стічні води з системи ГВП об'єкта і теплота вентиляційних викидів.

При використанні спільно теплового насоса з СВНУ (рис. 3.2) змінена гідравлічна схема установки за рахунок підключення двох циркуляційних контурів. Перший додатковий контур пов'язує бакнакопичувач 12 з тепловим насосом 4 по «низькотемпературній стороні». Другий додатковий контур (високотемпературний) з'єднує тепловий насос 4 з основним баком-акумулятором 11. Накопичувальний бак 12 служить для накопичення низької низькопотенціальної теплоти в період накопичення стічних вод в контурі гарячого водопостачання. Бак повинен бути обладнаний датчиком температури (t14), датчиком рівня рідини (L2) і скідним краном (V5), що спрацьовує в залежності від показань датчика рівня (L2). Теплообмін бака-накопичувача 12 з теплоносієм контуру відбувається опосередковано через змійовик бака. Низькотемпературний циркуляційний контур (бак-накопичувач 12 - тепловий насос 4) повинен бути обладнаний температурними датчиками (t15, t16), необхідними для контролю різниці температур виходу та повернення води. Тепловий насос 4 служить для підвищення температурного потенціалу збрасної теплоти, накопиченої в стічних водах з системи ГВП в баку-накопичувачі 12, до рівня, придатного до використання.

Другий циркуляційний контур (тепловий насос 4 - бакакумулятор 11) потрібен для передачі теплоти з накопичувального бака 12 високого

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

потенціалу акумуляторному баку 11 безпосередньо з теплоносієм, так як порожнини бака-акумулятора 11 і циркуляційного контуру (тепловий насос 4 - бакакумулятор 11) повідомляються. Циркуляційні контури (накопичувальний бак 12 - тепловий насос 4 і тепловий насос 4 - бак-акумулятор 11) обладнані циркуляційними насосами з метою забезпечення необхідної витрати теплоносія.

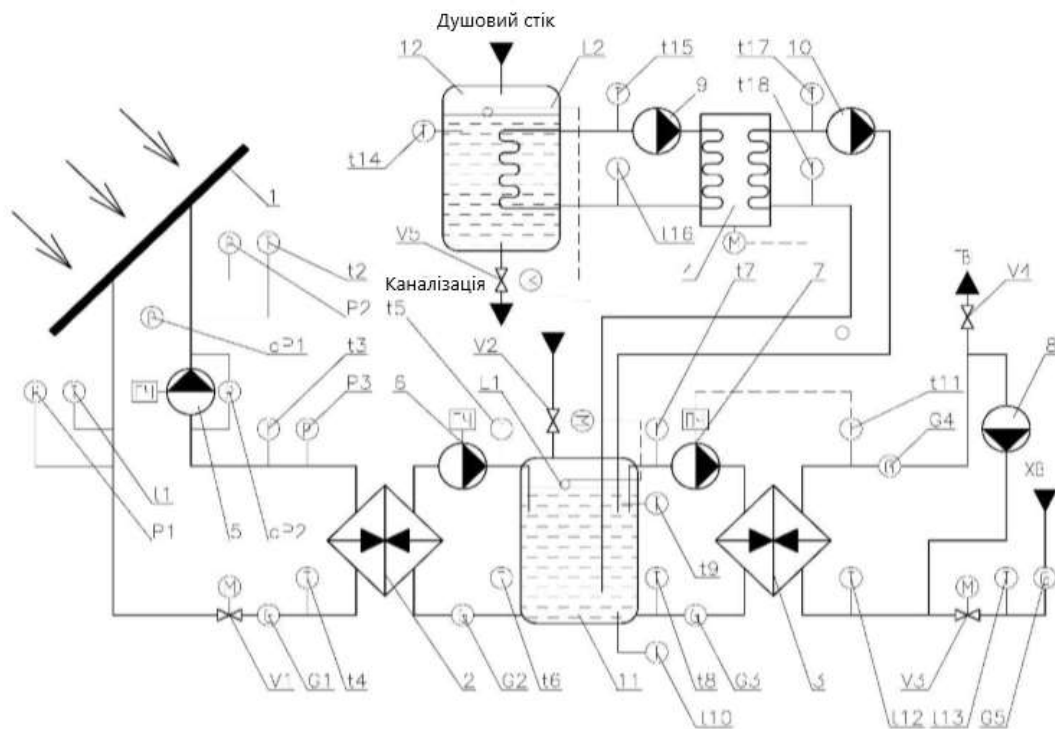


Рисунок 3.2 - Схема сонячної водонагрівальної установки з тепловим насосом, що працює від низькотемпературних джерел теплоти (стоків контуру ГВП)

Специфікація до схеми рисунку приведена в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 - Специфікація до схеми рисунку 3.2

Позначення	Назва	Кількість	Характеристики
12	Бак стоків ГВС	1	5 м ³
4	Тепловий насос	1	12,5 кВт

Вже згадана схема при використанні теплового насоса дозволяє реверсувати теплоту, що подається з акумуляторного бака 11 в контур ГВП.

Однак, при зміні режиму роботи з денного на нічний, в період максимальної генерації теплоти СВНУ 1, перекачування теплоти з баконакопичувача 12 в акумуляторний бак 11 ТН 4 може привести до значного підвищення температури води в баці 11. Після цього передача теплоти від колекторів 1 до акумуляторного баку 11 буде утруднена. Тому, при досягненні певної температури в баці 11, ТН 4 повинен бути відключений. Це викличе часткову втрату потенціалу теплоти стічних вод.

Для розподілу теплового навантаження між СВНУ і ТН ефективним рішенням є установка додаткового буферного акумулятора теплоти (рис. 3.3). У розглянутій схемі вузол ТН виділяється в окрему частину, що включає два циркуляційних контуру: накопичувач стічних вод ГВП 12 з'єднується з тепловим насосом 4, а високотемпературний теплоносій з ТН 4 проходить через змійовик, вбудований в додатковий акумулятор бак 13.

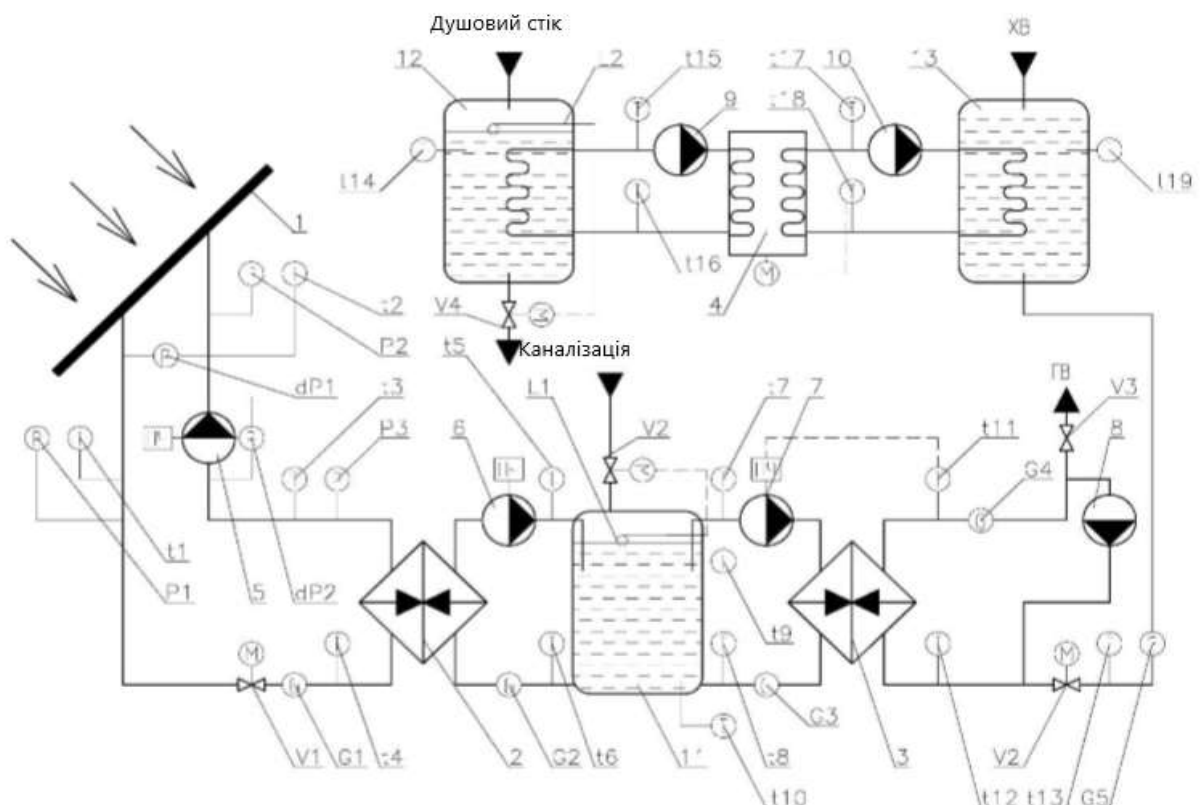


Рисунок 3.3 - Схема теплогенеруючого комплексу з СВНУ, тепловим насосом і буферним акумулятором теплоти

Специфікація до схеми рисунку приведена в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 - Специфікація до схеми рисунку 3.3

Позначення	Назва	Кількість	Характеристики
13	Проточний бак акумулятор	1	3,5 м ³

Можливості отримання теплоти від теплового насоса залежать в основному від запасів енергії в низькотемпературному джерелі теплоти. Для теплового насоса як додатковий (або основний) джерело теплоти низькотемпературного потенціалу пропонується використовувати теплоту повітряних вентиляційних викидів, спрямовуються в атмосферу через вентиляційну шахту об'єкта, приведено на рис. 3.4.

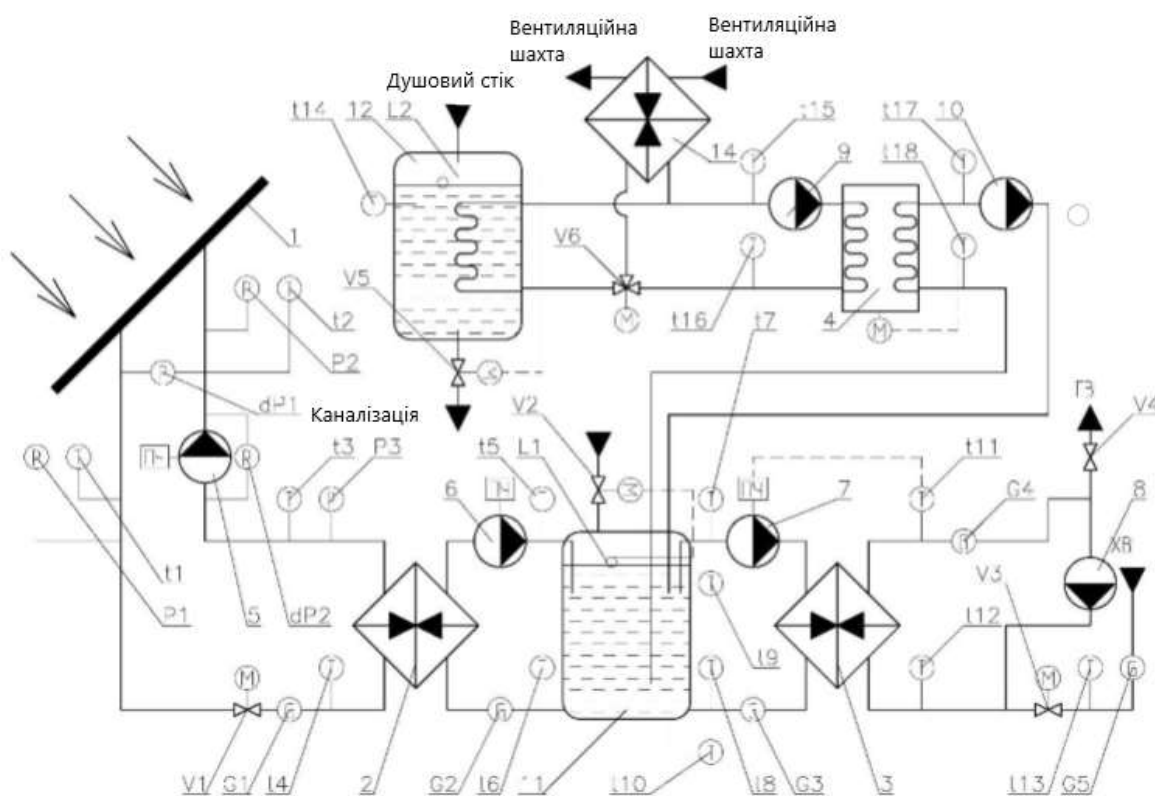


Рисунок 3.4 - Схема сонячної водонагрівальної установки з тепловим насосом і двома низькотемпературними джерелами теплоти

Специфікація до схеми рисунку приведена в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 - Специфікація до схем рисунку 3.4

Позначення	Назва	Кількість	Тип	Характеристики
14	Теплообмінник	1	АВО-50/70	70 кВт

Виходячи зі структури розглянутої схеми (рис. 3.4) необхідна зміна попередніх схем на рис. 3.2 або 3.3, обумовлене додаванням в циркуляційний контур, що включає накопичувальний бак 12 і ТН 4, теплообмінного апарату типу повітря-вода 13. Теплообмінник 13 використовується для відбору теплоти з системи вентиляції теплоносієм на додаток до теплоти, отриманої з накопичувального бака 12 стічних вод системи гарячого водопостачання. Два низькотемпературних джерела можуть бути підключені як послідовно, так і паралельно, в залежності від наявного в них теплового потенціалу.

У схемі на рис. 3.3 забезпечується автономна робота вузла з тепловим насосом. Однак це негативно відбивається на роботі СВНУ. Для забезпечення ефективності теплообміну в теплообмінних апаратах 2 і 3 потрібно застосовувати спеціальний акумулятор 11, який розділений на секції, що працюють при зміні температури теплоносія. Завдання акумуляції додаткової теплоти, що надходить від теплового насоса 4, вирішується шляхом застосування спеціального акумулятора теплоти, який працює за принципом фазового переходу. Така схема представлена на рис. 3.5.

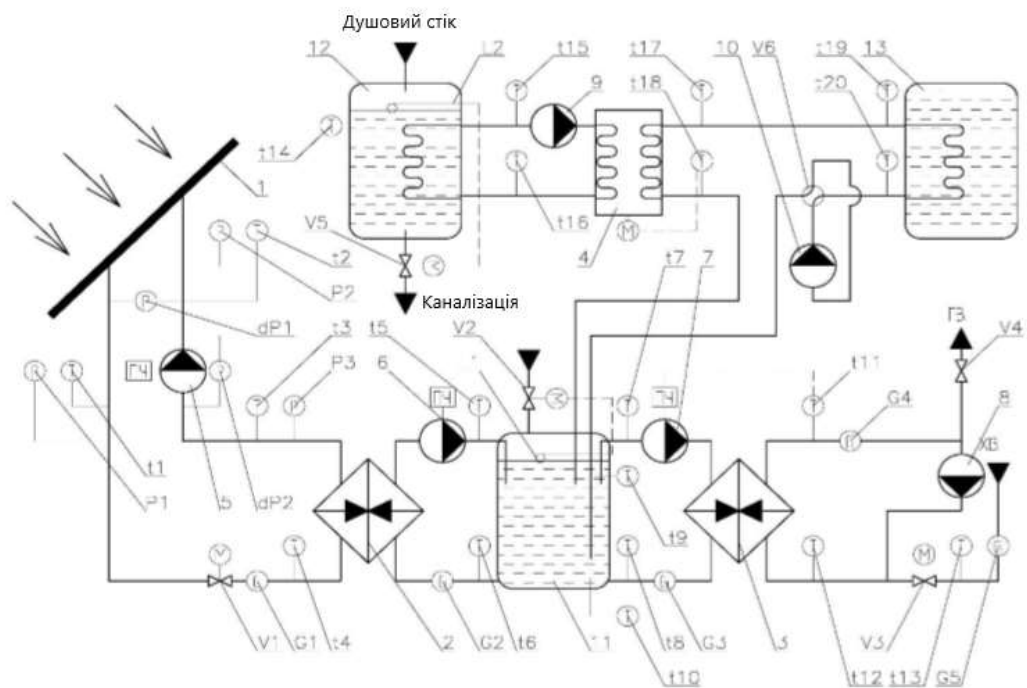


Рисунок 3.5 - Схема теплогенеруючого комплексу з СВНУ при установці теплового насоса і спеціалізованого бака-акумулятора

4 ЗАХОДИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ МОНТАЖІ СОНЯЧНИХ ВОДОНАГРІВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

4.1 Загальні вказівки з безпеки

4.1.1 Небезпека для життя при використанні непридатних систем кріплення

В результаті використання непридатних систем кріплення можливе падіння колекторів.

Це поєднання витримує зусилля, що виникають під дією додаткових вітрових та снігових навантажень.

- Для кріплення колекторів використовуйте винятково рекомендовані системи кріплення.

- Перш ніж приступити до роботи, накрийте плоскі колектори непрозорим матеріалом.

- Для зняття захисного покриття дочекайтесь моменту введення в експлуатацію сонячної установки.

- Виконуйте роботи переважно в ранкові години.

- Одягайте підходящі захисні рукавиці.

4.1.2 Небезпека травмування розбитим склом

Скло колекторів може тріснути в результаті механічних навантажень.

- Одягайте підходящі захисні рукавиці.

- Одягайте підходящі захисні окуляри.

4.1.3 Матеріальні збитки внаслідок використання апарату для миття під тиском

Апарати для миття під тиском можуть спричинити пошкодження колекторів внаслідок дуже високого створюваного ними тиску.

- В жодному разі не мийте колектори за допомогою апарату для миття під тиском.

4.1.4 Матеріальні збитки внаслідок удару блискавки

Удар блискавки може пошкодити систему колекторів.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

- Підключіть систему колекторів у відповідності до діючих приписів до системи захисту від блискавки.

4.1.5 Пошкодження, викликані морозом, у результаті наявності води у геліоконтурі

Залишки води в колекторі можуть під впливом морозу замерзнути і пошкодити колектор.

- Ніколи не заповнюйте і не промивайте колектори водою.
- Заповнюйте й промивайте плоский колектор тільки готовою сумішшю теплоносія.
- Регулярно перевіряйте теплоносій за допомогою тестера захисту від замерзання.

4.1.6 Матеріальні збитки внаслідок використання непридатного інструменту

Використання непридатного інструменту може призвести до пошкодження геліоустановки.

- Використовуйте лише придатний інструмент.
- Використовуйте головним чином інструмент, вказаний в описах етапів роботи.

4.1.7 Небезпека для життя при недостатній несучій здатності даху

Дах з недостатньою несучою здатністю може обвалитися при додатковому навантаженні від сонячних колекторів.

Підвищені зусилля можуть виникати, в першу чергу, під дією вітрового та снігового навантаження, і призводити до обвалу даху.

- Переконайтеся, що спеціаліст зі статики визнав дах придатним для встановлення на ньому колекторів.
- Встановлюйте колектори лише на даху з достатньою несучою здатністю.

4.1.10 Небезпека для життя в результаті падіння деталей **Незакріплені колектори можуть впасти з даху і причинити травми**

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

- Відгородіть достатню площу в зоні можливого падіння під місцем проведення робіт, щоб виключити ймовірність травмування людей падаючими предметами.

- Позначте місця проведення робіт, наприклад, табличками із вказівками відповідно до діючих приписів.

4.1.10 Небезпека травмування і матеріальних збитків у результаті неправильного технічного обслуговування та ремонту

Відмова від технічного обслуговування і ремонту або їх неправильне виконання може призвести до травм або пошкоджень геліоустановки.

- Забезпечте проведення робіт з технічного обслуговування та ремонту лише кваліфікованим спеціалістом.

4.1.11 Небезпека травм при недостатньо надійному закріпленні колекторів

Колектори можуть випасти з анкерних кріплень, якщо вони недостатньо надійно закріплені на даху. У результаті падіння колекторів з даху можуть виникати аварійні ситуації, пов'язані з небезпекою для життя.

- Виконуйте всі етапи робіт у відповідності до цього посібника.
- Дотримуйтеся правил техніки безпеки, описаних у цьому посібнику.
- Крім цього дотримуйтеся всіх правил техніки безпеки, що діють саме у вашому регіоні.

4.1.12 Небезпека опіків об гарячі поверхні колекторів

Температура всередині колекторів під впливом сонячних променів досягає 200°C. При доторканні до колекторів голою рукою можливий опік.

- Уникайте виконання робіт з технічного обслуговування при яскравому сонці.

4.1.13 Небезпека для життя внаслідок ураження електричним струмом

При неправильному встановленні або при ушкодженні силового кабелю трубопроводи можуть перебувати під напругою мережі, що може призвести до травм.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

- Закріпіть хомути для заземлення труби на трубопроводах.
- З'єднайте хомути для заземлення труб мідним кабелем з площею поперечного перерізу жили 16 мм² з шиною вирівнювання потенціалів.

4.1.14 Матеріальні збитки внаслідок перенапруги

Перенапруга може призвести до пошкодження геліоустановки.

- Виконайте заземлення контуру геліоустановки таким чином, щоб забезпечувалося вирівнювання потенціалів і захист від перенапруги.
- Закріпіть хомути для заземлення трубопровод.
- З'єднайте хомути для заземлення труб мідним кабелем з площею поперечного перерізу жили 16 мм² з шиною вирівнювання потенціалів.

4.1.15 Небезпека для життя та матеріальних збитків внаслідок контактної корозії

На дахах з більш благородних металів, ніж алюміній (наприклад, на мідних дахах) може виникнути корозія в місцях анкерних кріплень. Небезпека для людей внаслідок падіння колекторів.

- Для відділення металів один від одного використовуйте відповідні підкладки.

4.1.16 Матеріальні збитки внаслідок сходження снігу з даху

Якщо колекторне поле встановлене під скатом даху, то сповзаючий з даху сніг може пошкодити колектори.

- Встановіть решітку для захисту від сповзання снігу на колектори.

4.1.17 При зберіганні в умовах, що не відповідають чинним вимогам складування, існує ризик пошкодження устаткування

При зберіганні колекторів в умовах приміщень з надмірним рівнем вологи існує ризик їх пошкодження.

- Для запобігання проникненню в колектор вологи постійно зберігайте колектори у сухому, захищеному від погодних умов місці.

4.1.18 Транспортування колекторів

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

- Щоб уникнути пошкодження колекторів, транспортуйте їх завжди в горизонтальному положенні. · Використовуючи підходящі допоміжні засоби, підніміть колектори на дах.

4.2 Використання за призначенням

Неправильне користування або використання не за призначенням може призвести до тілесних ушкоджень або викликати загрозу життю користувача чи сторонньої особи, пошкодити прилад або спричинити інші матеріальні збитки.

Пласкі сонячні колектори призначені для додаткового нагріву систем опалення, а також для підігріву санітарної води за допомогою сонячної енергії.

Колектори дозволяється експлуатувати лише з готовою до використання сумішшю теплоносія. Безпосереднє проходження через колектори води системи опалення або води системи гарячого водопостачання вважається використанням обладнання не за призначенням.

До використання за призначенням належить:

- дотримання вимог з експлуатації, встановлення та технічного обслуговування виробу, а також - інших деталей та вузлів установки
- здійснення встановлення та монтажу згідно з допуском для приладу та системи
- дотримання всіх наведених умов огляду та технічного обслуговування.

Використання виробу на автомобілях, наприклад, пересувних будинках або житлових автомобілях, вважається використанням не за призначенням.

Не вважаються транспортними засобами одиниці, що стаціонарно встановлюються на тривалий період і не мають коліс (так зване стаціонарне встановлення).

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

5 КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК СОНЯЧНИХ ВОДОНАГРІВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

5.1 Особливості застосування теплових насосів і акумуляторів теплоти в структурі сонячних водонагрівальних установок

При використанні СВНУ в системах теплопостачання виникає ряд завдань, пов'язаних з необхідністю залучення до процесу вироблення теплоти додаткових агрегатів, які дублюють геліоустановку в разі тривалої відсутності сонячного випромінювання. В якості таких агрегатів застосовуються найчастіше резервні установки у вигляді електричних котлів або котлів на органічному паливі. Зазвичай в структурі СВНУ є теплові акумулятори різних типів як для добового, так і для більш тривалого накопичення надлишків теплоти. Резервні енергоустановки і теплові акумулятори істотно ускладнюють роботу системи теплопостачання і збільшують вартість теплової енергії, що відпускається споживачам.

Одним з поширених методів оптимізації систем теплопостачання можна вважати використання низькотемпературної (5 – 30 °С) природної теплоти або скидної теплоти за допомогою теплових насосів. Особливо значний вигреш виходить при комбінуванні теплового насоса і сонячної водонагрівальної установки (СВНУ). Використання схем теплопостачання з тепловим насосом є оптимальним рішенням для цілорічних експлуатованих систем сонячного теплопостачання. Невеликі суми приходу сонячної радіації не забезпечують необхідні показники температур теплоносія на виході з сонячних колекторів. В цьому випадку тепловий насос дозволяє підняти температурний потенціал теплоносія з метою його подальшої подачі до споживача або тепловим акумуляторам.

Вибір типу ТН для комбінованої системи теплопостачання. Створені та експлуатовані теплові насоси відрізняються тепловими схемами, видом робочого тіла і складом використовуваного обладнання.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

При роботі системи теплопостачання, що включає СВНУ при зміні температур теплоносія від 10 до 90 °С, найбільш часто використовуються парокомпресійні ТН і абсорбційні ТН.

Вибір джерела теплоти ТН. Підключення до структури СВНУ теплового насоса дозволяє вирішувати ряд важливих завдань:

- ТН перетворює теплоту, одержувану від низькотемпературного джерела, дублюючи СВНУ в період відсутності сонячного випромінювання або недостатньої ефективності роботи сонячних колекторів;

- ТН забезпечує сезонне накопичення теплоти в літній період при зниженому теплового навантаження і віддачу накопиченої теплоти з підвищенням її температурного потенціалу в зимовий період - при максимальних теплових навантаженнях;

- ТН використовує теплоту, яку вироблено сонячними колекторами СВНУ для добового акумулювання теплової енергії, що дозволяє покривати пікові навантаження системи ГВП;

- ТН використовує низькотемпературну скидну теплоту з системи теплопостачання (стічні води, вентиляційні викиди і т.д.), в тому числі при наявності СВНУ, підвищуючи коефіцієнт використання теплової енергії до максимально можливого рівня.

Геотермальні джерела теплоти. До геотермальних джерел теплоти відносяться ґрунтові акумулятори теплоти, артезіанські води, штучні підземні водойми і водо-гравірі підземні акумулятори теплоти. Ці споруди останні 10-15 років широко використовуються як низькотемпературні джерела теплоти для систем опалення та ГВП, оснащеними ТН. Важливим недоліком геотермальних джерел теплоти є значна вартість конструкції ґрунтового теплообмінника або спеціалізованого теплового акумулятора.

Повітряні джерела теплоти. Прийнятним джерелом теплоти для ТН є повітря навколишнього середовища. Наявність у повітрі ряду недоліків вимагає оптимізації системи регенерації теплоти в залежності від місця

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

установки, враховуючи, що температура повітря може значно змінюватися в залежності від сезону і часу доби.

Використання теплових стоків і вентиляційних викидів. Як джерело теплоти для ТН можуть використовуватися теплові викиди об'єкта, такі як, вентиляційні викиди, стічна вода (наприклад, з системи ГВС). Такі фактори як кількість утилізованої теплоти і температурний потенціал стоку значною мірою визначають ефективність використання теплових викидів. Кількість викидної теплоти в стічних водах ГВС може бути еквівалентно добової генерації теплової енергії від СВНУ, а в ряді випадків, перевищувати її. При використанні ТН це дозволяє збільшити теплову продуктивність системи теплопостачання, оснащеної СВНУ в два рази.

Допоміжне джерело теплоти (електричний або газовий котел) включається в роботу тільки в екстремальних кліматичних умовах, або при аварійних ситуаціях, що підвищує економічну ефективність СВНУ з ТН.

Використання схем СВНУ з ТН є оптимальним рішенням для цілорічної експлуатації систем сонячного теплопостачання. Для різних температур джерела теплової енергії, при тривалості опалювального періоду 5000 - 5600 годин в регіонах України, середньорічне значення коефіцієнта трансформації ТН може становити :

температура джерела, °С.....5 10 15 20 25 30 35 40;
середньорічний коефіцієнт трансформації 3,6 4,1 4,6 5,3 5,9, 6,6, 7,2 7,9.

Характеристики парокомпресійних теплових насосів наведені в табл. 5.1. Розглянуті теплові насоси можна використовувати при проектуванні сонячних систем теплопостачання.

Таблиця 5.1 - Характеристики теплових насосів

Назва параметра	Тип теплового насоса				
	ТН-10	ТН-300	ТН-500	ТН-1000	ТН-3000
Теплопродуктивність:					
кВт	12	300	500	1000	2500
Гкал/год	0,01	0,26	0,43	0,86	2,15

Продовження таблиці 5.1

Площа опалювального приміщення, м ²	170	4300	7150	14300	35700
Витрати, м ³ /год					
- води системи опалення	15	25	35	85	140
- води низькопотенціального джерела	30	50	70	165	310
Температура води системи опалення, °С	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70
Електрична потужність, кВт	4	90	150	300	630
Габаритні розміри насоса і окремих агрегатів, м:					
- компресорного агрегату	0,5/1/2	4,5/1,8/1,7	2,8/2,2/1,7	4,0/1,5/2,3	5,2/12/3
- конденсаторно-випарникового агрегату	1/1/2,2	4,6/2,9/2,1	3,9/3,3/2,8	4,9/2,1/1,5	5/1,7/3,3
Маса, т	0,2	4,3	9,7	15	22

У поєднанні з СВНУ при утилізації в ТН теплоти стічних вод або вентиляційних викидів коефіцієнт трансформації може досягати 6 – 7 (рис. 5.1). Реверсивність дозволяє використовувати ТН як для виробництва додаткової теплоти, так і для літнього кондиціонування повітря.

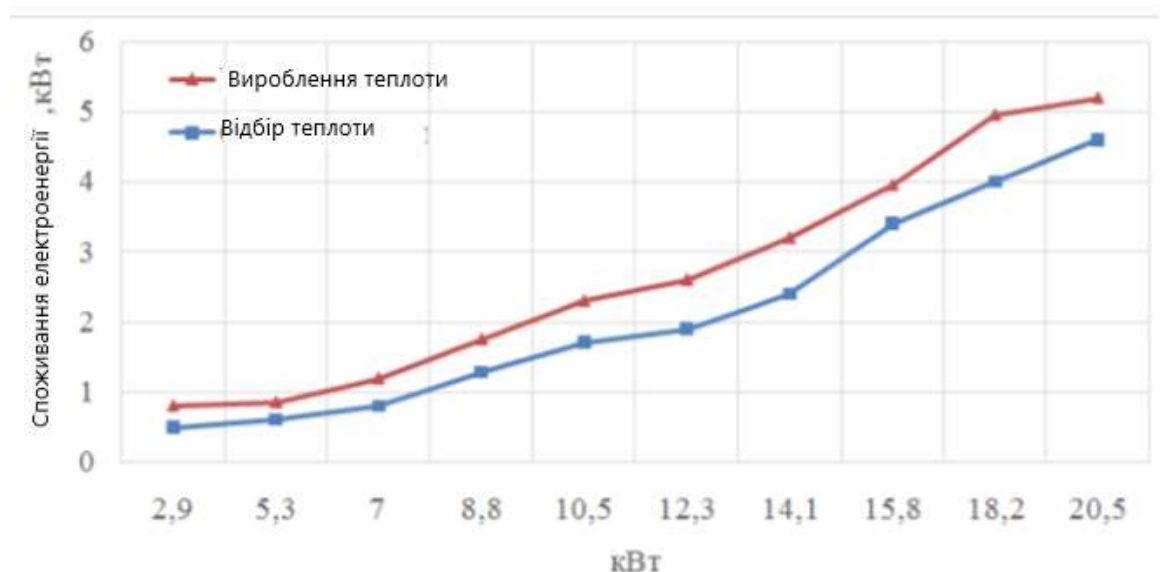


Рисунок 5.1 - Залежність вироблення теплоти і холоду від спожитої потужності для парокомпресійного Тн

На рис. 5.1 представлена залежність вироблення теплоти і холоду від спожитої потужності для парокомпресійного Тн.

Застосування теплових акумуляторів. Основною причиною необхідності акумулювання тепла в системі теплопостачання, що включає СВНУ, є мінливість сонячної радіації. Застосування теплових акумуляторів забезпечує необхідний запас стійкості роботи СВНУ. Теплові акумулятори з обслуговуючими вузлами є необхідною функціональною частиною СВНУ, конструюється у вигляді системи акумулювання теплоти (САТ). Найбільш часто в якості матеріалу для акумулювання теплоти в системах сонячного теплопостачання використовуються баки з гарячою водою, яка має високу теплоємність. Істотною перевагою рідинних систем, що містять бак-акумулятор з водою, є їх сумісність з одноконтурними або двоконтурними СВНУ. Однак в ряді випадків ефективне використання САТ з водяними баками-акумуляторами великого обсягу затруднено з експлуатаційно-технологічних причин або умов безпеки.

У реальному процесі акумулювання тепла щільність енергії, що запасається виявляється істотно нижче теоретичного значення внаслідок втрат тепла, нерівномірності поля температур, втрат при заряді і розряді. Відношення реального і теоретичного значень щільності енергії, що запасається і визначає ефективність теплового акумулятора. Рівняння акумулювання енергії в геліосистемах з акумуляторами теплоти в диференціальній формі має вигляд:

$$(U + PV)_{\text{вх}} \cdot dm_{\text{вх}} + dQ_{\text{ак}} - (U + PV)_{\text{вих}} \cdot dm_{\text{вих}} = d[(U_{\text{ак}} \cdot m_{\text{ак}})] + P_{\text{ак}} \cdot dV_{\text{ак}}, \quad (5.1)$$

де $m_{\text{ак}}$ - маса акумулюючого середовища;

U - внутрішня енергія системи;

$P_{\text{ак}}$ - тиск в акумуляторі;

$V_{\text{ак}}$ - об'єм акумулятора;

$dQ_{\text{ак}}$ - тепло, підведене до САТ.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Аналіз рівняння (5.1) показує, що акумулювання енергії в СВНУ може здійснюватися в результаті зміни питомої внутрішньої енергії, питомої потенційної енергії або маси системи.

При тепловому акумулюванні зазвичай використовуються перший і другий методи, при цьому питома внутрішня енергія теплоакумулюючого матеріалу (ТАМ) завжди вище, ніж у навколишнього середовища. Використовуючи визначення ентальпії, маємо

$$h = U + PV,$$

тоді рівняння енергетичного балансу (5.1) набуває вигляду

$$h_{\text{вх}} \cdot dm_{\text{вх}} - h_{\text{вих}} \cdot dm_{\text{вих}} + dQ_{\text{ак}} = d[(U_{\text{ак}} \cdot m_{\text{ак}})] + P_{\text{ак}} \cdot dV_{\text{ак}}. \quad (5.2)$$

Відповідно баланс маси запишеться як

$$dm_{\text{вх}} - dm_{\text{вих}} = dm_{\text{ак}}.$$

Після інтегрування рівняння (5.2) з урахуванням відомих граничних умов, якщо ентальпія $h = Cp \cdot t$, кількість акумульованої теплоти при відсутності фазових переходів ТАМ можна визначити по залежності:

$$Q_{\text{ак}} = m_{\text{ак}} \cdot Cp \cdot (t_1 - t_2) \cdot \eta_{\text{ак}},$$

де $m_{\text{ак}}$ - маса ТАМ;

Cp - питома теплоємність ТАМ;

t_1, t_2 - температури ТАМ до і після накопичення теплової енергії тепловим акумулятором;

$\eta_{\text{ак}}$ - коефіцієнт теплових втрат.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

З урахуванням теплоти фазового переходу Δh_{ϕ} , який значно перевищує підвищення внутрішньої енергії за рахунок простого нагрівання середовища, акумулювання теплоти значно зростає:

$$Q_{\text{ак}} = m_{\text{ак}} \cdot [Cp \cdot (t_1 - t_2) + \Delta h_{\phi}] \cdot \eta_{\text{ак}}.$$

Кількість ТАМ в тепловому акумуляторі СВНУ може бути знайдено, якщо відома питома теплове вироблення сонячних колекторів та теплового насоса, тоді $q_c + q_{\text{тн}} = Cp \cdot (t_1 - t_2) + \Delta h_{\phi}$ і

$$m_{\text{ак}} = Q_{\text{ак}} / (q_c + q_{\text{тн}}),$$

при цьому $m_{\text{ак}}$ зазвичай розраховується як питома величина (на 1 м² сонячного колектора або 1 кВт продуктивності теплового насоса).

Важливими чинниками при виборі ТАМ і конструюванні акумуляторів теплоти є:

- необхідна кількість ТАМ;
- теплова взаємодія ТАМ з навколишнім середовищем;
- тип і розміри резервуара для акумулюючого середовища;
- застосування спеціальних теплообмінників для передачі або відбору тепла від робочого тіла;
- застосування енерговитратних пристроїв для перемішування теплоносія через акумулятор або теплообмінники;
- робоча температура і тиск в акумуляторі;
- умови безпечної експлуатації СВНУ з САТ.

Застосування різноманітних теплоаккумулюючих матеріалів в теплових акумуляторах вимагає розробки надійних конструктивних рішень, спрямованих на максимальне використання позитивних якостей ТАМ і виключення їх недоліків. При невеликих робочих температурах (до 95°C), що характерно для теплогенеруючої установки СВНУ, ефективне

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

застосування кристалогідратів неорганічних солей. У якості подібних матеріалів рекомендується глауберова сіль, озокерит, хлористий кальцій або парафіни.

Для ефективної роботи важлива не тільки теплоємність, а й теплопровідність ТАМ. Технічно проблема передачі теплоти по всьому об'єму ТАМ вирішується організацією спеціальних каналів для циркуляції теплоносія всередині теплового акумулятора, але таке рішення істотно ускладнює конструкцію, знижує її надійність і енергоємність і вимагає періодичного техобслуговування.

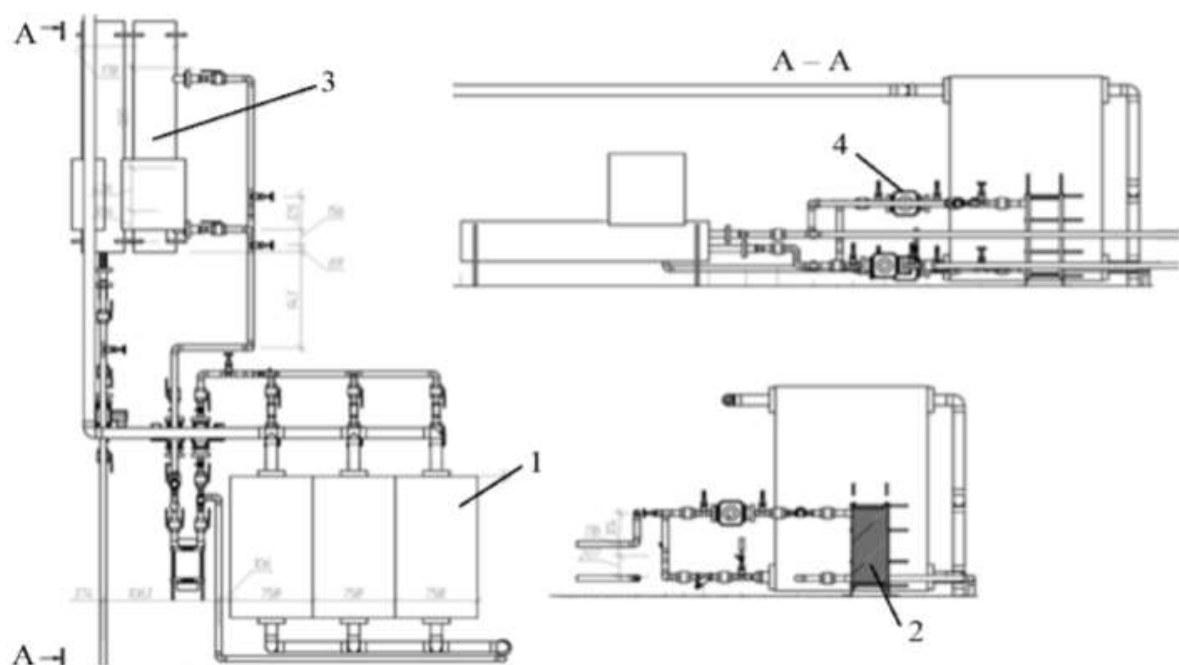
Об'єктом дослідження пристрою для акумуляції тепла з ТАМ в схемі комбінованої СВНУ було вибрано конструктивне рішення, яке включає три ємності, заповнені в певному порядку сферичними капсулами, усередині яких розташовується теплоакумулююча матеріал, зазнає фазове перетворення. Температура фазового переходу обраного ТАМ перебувала в межах зміни робочої температури системи теплопостачання (до 95 °С).

У розглянутій конструкції теплового акумулятора суміщені переваги багатокорпусних рідинних акумуляторів і акумуляторів з фазовим переходом. У відповідності з конструкцією досліджуваної СВНУ до САТ, має бак з трьома робочими секціями для акумуляції теплоти були підключені батарея сонячних колекторів, тепловий насос, електрокотел і теплообмінник системи ГВП (рис.5.2). В процесі роботи СВНУ при змінах температури кожна секція могла підключатися до одного з джерел теплоти і до системи ГВС будівлі.

Дослідження, проведені на дослідній СВНУ з трьохкорпусним тепловим акумулятором показали, що сонячні колектори, які працюють при температурі 60 °С сприймають в 2 рази більше енергії протягом опалювального сезону, ніж колектори, які працюють при температурі 42 °С. Середні температури акумулятора теплоти при цьому досягають 57 і 40 °С відповідно. Корисний температурний діапазон акумулятора може зайняти від 25 до 50 °С. Повна різниця температур досягає 22 °С. Допускається,

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

робота опалювальної системи при низьких температурах теплового акумулятора, проте, при підвищенні температури теплоносія в акумуляторі є можливість збільшити діапазон зміни температур в контурі СВНУ. В такому випадку, корисний температурний діапазон може досягати від 27 до 77 °С. При цьому різниця температур складе 50 °С, в 2 рази перевищує значення даного показника для низькотемпературного акумулятора. Встановлено, що розмір високотемпературного акумулятора може бути в 2 рази менше, ніж габарити низькотемпературного, при однаковій кількості накопичуваної теплоти.



1 - секція бака-акумулятора; 2 - теплообмінники «Alfa-LOVAL»; 3 - тепловий насос GN-L30WH; 4 – КВП.

Рисунок 5.2 - Схеми підключення вузлів СВНУ до баків-акумуляторів локальної системи тепlopостачання.

Застосування пікових і довготривалих теплових акумуляторів спільно з тепловим насосом в схемі комбінованої СВНУ дозволяє використовувати режими реверсування і перерозподілу теплоти, що накопичується в САТ і забезпечити роботу системи тепlopостачання не тільки в режимі ГВП, але і опалення. При високій температурі ТАМ в САТ

будівлю забезпечується теплотою звичайним шляхом, наприклад через радіаційні панелі або фанкойли. При зниженні температури ТАМ в САТ нижче певного рівня ТН підвищує температуру в теплофікаційному контурі, використовуючи залишкову теплоту, акумульовану в САТ.

Крім цього, застосування багатосекційних акумуляторів дозволяє знизити середню температуру теплоносія, що подається в контур сонячних колекторів, що гарантує значне зростання їх теплосприйняття і збільшення ККД всієї системи сонячного теплопостачання.

Додатковий ефект для вдосконалення систем теплопостачання з СВНУ досягнуто за рахунок застосування акумуляторів фазового переходу. Як робоче тіло в акумуляторі фазового переходу використовувався хлорид кальцію $CaCl_2 \cdot 6H_2O$. Експерименти з акумулятором фазового переходу були виконані в період наявності надлишків сонячної енергії, що надходить від колекторів СВНУ. Для передачі теплоти до акумулятора використовувався теплоносій типу етиленгліколь з концентрацією 20%. Його щільність становила 1010 кг/м^3 і питома теплоємність - $4,0 \text{ кДж/кг}$. На водяному баку були змонтовані контрольні термopари для вимірювання температури теплоносія.

Реалізована схема підключення САТ до СВНУ дозволяє накопичувати теплоту в акумуляторі фазового переходу при подачі теплоносія в бак циркуляційним насосом через пластинчастий теплообмінник контуру сонячних колекторів. При включенні циркуляційного насоса контуру ГВП вмикається режим відбору теплоти від акумулятора фазового переходу і передачі енергії в систему ГВП будівлі. На рис. 5.3 наведені результати вимірювання кількості теплової енергії, циклічно запасаної і відданої акумулятором фазового переходу. У контрольних точках акумулятора протягом доби виконані виміри температури (рис. 5.4).

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

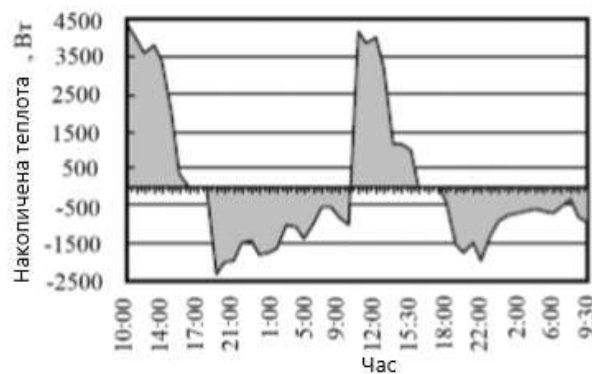


Рисунок 5.3 - Процес накопичення і віддачі тепла акумулятором фазового переходу

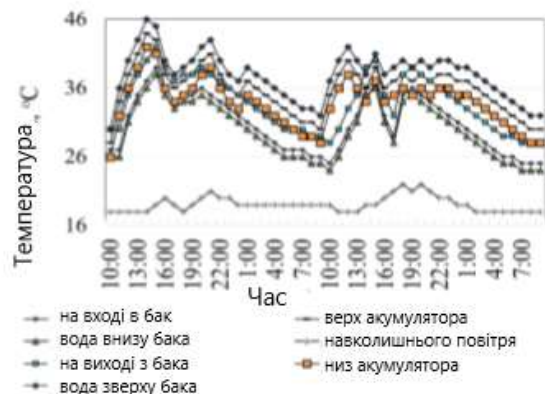


Рисунок 5.4 - Зміна температури в контрольних точках в баку з теплоносієм

З аналізу представлених експериментальних даних можна зробити наступні узагальнення:

- На першій стадії процес акумулювання тепла починається, коли температура теплоносія і солі досягає температури плавлення речовини - тобто його фазового переходу, рівної $28 \sim 32^{\circ}\text{C}$. Це призводить до деякого зниження температури в баку, а потім починається підвищення температури за рахунок сумарної теплоємності акумулятора теплоти. У цій частині процесу, теплота використана в акумуляторі як прихована теплота, необхідна для зміни фазового стану солі. Теплота, необхідна для фазового переходу більше теплоти, що підводиться до баку, тому температура теплоносія в баку знижується;

- Після завершення процесу фазового переходу температура в баці швидко зростає, однак кількість акумульованого тепла менше ніж на першій стадії процесу. У той же період температура теплоносія, що надходить в сонячні колектори, збільшується і його ККД знижується. У цій стадії процесу спостерігається акумулювання теплоти в магістральних лініях і колекторах СВНУ;

- В процесі акумулювання тепла в контурі спостерігається невелика різниця температур. Таким чином, в цьому процесі температурне поле в акумуляторі можна вважати в цілому однорідним;

- Після накопичення теплоти частина капсул з сіллю в акумуляторі фазового переходу плавляться, так як перепад температур в баку швидко знижувався;

- На процес тепловіддачі від теплоносія до капсул солі впливає температурний градієнт в баку. Температура верхньої зони теплоносія в баку на $3 \sim 8$ °C вище ніж в більш низькій зоні, в той час як температура верхньої ділянки сольового блоку на $2 - 4$ °C вище ніж його нижня частина. Коли температура сольових капсул досягає температури переходу фази ($28 \sim 29$ °C), акумулятор фазового переходу віддає приховану теплоту. У цьому режимі температура і теплоносія і речовини фазового переходу залишається постійною;

- Якщо бак підключається до системи теплопостачання, температура гарячої води в системі знижується і теплота, що витрачається на опалення, зменшується. Тому температура теплоносія, що нагрівається в опалювальних пристроях, не залишається постійною.

Аналіз особливостей роботи комбінованих СВНУ спільно з ТН і САТ дозволили розробити додаткові рекомендації при їх застосуванні в системах ГВС будівель:

- стабільне теплопостачання від СВНУ можливо як при наявності сторонніх джерел теплоти і електричної енергії, так і при застосуванні ТН, що використовують теплоту стічних вод і теплоту вентиляційного повітря;

- для оптимізації режиму роботи СВНУ і ТН, система ГВП повинна бути обладнана додатковими баками-акумуляторами для акумуляції надлишків теплоти;

- система ГВП повинна передбачати два температурних рівня акумуляції гарячої води: низькотемпературний забезпечується колекторами

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

СВНУ і тепловими насосами; високотемпературний - електрокотлом, котрі працюють у нічний час доби;

- в якості опалювальних приладів застосовуються сучасні конвектори (переважно з тепловими трубами) або теплі підлоги з регулюванням їх тепловіддачі;

- рекомендується використовувати двотрубну горизонтальну систему водяного опалення з термостатичними вентилями на кожному опалювальному приладі або гребінці на теплій підлозі;

- необхідно використовувати примусову витяжну систему вентиляції з природним припливом через повітрязбірники і утилізацією теплоти видаляемого вентиляційного повітря за допомогою теплового насоса.

5.2 Оцінка техніко-економічних показників сонячних водонагрівальних установок

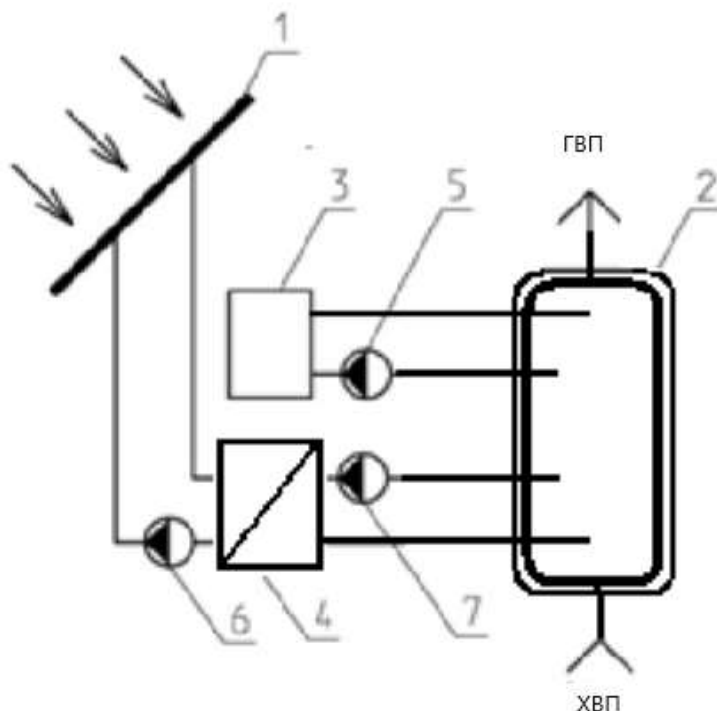
Типові системи централізованого постачання гарячої води в Україні як правило не відрізняються надійністю, а експлуатаційні витрати на підтримку роботи теплових мереж та котелень збільшуються при тривалій експлуатації за рахунок зносу основних вузлів і агрегатів, що вимагає прискореного впровадження нетрадиційних методів енергозабезпечення.

Аналіз роботи діючих на території України геліоустановок показує, що використання геліотехніки для цілей опалення потребує вирішення ряду проблем. Практично значущим і перспективним є застосування СВНУ з метою гарячого водопостачання.

Ефективність використання СВНУ в системах гарячого водопостачання для різних регіонів країни неоднакова. Для обґрунтування застосування СВНУ необхідна оцінка техніко-економічного потенціалу сонячної енергії. При оцінці ТЕП геліоустановок для даного регіону зазвичай встановлюється, що застосування геліотехніки економічно доцільно при заданому рівні цін на викопне паливо, теплову та електричну енергію, обладнання, матеріали, транспортні послуги, і т.д.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Теоретична оцінка ТЕП виконана для гарячого водопостачання гуртожитку №4 УДУНТ, розташованого у м. Дніпро (рис. 5.5).



1 - сонячний колектор; 2 - теплоізолюваний бак; 3 - електричний котел; 4 – теплообмінник; 5-7 - циркуляційні насоси.

Рисунок 5.5 - Принципова схема установки для горячего водоснабжения

Характеристика об'єкта.

Об'єкт являє собою багатоповерховий блочний житловий будинок. Дах будівлі - плоский, експлуатований. Для нагріву гарячої води в якості альтернативного джерела тепла (дублера) застосовується електродкотел.

Тариф на теплову енергію становить 3616,13грн./Гкал або 3,11грн./КВт·год; тариф на електроенергію становить 3,26грн./кВт·год.

Порівняльна оцінка техніко-економічних показників процесу ГВС при застосуванні різних систем тепlopостачання і при заданій тепловому навантаженні наведена в табл. 5.2.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Таблиця 5.2 - Результати розрахунку ТЕП системи ГВП при впровадженні СВНУ на гуртожитку №4 УДУНТ, м. Дніпро

Показник	Розрахункова формула	Результат
Середньодобова витрата гарячої води на ГВС	G_H	10 л/люд
Кількість мешканців	n_m	640 людей
Середньодобова витрата гарячої води на ГВС	$G_{ГВС} = n_m \cdot G_H$	6,4 т
Розрахункова температура гарячої води	$T_{ГВ}$	55 °С
Розрахункова температура холодної води	$T_{ХВ}$	5 °С
Розрахункова кількість теплоти, необхідна для нагріву води за добу	$Q_{ГВС} = 1,2 \cdot G_{ГВС} \cdot C_p \cdot \frac{T_{ГВ} - T_{ХВ}}{3600}$	446 кВт·год
Середні теплові втрати	$Q_{ВТР}$	22.3 кВт·год(5 %)
Річне споживання тепла на ГВП	$Q_P = (Q_{ГВС} + Q_{ВТР}) \cdot 365$	170929,5 кВт·год
		615 ГДж

Розрахунок базових параметрів СВНУ.

Після визначення теплового навантаження об'єкта, проведений розрахунок базових параметрів пропонованої системи теплопостачання з метою встановлення технічної можливості її впровадження, а також оцінки її масо-габаритних характеристик і для визначення заміщаючого потенціалу використовуваного енергоресурсу (в даному випадку, електроенергії, споживаної котлом). Результати розрахунку наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 - Результати розрахунку ТЕП системи ГВП при впровадженні СВНУ на гуртожитку №4 УДУНТ м. Дніпро

Показник	Розрахункова формула	Результат
Площа для розміщення СВНУ	F_y	210 м ²
Площа розміщення 1 колектору	F_k	5,2 м ²
Кількість колекторів	$N_k = F_y / F_k$	40
Ефективна площа 1 колектору	F_{ck}	2,41 м ²
Ефективна площа колекторів СВНУ	$F_c = F_{ck} \cdot N_k$	96,4 м ²
Питома продуктивність колекторів СВНУ	W_k	4,3 кВт·год/м ²
Добове вироблення теплоти колекторами СВНУ	$Q_{CBNU} = F_c \cdot W_k$	414,52 кВт·год
Добове вироблення гарячої води СВНУ	$G_{CBNU} = 3,6 \cdot \frac{Q_{CBNU}}{[Cp \cdot (T_{ГВ} - T_{ХВ})]}$	7,12 т
Об'єм бака-акумулятора	$V_{ak} = K_{ak} \cdot G_{CBNU}$ $K_{ak}=1,25$ - коефіцієнт втрат теплоносія	10 м ³
Річне споживання тепла на ГВП від СВНУ без урахування похмурих днів	$Q_{ГВС} = 365 \cdot Q_{CBNU}$	151300 кВт·год
Річне споживання тепла на ГВП від СВНУ з урахуванням похмурих днів	$Q_c = K_{п} \cdot Q_{ГВС}$	137200 кВт·год

Продовження таблиці 5.3

Коефіцієнт заміщення навантаження системи ГВП при впровадженні СВНУ	$K_3 = (Q_{\text{СВНУ}} \cdot K_{\text{П}}) / Q_{\text{ГВС}}$	0,15
---	---	------

Структура і ТЕП установки. СВНУ складається з трубчастих вакуумних колекторів з загальною площею поглинання слоя 96,4 м² (40 колекторів ES 58-1800-30R), повернутих на південь під кутом 60 градусів до горизонту, бака-акумулятора об'ємом 10 м³, електричного опалювального котла, теплообмінника грюючого контуру, циркуляційних насосів, з'єднувальних трубопроводів. В якості теплоносія в контурі сонячних колекторів застосована водяна суміш пропіленгліколя для роботи в зимову пору року. Сонячні колектори знаходяться на даху будівлі, а тепловий акумулятор - всередині будівлі, в спеціальному приміщенні.

Річне виробництво теплової енергії СВНУ склала 137200 кВт·год/рік (близько 2200 тонн гарячої води в рік), а середньорічне добове вироблення становить близько 7,12 тонн гарячої води на добу. Середнє добове нормативне споживання для гуртожитку становить близько 80 літрів на людину. Встановлена навантаження для підігріву води таким чином заміщується на 15%.

В цілому, СВНУ даного типу можуть забезпечити такі показники, приведені на 1 м² сонячного колектора:

- вироблення теплової енергії: середня 600 - 800 кВт·год/м² на рік (максимальна до 1050 кВт · год / м² на рік);

- економія палива: близько 100 кг у.п./м² (установка з площею сонячних колекторів 30 м² в цілому економить близько 3-х тонн у.п.);

- зниження викидів: 0,6 - 0,7 кг CO₂ на 1 кВт·год виробленої теплової енергії (1 м² сонячного колектора запобігає викид 350 - 730 кг вуглекислого газу в рік).

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Вартість збереженої теплової енергії

$$S_{\text{СВНУ}} = Q_{\text{с}} \cdot \text{Ц}_{\text{те}},$$

де $S_{\text{СВНУ}}$ – вартість виробленої СВНУ теплової енергії, грн;

$\text{Ц}_{\text{те}}$ – ціна споживаної теплової енергії, яка в розрахунках приймалась рівною 3,11 грн/(КВт·год).

Результати розрахунку кількості виробленої СВНУ теплової енергії вартості в результаті впровадження СВНУ та терміну окупності наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4. Економічний ефект від впровадження СВНУ

Вироблена теплова енергія, КВт·год/рік	137200
Вартість виробленої теплової енергії, грн/рік	426692
Вартість обладнання СВНУ, тис. грн	1275
Термін окупності СВНУ, рік	3

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. На основі аналізу конфігурацій схем геліоустановок, використовуваних у вітчизняній і світовій практиці, запропоновані до реалізації комбіновані системи теплопостачання, оснащені СВНУ, реверсивним тепловим насосом і акумуляторами теплоти різного типу для добового і сезонного накопичення теплової енергії;

2. Запропоновано методику визначення характеристик сонячних колекторів вакуумного типу, що дозволяє з високою достовірністю проводити розрахунки основних параметрів першого контуру СВНУ з урахуванням кліматичних і технологічних факторів, що впливають на експлуатацію геліосистем;

3. Виконано оптимізацію схеми теплогенеруючого комплексу в складі дослідної СВНУ, парокомпресійного теплового насоса, (підключеного до двох різних низькотемпературних джерел теплоти) і теплових акумуляторів, задіяних в процесах вирівнювання добового графіка споживання теплоти в системі теплопостачання. Запропоновані технічні рішення дозволяють регенерувати теплову енергію, яка споживається в системі гарячого водопостачання і використовувати тепло вентиляції;

4. Обґрунтовано рекомендації для вибору типу теплового насоса з урахуванням характеристик низькотемпературного джерела теплоти і структури СВНУ, оснащеної вакуумними сонячними колекторами і добовими (або сезонними) акумуляторами теплоти;

5. Проведена техніко-економічна оцінка ефективності застосування СВНУ для гуртожитку №4 студмістечка УДУНТ показала, що їх впровадження потребує порівняно незначних витрат (близько 1275 тис. грн). Термін окупності цих заходів в результаті економії теплової енергії складатиме близько 3 років.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал
2. Алфёров Ж. И., Андреев В. М., Румянцев В. Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики
3. Аббасов, П.А. Оценка потенциала солнечной энергии для разработки энергоэффективных зданий в условиях муссонного климата / П.А. Аббасов, Н.В Гричковская // Архитектура и строительство. - 2006. - №4. - 36 - 44.
4. Асланян Г.С. Финансовые аспекты расширения использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии / Г.С. Асланян, С.Д. Молодцов // Теплоэнергетика. -2001. -№ 2. -С.34-39.
5. Безруких П. П. Научно-техническое и методологическое обоснование ресурсов и направлений использования возобновляемых источников энергии // Дис. на соискание ученой степени доктора т. н., Москва, 2003. 268 с.
6. Бекман, У. Расчет систем солнечного теплоснабжения: Пер. : с англ./ У.Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи.– М.: Энергоиздат, 1982, – 80 с.
7. Бекман, Г. Тепловое аккумулирование энергии / Г. Бекман, П. Гилли. М.: Мир, 1987.-272 с.
8. Берлянд, Т.Г. Климатические исследования режима солнечной радиации для использования их в гелиотехнических целях Текст. / Т.Г. Берлянд // Тр. ГГО. вып.427, 1980. С. 3 55.
9. Бринкворт Б. Солнечная энергия для человека. - М.: Мир, 1976. - 291 с.
10. Буртасенков Д.Г. Повышение эффективности централизованного теплоснабжения путем использования тепловых насосов: автореф. дис. . канд. техн. наук / Кубан. гос. технол. ун-т. Краснодар., 2006. - 24 с.
11. Бутузов В.А. Солнечные коллекторы в России и на Украине: конструкции и технические характеристики// Теплоэнергетика, 2003. № 1. С. 37 – 40.
12. Бутузов В.А. Перспективы применения тепловых насосов / В.А. Бутузов // Промышленная энергетика. - 2005. - № 10. - С. 23-34.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

13. Бутузов В.А., Томаров Г.В., Шетов В.Х. Геотермальная система теплоснабжения с использованием солнечной энергии и тепловых насосов // Пром. энергетика. 2008. - N 9. - С.39-43.

14. Бутузов В.А. Повышение эффективности систем теплоснабжения на основе возобновляемых источников энергии/ Диссерт. докт. техн. наук. — Краснодар, 2004. — 279 с.

15. Бутузов В.А. Гелиоустановки горячего водоснабжения большой производительности // Промышленная энергетика. -2002. -№ 9. -С.44-51.

16. Бутузов В.А. Экономическое обоснование сооружения гелиоустановок // Теплоэнергоэффективные технологии. -2001. -№ 1. -С.37-40.

					02.15.ТЕ2021.РД.2021-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81