

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та природокористування  
Навчально-науковий інститут будівництва та архітектури  
Кафедра теплогазопостачання, вентиляції та санітарної техніки

## Пояснювальна записка

до магістерської роботи

на тему: «Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів»

Виконав: магістрант групи ТГВ – 61м  
спеціальності 192 «Будівництво та  
цивільна інженерія»

|            |                                             |
|------------|---------------------------------------------|
| _____      | _____                                       |
| ( підпис ) | <u>Малий В.П.</u><br>(прізвище та ініціали) |

|                 |            |                                                |
|-----------------|------------|------------------------------------------------|
| Керівник роботи | _____      | _____                                          |
|                 | ( підпис ) | <u>Проценко С.Б.</u><br>(прізвище та ініціали) |

|           |            |                        |
|-----------|------------|------------------------|
| Рецензент | _____      | _____                  |
|           | ( підпис ) | (прізвище та ініціали) |

м. Рівне – 2023 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ  
Кафедра теплогазопостачання, вентиляції та санітарної техніки  
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр  
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
Освітня програма «Теплогазопостачання і вентиляція»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. каф. ТГВ та СТ \_\_\_\_\_ М.Д. Кізеєв  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року

**З А В Д А Н Я  
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Малому Володимиру Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів»

керівник роботи Проценко Сергій Борисович, канд. техн. наук, доцент каф. ТГВ та СТ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом НУВГП С № 681 від «01» листопаду 2023 року

2. Термін подання студентом роботи «15» грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Жилий будинок, що знаходиться в м. Рівне. Необхідно надати альтернативу газовим котлам для ГВП та електрики з мережі. Число мешканців будинку - 146 осіб. Температурний графік ГВП – 60-42°C

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд застосування гібридних сонячних колекторів. 2. Розрахунок гібридних сонячних колекторів та підбір обладнання. 3. Техніко-економічна оцінка застосування гібридних сонячних колекторів. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Оцінка впливу на навколишнє середовище за результатами впровадження PVT колекторів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Актуальність, мета, завдання та методика проведення досліджень. 2. Схема інтеграції PVT колекторів в теплову схему будинку для ГВП. 3. План колекторного поля на покрівлі будинку. 4. Схема колекторного поля на покрівлі будинку з вузлом підключення колектора до трубопроводів. 5. План підключення контуру PVT колекторів до системи ГВП будинку в котельні. 6. Схема підключення контуру PVT колекторів до системи ГВП будинку в котельні з вузлом контролера з вбудованим насосом. 7. План підключення контуру PVT колекторів до системи ГВП будинку в бойлерній. 8. Схема підключення контуру PVT колекторів до системи ГВП будинку в бойлерній з вузлами насосних груп. 9. Специфікація. 10. Схема комутації електромережі з PVT колекторами. 11. Техніко-економічна оцінка застосування PVT колекторів.

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ                          | Прізвище, ініціали та посада консультанта                  | Підпис, дата   |                  |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------|------------------|
|                                 |                                                            | завдання видав | завдання прийняв |
| Наукова та технологічна частина | Проценко С.Б., доц. каф. ТГВ та СТ                         |                |                  |
| Техніко-економічна оцінка       | Кравченко Н.В., доц. каф. ТГВ та СТ                        |                |                  |
| Охорона праці                   | Филипчук В.Л., док. техн. наук, проф., зав. каф. ОП та БЖД |                |                  |
|                                 |                                                            |                |                  |
|                                 |                                                            |                |                  |
|                                 |                                                            |                |                  |
|                                 |                                                            |                |                  |

7. Дата видачі завдання «11» вересня 2023 р. \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів магістерської роботи                                                                     | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1.    | Збір вихідних даних щодо об'єкта досліджень                                                           | 11.09-17.09                   |          |
| 2.    | Аналіз літературних джерел з теми досліджень                                                          | 18.09-24.09                   |          |
| 3.    | Розробка розділу «Огляд застосування гібридних сонячних колекторів»                                   | 25.09-08.10                   |          |
| 4.    | Розробка розділу «Розрахунок гібридних сонячних колекторів та підбір обладнання»                      | 09.10-22.10                   |          |
| 5.    | Розробка розділу «Техніко-економічна оцінка застосування гібридних сонячних колекторів»               | 23.10-05.11                   |          |
| 6.    | Розробка розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»                                  | 06.11-19.11                   |          |
| 7.    | Розробка розділу «Оцінка впливу на навколишнє середовище за результатами впровадження PVT колекторів» | 20.11-03.12                   |          |
| 8.    | Оформлення пояснювальної записки та креслень до магістерської роботи                                  | 04.12-15.12                   |          |
|       |                                                                                                       |                               |          |
|       |                                                                                                       |                               |          |

Студент

\_\_\_\_\_  
( підпис )

Керівник

\_\_\_\_\_  
( підпис )

Малий В.П.  
(прізвище та ініціали)

Проценко С.Б.  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....                                                                   | 4  |
| Анотація.....                                                                                                | 5  |
| ВСТУП.....                                                                                                   | 9  |
| РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ .....                                              | 14 |
| 1.1 Історія PV та PVT технологій .....                                                                       | 14 |
| 1.2 Загальні відомості про PVT колектори.....                                                                | 15 |
| 1.3 Плоскі PVT колектори .....                                                                               | 16 |
| 1.4 Концентруючі PVT колектори .....                                                                         | 17 |
| 1.5 Водяні PVT колектори.....                                                                                | 21 |
| 1.6 Повітряні PVT колектори .....                                                                            | 31 |
| 1.7 Різні конструкції PVT колекторів.....                                                                    | 42 |
| 1.8 Експериментальна робота над гібридними сонячними колекторами .....                                       | 44 |
| 1.9 Засклені та незасклені PVT колектори .....                                                               | 46 |
| 1.10 Майбутній потенціал PVT колекторів .....                                                                | 47 |
| РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ГІБРИДНИХ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ ТА ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ .....                                 | 49 |
| 2.1 Короткий опис об'єкта дослідження та зміст проблем, що пов'язані з гарячим водопостачанням будинку ..... | 49 |
| 2.2 Забезпечення потреб на гаряче водопостачання за рахунок гібридної сонячної установки в Україні.....      | 50 |
| 2.3 Розрахунок сонячної енергії, що надходить на гібридний сонячний колектор у дослідному регіоні .....      | 52 |
| 2.4 Розрахунок кількості мешканців в житловому будинку відносно жилої площі.....                             | 56 |

|           |                |          |        |       |                                                                                                                                                      |                             |       |        |
|-----------|----------------|----------|--------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------|--------|
| .         |                |          |        |       | НУВГП ННІБА ТГВ 03-02-14142482 МР                                                                                                                    |                             |       |        |
| Зм.       | Арк.           | № Докум. | Підпис | Дата  |                                                                                                                                                      |                             |       |        |
| Зав. каф. | Кізеєв М.Д.    |          |        | 12.23 | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Стадія                      | Аркуш | Листів |
| Керівник  | Проценко С.Б.  |          |        | 12.23 |                                                                                                                                                      | Н                           | 1     | 130    |
| Н. Контр. | Проценко С.Б.  |          |        | 12.23 |                                                                                                                                                      | НУВГП ННІБА ТГВ<br>м. Рівне |       |        |
| Рецензент | Кравченко Н.В. |          |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |                             |       |        |
| Студент   | Малий В.П.     |          |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |                             |       |        |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.5 Розрахунок потреби води на гаряче водопостачання споживачів будинку                      | 58  |
| 2.6 Розрахунок та перевірка підбору баків-акумуляторів та теплообмінника                     | 63  |
| 2.7 Підбір, розміщення та розрахунок PVT колекторів .....                                    | 73  |
| 2.8 Підбір PVT колекторів.....                                                               | 74  |
| 2.9 Розміщення PVT колекторів .....                                                          | 76  |
| 2.10 Розрахунок теплової частини системи гібридних сонячних колекторів.                      | 81  |
| 2.11 Розрахунок фотоелектричної частини системи гібридних сонячних колекторів.....           | 85  |
| 2.12 Підбір обладнання для підключення гібридних сонячних колекторів....                     | 89  |
| РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ.....           | 97  |
| 3 Розрахунок техніко-економічної доцільності використання гібридних сонячних колекторів..... | 97  |
| 3.1 Розрахунок капітальних інвестицій .....                                                  | 97  |
| 3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат .....                                                  | 100 |
| 3.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань .....                                            | 100 |
| 3.2.2 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.....             | 102 |
| 3.3 Визначення річної економії від впровадження PVT колекторів.....                          | 103 |
| 3.4 Розрахунок терміну окупності капітальних витрат.....                                     | 105 |
| 3.5 Розрахунок зменшення шкідливих викидів при використанні колекторів .....                 | 105 |
| РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....                              | 108 |
| 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....                                     | 108 |
| 4.1 Загальні стандарти та закони, яких необхідно дотримуватися .....                         | 108 |
| 4.2 Безпека праці при застосуванні електричної енергії.....                                  | 109 |
| 4.3 Безпека праці при експлуатації трубопроводів.....                                        | 110 |
| 4.4 Пожежна безпека.....                                                                     | 112 |
| 4.5 Заземлення та блискавкозахист .....                                                      | 113 |

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 2   |

|                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.6 Розрахунок товщини ізоляції трубопроводу для запобігання опікам .....                                                              | 114 |
| 4.7 Безпека в надзвичайних ситуаціях .....                                                                                             | 116 |
| 4.7.1 Розрахунок страхового внеску.....                                                                                                | 117 |
| 4.7.2 Ліквідація наслідків надзвичайної ситуації після вибуху при аварійній ситуації, а також під час війни в моменти бомбування ..... | 119 |
| РОЗДІЛ 5 ОЦІНКА ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВПРОВАДЖЕННЯ РVT КОЛЕКТОРІВ .....                                      | 122 |
| ВИСНОВОК .....                                                                                                                         | 124 |
| ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА .....                                                                                                           | 126 |
| Додаток А .....                                                                                                                        | 130 |

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 3   |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГВП – гаряче водопостачання;

PVT – фотоелектрична та теплова частини гібридних сонячних колекторів;

НВДЕ – нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії;

МСЕС – міні сонячна електростанція;

НС – надзвичайна ситуація.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 4   |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

## Анотація

Пояснювальна записка магістерської роботи складається з: 130 сторінок, 22 таблиць, 7 графіків, 27 рисунків, 2 фото, 1 монограма, 11 аркушів креслення формату А1, 30 літературних джерел.

У першому розділі проведений огляд літературних джерел з питання застосування гібридних сонячних колекторів. Детально розглянуто їх види, форми конструкцій, а також оглянуто етапи еволюції наукових досліджень PVT колекторів.

У другому розділі зроблено короткий опис об'єкта, що досліджується, та описаний зміст проблем, що пов'язані з гарячим водопостачанням в будинку.

Виконано ряд розрахунків:

1. Розраховано річне надходження сонячної радіації на 1 м<sup>2</sup> PVT колектора в Рівненському регіоні, для розуміння скільки теплового навантаження колектори зможуть передати в систему ГВП.

2. Для отримання уточнювальної інформації щодо мешканців будинку, щоб дізнатися загальний об'єм гарячої води для їх потреб, було проведено розрахунок кількості людей, що проживає відносно жилої площі будинку.

3. Пораховано потреби у воді на гаряче водопостачання для споживачів будинку.

4. Через одну із ряду проблем, пов'язаних з ГВП, при недостатній температурі гарячої води у пікові години, було вирішено перевірити підбір баків – акумуляторів та теплообмінника, які вже встановлені в будинку.

5. Проведений підбір PVT колекторів фірми «DualSun», визначено їх кількість, яку можна розмістити на покрівлі. Проведено розрахунок теплової частини колекторів і визначено відсоток покриття з забезпечення на потреби ГВП будинку. По фотоелектричній частині зведена потужність усіх колекторів та пораховано кількість виробленої енергії.

6. Підібрано обладнання для підключення гібридних сонячних колекторів.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 5   |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



У третьому розділі проведено техніко-економічну оцінку, виконано розрахунки капітальних інвестицій та термін окупності гібридних сонячних колекторів з обладнанням.

У четвертому розділі розглянуто охорону праці та безпеку в надзвичайних ситуаціях. Також проведено два розрахунки: товщини ізоляції трубопроводу для запобігання від опіків та розміру страхового внеску.

У п'ятому розділі описано вплив на навколишнє середовище за результатами впровадження PVT колекторів

На кресленнях А1 наведено теплову схему інтеграції PVT колекторів в систему ГВП будинку, плани компонування обладнання цієї системи, схеми підведення трубопроводів та схеми розміщення колекторів на покрівлі будинку.

Ключові слова: сонячна енергія, PVT колектор, гаряче водопостачання.

### Annotation.

The explanatory note of the master's thesis consists of: 130 pages, 22 tables, 7 graphs, 27 figures, 2 photos, 1 monogram, 11 sheets of A1 format, 30 references.

The first chapter reviews the sources on hybrid solar collectors. Their types, structural forms, and the stages of evolution of PVT collector research are described in detail.

In the second section, a brief description of the object under study is made and the content of the problems associated with hot water supply at home is described.

A number of calculations are performed:

1. We calculated the annual solar radiation intake per 1 m<sup>2</sup> of PVT collector in the Rivne region to understand how much heat load the collectors can transfer to the hot water supply system.

2. To obtain more detailed information on the residents of the building, in order to find out the total volume of hot water for their needs, the number of people living in the building was calculated in relation to the living space.

3. The water demand for hot water supply for the consumers of the building was calculated.

4. Due to one of the problems related to hot water supply, with insufficient hot water temperature during peak hours, it was decided to check the selection of tanks - accumulators and heat exchanger, which are already installed in the house.

5. The selection of PVT collectors by DualSun was carried out, and the number of them that could be placed on the roof was determined. The thermal part of the collectors was calculated and the percentage of coverage for the needs of hot water supply of the house was determined. For the photovoltaic part, the capacity of all collectors was summarized and the amount of energy produced was calculated.

6. Equipment for connecting hybrid solar collectors was selected.

The third section conducts a technical and economic assessment, calculates capital investments and the payback period of hybrid solar collectors with equipment.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 7   |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

The fourth section discusses labor protection and safety in emergency situations. Two calculations are also made: the thickness of the pipeline insulation to prevent burns and the amount of the insurance premium.

The fifth section describes the environmental impact of the PVT collectors implementation.

Drawings A1 show a thermal diagram of the integration of PVT collectors into the hot water system of a house, the layout of the equipment of this system, the piping scheme, and the schemes for placing collectors on the roof of the house.

Keywords: solar energy, PVT collector, hot water supply.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 8   |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

## ВСТУП

У світі з кожним роком дедалі частіше постають та загострюються питання, що пов'язані з дефіцитом паливно-енергетичних ресурсів та подальшими шляхами розвитку енергетики.

Для економіки України, яка базується на великому обсязі імпорту енергоносіїв, проблеми ефективності використання традиційних джерел енергії стоять ще гостріше, ніж у світі чи країнах ЄС. Причинами цього є застарілі технології, вичерпання ресурсу використання основних фондів генерації електроенергії та теплоти, а також їх значні втрати при транспортуванні, розподілі й використанні. В свою чергу, монопольна залежність від імпорту енергоносіїв ще більше ускладнює ситуацію на енергетичних ринках країни. Це призводить до зростання вартості виробництва електроенергії на теплових та атомних електричних станціях. Актуальною також залишається проблема вдосконалення енерго- та ресурсозаощаджувальних технологій. Крім того, енергетичні об'єкти є значним джерелом забруднення атмосферного повітря, що стимулює дослідження, спрямовані на розробку прогресивних екологічно безпечних енерготехнологій. Тим більше, що відповідно до Паризької угоди 2015 року, держави-учасниці всесвітнього саміту з питань клімату, куди входить і Україна, зобов'язані зменшити викиди CO<sub>2</sub>. Уряд України поставив за ціль скоротити викиди парникових газів на 65% до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року, а це сприяє інтенсивному розвитку впровадження технологій та заходів з відновлюваних джерел енергії. Зважаючи на актуальність питання зменшення витрат коштів на енергоресурси та ліквідацію негативних екологічних наслідків за використання традиційних джерел енергії, Європейський Союз ініціював збільшення частки розвитку відновлюваних джерел енергії, прийнявши низку рішень, що є обов'язковими до виконання. Такий напрямок розвитку забезпечить зменшення енергетичної залежності економіки України від постачання викопних паливних ресурсів з-за кордону (як відомо, Україна лише на половину може забезпечити потреби в паливі користуючись своїми національними ресурсами).

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 9   |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Особливо дуже гостру залежність та нестачу газу, електрики та нафтопереробної продукції ми відчули з початком повномасштабної війни Росії проти України, яка розпочалась 24 лютого 2022 р., коли наші електропідстанції, Каховську ГЕС, нафто- та газосховища ворог бомбив та нищив. Ми в одну мить стали заручниками відсутності цивілізаційних благ, залишившись без води, тепла, світла та деяких видів транспорту, як способу пересування.

На превеликий жаль, війна в Україні триває. Ворог і надалі намагається знищити ще вцілілі залишки критичної інфраструктури. Тому використання та перехід на нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії (надалі – НВДЕ) можна розглядати, як один із найбільш перспективних шляхів розв'язання проблем енергозабезпечення. Тим більше, що визначальними перевагами НВДЕ є наявність їх невичерпної ресурсної бази та екологічної чистоти, а сучасні тенденції в галузі енергетики та зміни нормативно-правової бази в галузі архітектури та будівництва зумовлюють появу нових завдань щодо підвищення ефективності використання сонячної енергії для потреб енергопостачання будівель.

Актуальним напрямком удосконалення систем сонячного енергопостачання з активним (наявність сонячних колекторів) чи пасивним (конструктивними елементами будинку) перетворенням сонячної енергії в теплову чи електричну є суміщення сонце поглинальних поверхонь теплових та фотоелектричних сонячних колекторів із зовнішньою конструкцією будівлі.

Зважаючи на вище написане, ефективним способом може бути використання інтегрованих у будівлі систем енергопостачання для перетворення надмірних потоків сонячної радіації у теплову та електричну енергію. Як наслідок, інтеграція сонячних колекторів в систему будівлі та споруд є актуальним об'єктом для дослідження.

Проходивши науково-дослідну практику в будівельній компанії, я став учасником робочого процесу будівництва житлового комплексу, де мою увагу привернув один із будинків, в якому вже проживають люди, та у яких є ряд реальних проблем (зі слів управлінської компанії та співвласників будинку), що

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 10  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

пов'язані із системою ГВП:

➤ у пікові години розбору вода не встигає прогріватися до потрібних температурних норм у 55°C;

➤ у зв'язку з блекаутами світла були перебої в роботі котельні. Управлінська компанія тимчасово розв'язала питання зі стабільністю електропостачання, поставивши дизельного генератора, але це спричинило ще ряд додаткових проблем:

- додаткові видатки на підключення генератора та купівлю пального;
- пошук людини для майже постійного контролю за генератором;
- сторонній шум від роботи самого генератора, що заважає жителям будинку та сусідам;

- негативний вплив на здоров'я людей, які скаржилися на вихлопні гази, що час від часу задувало вітром у найближче розташовані вікна;

➤ висока ціна за куб гарячої води. В жителів будинку є бажання знайти альтернативу природному газу.

Критично осмисливши наявні проблеми, врахувавши особливості об'єкта, вважаю, що розв'язанням даних проблем може бути інтеграція в наявну систему гібридних сонячних колекторів. Це одразу розв'яже питання енергетичної незалежності котельні, а також підвищить продуктивність та ефективність системи автономного теплопостачання житлового будинку, що за собою тягне в подальшій перспективі економію коштів при комбінації традиційних та нетрадиційних джерел енергії.

*Актуальність теми.* Зростаючий інтерес у всьому світі до нетрадиційних джерел енергії. Підвищення ефективності системи ГВП шляхом впровадження PVT колекторів для зниження матеріальних і трудових затрат. Принцип енергозаощадження та раціонального використання енергоресурсів.

*Мета роботи* - визначити рентабельність впровадження PVT колекторів в систему гарячого водопостачання об'єкта, що досліджується, порахувати економію природних та енергетичних ресурсів, зменшення негативного впливу на

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 11  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

навколишнє середовище, строк окупності запропонованих колекторів з обладнанням та їхню ефективність у порівнянні з конденсаційними газовими котлами.

*Завдання:*

- розглянути науково-технічну літературу, статті та методики впровадження по PVT колекторах;
- провести обстеження і діагностику жилого будинку та виявити наявну проблему, пов'язану з ГВП;
- при вивченні об'єкта проаналізувати, провести розрахунки та підібрати комплексне розв'язання виявлених проблем;
- змодельовати, розрахувати та надати пропозиції щодо впровадження гібридних сонячних колекторів у систему ГВП будинку;
- розробити схеми приєднання гібридних сонячних колекторів до системи ГВП будинку;
- провести аналіз отриманих в ході роботи результатів;
- виконати техніко-економічну оцінку запропонованого рішення для інтеграції PVT колекторів у систему ГВП будинку.

*Об'єкт дослідження* – гібридні сонячні колектори.

*Предмет дослідження* – запровадження гібридних сонячних колекторів для нагріву води на потреби гарячого водопостачання та забезпечення енергетичної автономності бойлерної й дахової котельні у житловому будинку.

*Наукова новизна.* Полягає в аналізі експлуатаційно-економічних параметрів, методики розрахунку та способів інтеграції PVT колекторів в систему ГВП жилого будинку в сучасних умовах України.

*Практична цінність* роботи полягає в тому, що розробка і впровадження PVT колекторів у систему автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні дозволить підвищити її енергоефективність та надійність.

*Економічний ефект.* Інтеграція та застосування PVT колекторів у будинку знизить витрати газу та електроенергії на ГВП у порівнянні з традиційними

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 12  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

системами.

*Соціальний ефект.* Створення та впровадження гібридних сонячних систем може забезпечити дешевою гарячою водою та «зеленою» енергією не тільки конкретний житловий будинок, а і великі соціальні об'єкти.

*Методи дослідження.* В роботі використано:

Статистичний аналіз для збирання, обробки та аналізу інформації.

Системний аналіз для встановлення зв'язків між елементами дослідження та вивчення теплофізичних параметрів.

Ексергетичний аналіз для порівняння ефективності роботи наявних теплових установок у будинку і тих, що впроваджуються.

Математичне моделювання для прогнозування результатів за різних умов роботи системи.

Дедукція як метод виведення висновків.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 13  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



## РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

### 1.1 Історія PV та PVT технологій

Історія технологій PV модулів сягає корінням в дев'ятнадцяте століття. У 1839 році французький фізик Бекерель відкрив фотогальванічний ефект у рідких електролітах, що дозволяє перетворювати світло в електрику. Декількома роками пізніше, у 1873 році американським фізиком Смітом була знайдена фотопровідність твердого селену. Потім у 1876 році науковці Адамс і Дей відкрили фотогенерацію струму в селенових трубках. У 1900 році німецький фізик-теоретик Планк представив квантову природу світла. Після цього у 1930 році американський фізик Вільсон запропонував квантову теорію твердих тіл. Через десять років німецькі науковці Мотт і Шотткі розробили теорію твердотілового випрямляча. У 1954 році Чепін та інші розробили першу потужну кремнієву фотоелектричну комірку з ефективністю 6%, і через 4 роки ці фотоелектричні комірки використовувалися для живлення радіостанцій на космічному супутнику Vanguard I. [27]

Корпорація Sharp розробила перший ефективний фотоелектричний модуль із кремнієвих фотоелектричних елементів, це відбулося у 1963 році. Після нафтової кризи у 1973 році, що призвело до значного зростання цін на нафту, багато урядів різних країн світу почали вкладати кошти в дослідження, що пов'язані з відновлюваною енергією, включаючи фотоелектричні модулі. В результаті інтенсивних зусиль наземне застосування фотоелектричних технологій набуло широкого поширення в 1970-х роках. У тому ж десятилітті дослідники відкрили концепцію PVT і були запущені перші проекти щодо колекторів PVT.

У 1973 році американські науковці Боер і Тамм запропонували першу роботу з PVT систем повітряного типу, яка отримала назву Solar One House. Це був

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 14  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

перший будинок, який дозволяв безпосередньо перетворювати сонячне світло в електрику та тепло для домашнього використання. А вже PVT колектори рідкого типу були вперше досліджені німецьким науковцем Вольфом у 1976 році. Він проаналізував ефективність комбінованої сонячної фотоелектричної системи та системи опалення для проживання однієї сім'ї протягом повного року.

Вентильовані фотоелектричні фасади почали набувати важливого значення на початку 1990-х років, і особливо у Швейцарії, було здійснено кілька проєктів інтегрованих у будівлі фотоелектричних систем (BIPV). Останніми роками в усьому світі були проведені значні дослідження для покращення продуктивності PVT колекторів та зниження їх вартості. Сьогодні PVT технологія є дуже перспективною з її потенціалом для того, щоб скоротити розрив між відновлюваними та традиційними джерелами енергії. [24]

## 1.2 Загальні відомості про PVT колектори

Гібридні фотоелектричні колектори є дуже корисними пристроями, які дозволяють виробляти електроенергію і тепло одночасно, як показано на рисунку 1.1. Простіше кажучи, фотоелектричні системи складаються з фотоелектричних модулів, з'єднаних з теплообмінником. Фотоелектричні модулі перетворюють сонячне світло безпосередньо в електрику, більша частина поглиненого сонячного випромінювання скидається на фотоелектричні модулі у вигляді відпрацьованого тепла. Вироблене тепло передається до теплообмінника, що знаходиться в тепловому контакті з фотоелектричними модулями, для забезпечення потреби в теплі. Фотоелектричні колектори можуть бути плоскими або концентруючими й класифікуються за типом теплоносія, що використовується.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 15  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

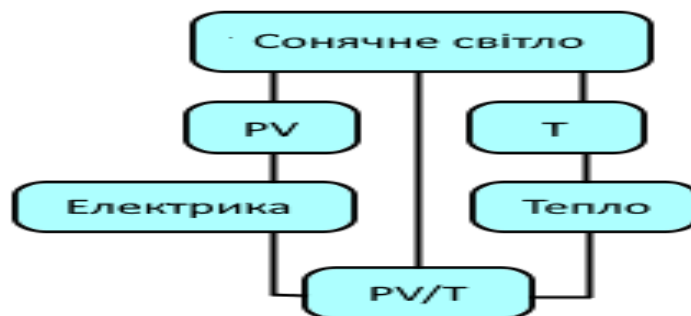


Рис. 1.1 - Поєднання двох технологій

### 1.3 Плоскі PVT колектори

Основні концепції плоских гібридних колекторів були вперше представлені німецькими науковцями Керном і Расселом у 1978 році. Потім голландський фізик-теоретик Хендрі представив теоретичну модель для фотоелектричних систем, що використовують традиційні технології сонячних теплових колекторів. Німецький науковець Флоршунц розширив відому модель Hottel-Whillier, розроблену для теплового аналізу плоских колекторів, до аналізу гібридних фотоелектричних колекторів.

Плоскі гібридні сонячні колектори класифікують за типом робочої рідини, що використовується: водяні, повітряні або комбіновані (вода/повітря). На чолі з голландським науковцем Зондагом група вчених проаналізувала різні типи фотоелектричних колекторів (листові та трубчасті, каналні, з вільним потоком і з подвійним абсорбером), як показано на рисунку 1.2. Найкраща ефективність спостерігалася для каналної конструкції з прозорим фотоелектричним покриттям. Повітряні фотоелектричні колектори недостатньо ефективні порівняно з рідинними. Хоча витрати на виробництво повітряних фотоелектричних колекторів досить низькі, їх застосування відносно невелике.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 16  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

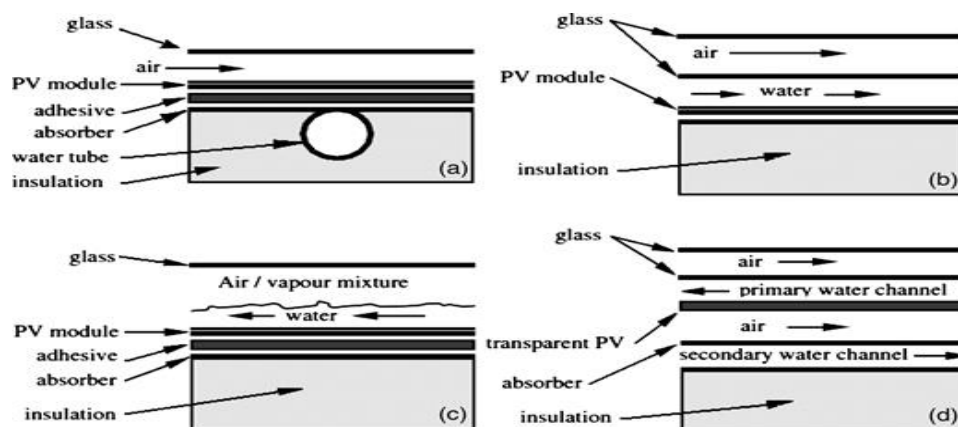


Рис. 1.2 - Поздовжні розрізи різних видів PVT колекторів: а) листотрубний; б) каналний; с) з вільним потоком; д) з подвійним абсорбером

Плоскі фотоелектричні колектори можуть використовуватися як в центральних, так і в автономних системах. Іспанський науковець Талавера з командою представили дослідження для оцінки внутрішньої норми прибутковості колекторів і показали, що підключені до мережі системи є більш вигідними інвестиціями, коли виконуються певні економічні умови [25].

#### 1.4 Концентруючі PVT колектори

Попри значний розвиток фотоелектричних технологій, вартість електроенергії, виробленої фотоелектричними модулями, все ще дорожча, ніж традиційна електроенергія. Концентрація сонячного світла є ключовим методом для зниження вартості системи. Завдяки концентрації необхідна площа фотоелектричних модулів зменшується, а отже, час окупності стає коротшим.

Концентруючі PVT системи можна класифікувати за коефіцієнтом концентрації (CR). Американський науковець Вінстон запропонував новий принцип збору та концентрації сонячної енергії. Він підкреслив, що концентруючі системи з  $CR > 2,5$  повинні використовувати систему стеження за сонцем, тоді як для систем з  $CR < 2,5$  можна використовувати стаціонарні концентруючі пристрої. Німецькі науковці на чолі з Шараном провели аналіз для економічної оцінки концентруючих фотоелектричних систем. Їх результати показали, що вартість

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 17  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

одиниці енергії, виробленої фотоелектричними системами концентратора, зменшується зі збільшенням CR, при цьому як електрична, так і теплова потужність збираються для корисливих цілей. Арабський науковець Аль-Баалі досліджував вплив інтенсивності освітлення та температури на робочі характеристики гібридного сонячного колектора. Щоб сконцентрувати сонячне світло на поверхні колектора, було використано відбивче дзеркало, і це дало позитивний ефект у підвищенні параметрів струму та тепла. Американський фізик-теоретик Гарг з командою представив теоретичне дослідження для аналізу впливу плоских відбивачів на продуктивність повітряної PVT системи. Ними визначено продуктивність системи для різних комбінацій відбивачів. Вони рекомендують знизити вартість системи шляхом заміни дорогих фотоелектричних елементів недорогими концентраційними пристроями. Гарг і Адхікарі досліджували повітряний PVT колектор у поєднанні зі складним параболічним концентратором (CPC). Вони помітили, що концентровані PV/T колектори забезпечують вищу ефективність порівняно з системами без CPC. Фізик Брогрен проаналізував оптичну ефективність гібридної PVT системи з водяним охолодженням і CPC з низькою концентрацією алюмінію. Оптичну ефективність системи було визначено чисельно як  $\eta_{opt} = 0,71$ , що узгоджується з ефективністю, отриманою в результаті вимірювань. Простий інтегрований PVT колектор із низькою концентрацією води (BIPVT) був досліджений Брогреном і Карлссоном. Вони наголосили, що вартість фотоелектричної енергії можна знизити, використовуючи дешеві алюмінієві відбивачі. Британський науковець Ковентрі розробив водяний PVT колектор з геометричним CR 37, який називається CHAPS (комбіноване тепло та електроенергія сонячних батарей). Тепловий і електричний ККД системи були визначені як 58 і 11% відповідно. Канадський вчений Россел та інші досліджували водяний PVT колектор, інтегрований з лінійним концентратором Френеля та двовісною системою відстеження сонячної енергії. Експериментальні результати показують, що загальна ефективність системи перевищує 60% при  $CR > 6$ . Теоретичний аналіз підтверджує, що теплопровідність між фотоелектричними

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 18  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

осередками та пластиною поглинача є вирішальним параметром. Сербський вчений Костич та інші визначили оптимальне положення рефлекторів, підключених до водяного PVT колектора, щоб отримати максимальну концентрацію інтенсивності освітлення. Китайський вчений Лі нещодавно досліджував продуктивність системи PVT з концентрацією жолоба зі співвідношенням потоків енергії з використанням трьох типів кристалічних кремнієвих масивів фотоелектричних елементів і масиву елементів GaAs. Експериментальні результати вказують на те, що електричні характеристики системи з масивом елементів GaAs кращі, ніж у масивів кристалічних кремнієвих фотоелектричних елементів. З іншого боку, система з масивами фотоелектричних елементів із кристалічного кремнію показує кращу продуктивність з точки зору теплової потужності. Сербський вчений Костич та інші досліджували вплив відбиття від плоских пластинчастих концентраторів, виготовлених з алюмінієвого листа та алюмінієвої фольги, на енергоефективність PVT колектора. Концентратори з алюмінієвої фольги забезпечують більшу інтенсивність концентрованого сонячного випромінювання. При оптимальному розташуванні концентраторів загальна добова тепла потужність, вироблена системою з концентраторами з алюмінієвої фольги, на 55% вища, ніж у системі без концентраторів. З точки зору електричної потужності, ця ж система на 17.1% ефективніша порівняно з системою без концентратора [22].

Американський вчений Нільссон з іншими науковцями дослідили електричні та теплові характеристики асиметричної фотоелектричної системи CPC PVT, призначеної для високих широт. Оцінки вихідної потужності були визначені за допомогою програми моделювання MINSUN. У дослідженні було використано два різні матеріали рефлекторів: анодований алюміній та ламінована алюмінійована сталь. Результати моделювання показали, що немає різниці в річній продуктивності між двома матеріалами відбивачів. Обидва задні рефлектори забезпечують 168 кВт-год/м<sup>2</sup> площі фотоелектричного елемента порівняно зі 136 кВт-год/м<sup>2</sup> площі фотоелектричного елемента у випадку без рефлекторів.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 19  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Розрахунковий вихід теплової енергії становить 145 кВт-год/м<sup>2</sup> заскленої площі при 50°C. Замбійський вчений Хотваамбо та інші проаналізували три матеріали відбивачів для покращення коефіцієнта заповнення в низькоконцентрованої фотоелектричній системі: анодований алюміній, рулонну алюмінієву фольгу та мікрорефлектор (світловідбивачі). Елемент CPC з геометричним коефіцієнтом відбиття 3,6 було досліджено для різних матеріалів рефлектора. Було помічено, що коефіцієнт заповнення зменшився з 0,72 для еталонного модуля до 0,65 під впливом концентрації. Алюмінієвий рефлектор не показав очікуваних результатів у підвищенні коефіцієнта заповнення. Однак підкреслюється, що алюмінієвий рефлектор має значний потенціал для використання в якості PV-CPC рефлектора для зниження витрат. Вартість алюмінієвого прокату на квадратний метр у два-три рази менша, ніж вартість анодованого алюмінію, і в шість разів менша, ніж вартість мікрорефлектора. Мумбайський науковець Солонки з командою розробили V-подібний модуль для кращої концентрації та розсіювання тепла, як показано на рисунку 1.3. V-подібні канали були сконструйовані з використанням тонкого окремого листа алюмінієвого металу. Шість смуг модуля, кожна з яких містить один ряд з шести монокристалічних кремнієвих (c-Si) комірок, були виготовлені та встановлені в шість V-подібних каналів для досягнення концентрації. Результати експерименту показали, що температура комірок у V-подібному модулі залишається майже такою самою, як і в плоскому колекторі, попри концентрацію світла. При цьому ефективність перетворення V-подібного модуля становить 17,1%, що на 62% вище, ніж у плоского гібридного колектора [26].

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 20  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



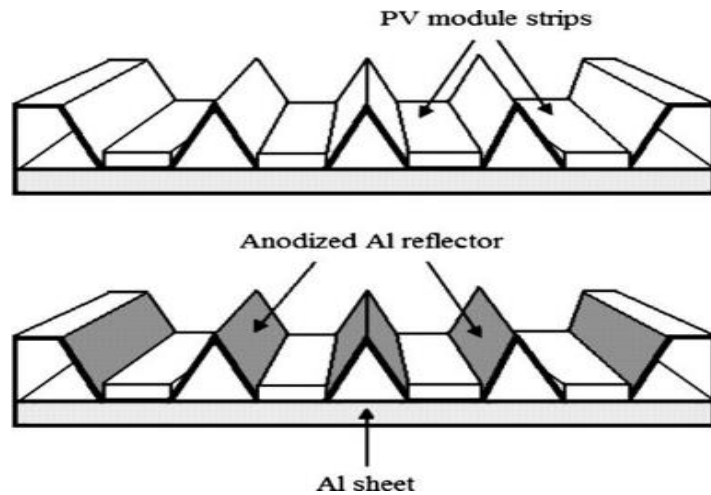


Рис. 1.3 – Концентруючий V - подібний модуль

### 1.5 Водяні PVT колектори

Перші роботи з водяними PVT колекторами були виконані Керном і Расселом в Массачусетському технологічному інституті в 1978 році. Були проаналізовані п'ять гібридних конфігурацій сонячних систем опалення та охолодження (базова сонячна система опалення, паралельна система теплового насоса, послідовна система теплового насоса, абсорбційний охолоджувач із двоцикловим циклом і високопродуктивний удосконалений тепловий насос), і переваги цих систем були оцінені для чотирьох кліматичних регіонів США (Бостон, Маямі, Фенікс і Форт-Ворт). Результати показали, що найбільший потенціал енергоощадження у всіх чотирьох географічних регіонах забезпечила передова система теплового насоса. Економічний аналіз показав, що гібридні системи були досить ефективними в північному кліматі, де переважали високі вимоги до тепла. З іншого боку, для регіонів зі збалансованим навантаженням на опалення та охолодження або з домінантним навантаженням на охолодження гібридні сонячні системи виявилися найбільш економічним варіантом. Сінгапурські науковці Хендрі та Рагураман провели детальне тестування продуктивності гібридного PVT колектора. Експерименти проводилися на відкритому повітрі при зміні температури рідини на вході та для різних кліматичних умов. Максимальна теплова ефективність системи була визначена на

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 21  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



рівні 42,6%. Коефіцієнти теплових втрат та ефективність були розраховані на рівні 6,77 Вт/м<sup>2</sup>·К і 0,62, відповідно. Серб Лалович розробив і випробував фотоелектричний колектор з аморфного кремнію (a-Si). Фотоелементи a-Si, використані в дослідженні, мали середню ефективність 4% і загальну площу 0,9 м<sup>2</sup>. Експериментальні результати показали, що гібридний PVT колектор добре зарекомендував себе як тепловий колектор, який дозволяв нагрівати воду до 65°C. А електричні характеристики системи, навпаки, не продемонстрували помітних змін [25].

Норвезькі науковці Берген і Ловвік представили детальну модель для прогнозування продуктивності водяних PVT колекторів. Вони рекомендували, що запропонована ними система може бути корисною, зокрема, для попереднього підігріву гарячої води. В Індійському технологічному інституті було проведено кілька досліджень гібридних PVT сонячних водонагрівачів. Було помічено, що кількість води в резервуарі мала значний вплив на продуктивність системи. Ефективність системи показала незначне збільшення зі збільшенням маси води. Вони також підкреслили, що гібридні PVT сонячні водонагрівачі підійдуть для сільської місцевості, оскільки PVT колектор площею 2 м<sup>2</sup> може генерувати електроенергію, достатню для роботи двох лампочок по 20 Вт кожна протягом 5 годин і одного телевізора протягом 4 годин.

Японські вчені Фудзісава і Тані спроектували та побудували гібридний PVT колектор, який складався з плоского сонячного колектора, що нагрівається рідиною, з моно-c-Si фотоелектричними елементами на підкладці з неселективної алюмінієвої пластини поглинача, як показано на рисунку 1.4. Ексергетичний метод використовувався для аналізу продуктивності PVT колектора, оскільки він забезпечує якісну оцінку виробленої електричної та теплової енергії. Вони виявили, що PVT колектор без кришки показав найкращу продуктивність. Вони також помітили, що продуктивність PVT колектора з одним покриттям була порівнянна з продуктивністю звичайного плоского колектора. Аль Харбі та інші вчені провели експеримент в умовах навколишнього середовища Саудівської

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 22  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Аравії, щоб оцінити продуктивність гібридних PVT систем. Вони дійшли висновку, що система PVT не підходить для кліматичних умов Саудівської Аравії через високу температуру навколишнього середовища влітку. Хуан та інші працювали над незаскленими PVT колекторами в Національному університеті Тайваню. Їх PVT колектор складався з комерційного фотоелектричного модуля потужністю 60 Вт і пластини, що збирає тепло, як показано на рисунку 1.5. У дослідженні використовувалися два типи тепло збірних пластин типу «труба в листі» з  $W/D = 6,2$  і  $10$ . Однак продуктивність колектора PVT із встановленими тепловідвідними пластинами не була визнана задовільною. Відтак вони вирішили побудувати полікарбонатну багатоканальну структуру з  $W/D = 1$ . Експериментальні результати показали, що PVT колектор, виготовлений з гофрованої полікарбонатної панелі, демонструє хороші теплові характеристики. Визначено, що різниця температур між водою в резервуарі та фотоелектричним модулем становить  $4^{\circ}\text{C}$ . [25]

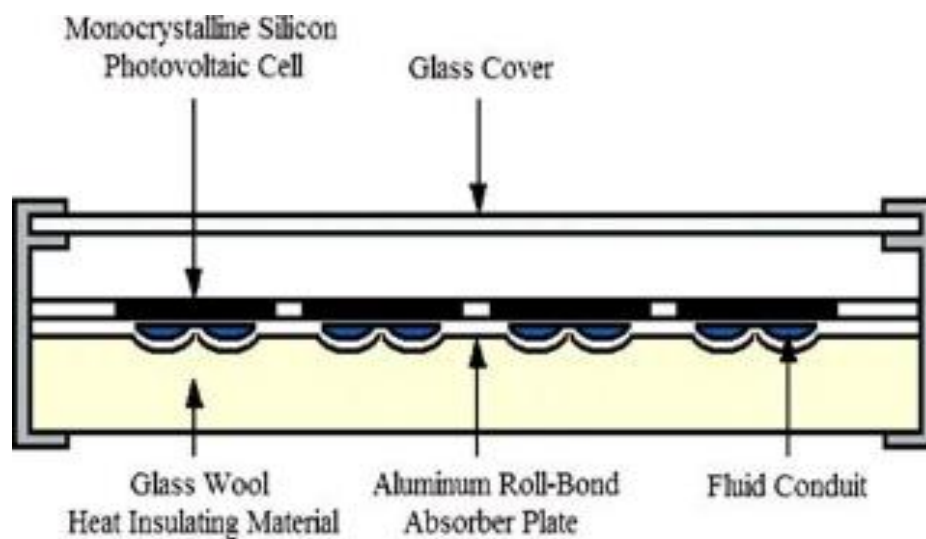


Рис. 1.4 - Поперечний переріз колектора PVT

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 23  |

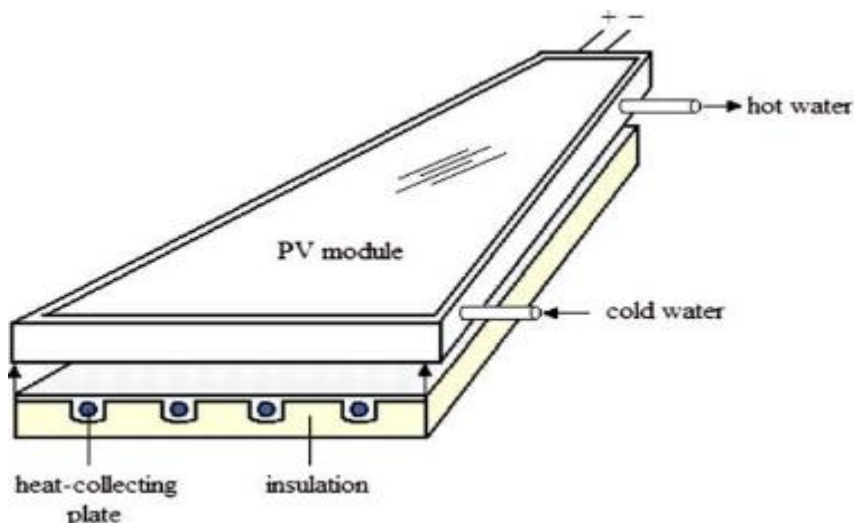


Рис. 1.5 - Принципова схема гібридного водяного PVT колектора

Калогіру змодельював гібридну систему PVT для екологічних умов Кіпру. Фотоелектрична система складалася з серії фотоелектричних панелей, акумуляторної батареї та інвертора, тоді як теплова система складалася з бойлера для зберігання гарячої води, насоса і термостата. Результати моделювання показали, що гібридна фотоелектрична/теплова система збільшує середньорічну ефективність фотоелектричної системи з 2,8% до 7,7% і забезпечує 49% потреби будинку в гарячій воді. А Е. Нортон представив альтернативні підходи для аналізу продуктивності та характеристики термосифонних сонячних водонагрівачів.

Санднес і Рекстад досліджували поведінку гібридного водяного фотоелектричного колектора, який був побудований шляхом наклеювання монокристалічних кремнієвих фотоелементів на полімерний термопоглинач. Канали пластини абсорбера були заповнені керамічними гранулами для покращення теплопередачі до робочої рідини. Результати показали, що фотоелементи та скляне покриття зменшують теплове поглинання й оптичну ефективність, відповідно. Вони рекомендували використовувати запропоновану конструкцію для низькотемпературних застосувань, щоб підвищити електричну ефективність фотоелектричної системи.

Зондаг та інші науковці запропонували кілька стаціонарних і динамічних імітаційних моделей для водяних фотоелектричних колекторів. Вони відзначили,

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 24  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

що всі моделі відповідають експериментам з точністю до 5%. Для розрахунку добової продуктивності проста одновимірна (1D) стаціонарна модель працювала майже так само добре, як і набагато більш трудомістка 3D динамічна модель. Вони також дійшли висновку, що 2D і 3D моделі надають більш детальну інформацію для покращення проектування. Чоу запропонував явну динамічну модель, засновану на кінцево-різницевому підході з регульованим об'ємом, для односкляного плоского водяного фотоелектричного колектора. Представлена модель дозволила отримати результати для оцінки продуктивності фотоелектричного колектора, включаючи миттєву вихідну енергію.

Калогіру і Тріпанангностопулос досліджували продуктивність гібридної фотоелектричної/термосифонної системи для трьох різних кліматичних умов: Нікосія (Кіпр), Афіни (Греція) та Медісон (Вісконсин). Система складалася з заклеєного плоского фотоелектричного колектора площею 4 м<sup>2</sup> і бака-накопичувача гарячої води об'ємом 160 л, як показано на рисунку 1.6. У дослідженні оцінювалися як полікристалічні, так і a-Si фотоелементи. Результати моделювання показали, що електричний вихід системи, яка використовує фотоелементи з полікристалічного кремнію (pc-Si), становить 532, 515 і 499 кВт-год для трьох місць відповідно. З іншого боку, результати для системи, що використовує фотоелементи a-Si, становлять 260, 251 і 224 кВт-год. Вони відзначили, що негібридна фотоелектрична система може генерувати на 30% більше електроенергії, але підкреслили, що гібридна фотоелектрична система дозволяє забезпечити значний відсоток потреби будинку в гарячій воді.

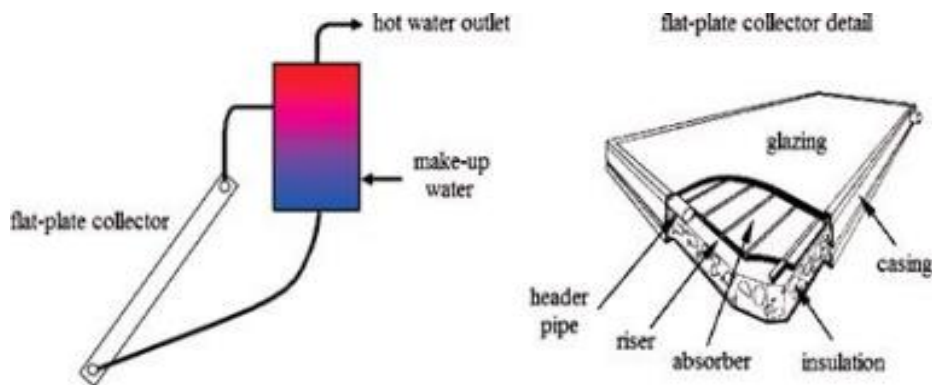


Рис. 1.6 - Гібридна термосифонна система PVT і деталь колектора

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного тепlopостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 25  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Індійські науковці Тіварі та Содха розробили попередні теплові моделі інтегрованої фотоелектричної та теплової сонячної установки (IPVTS) для параметричних досліджень та порівняння гібридних водяних і повітряних фотоелектричних/теплових колекторів. Було отримано аналітичні дані для температури води та фотоелементів, а також загальну теплову ефективність системи IPVTS, як функцію кліматичних та конструктивних параметрів. У дослідженні було розглянуто чотири конфігурації, а саме: (а) незасклені з текстилем (UGT), (б) засклені з текстилем (GT), (в) незасклені без текстилю (UGWT) і (г) засклені без текстилю (GWT). Вони дійшли висновку, що характерна добова ефективність системи IPVTS з водою вища, ніж з повітрям, для всіх конфігурацій, окрім GWT. Вони також відзначили загальну теплову ефективність системи IPVTS на рівні 65 і 77% для літніх і зимових умов відповідно.

У Міському університеті Гонконгу Чоу та інші побудували термосифонну фотоелектричну систему для житлових будинків і дослідили її енергетичні характеристики. Поглинальна пластина була побудована з декількох екструдованих модулів коробчастої структури з алюмінієвого сплаву. Плоский коробчастий абсорбер та інші складові шари фотоелектричного колектора наведені на рисунку 1.7. Результати показують, що запропонована система здатна розширити потенціал застосування фотоелектричних систем у домашньому секторі. Вони сконструювали та випробували гібридний фотоелектричний колектор з алюмінієвого сплаву у вигляді плоскої коробки, що функціонує як термосифонна система. Результати випробувань показали, що добова теплова ефективність може досягати близько 40%, коли початкова температура води в системі дорівнює середньодобовій температурі навколишнього середовища.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 26  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

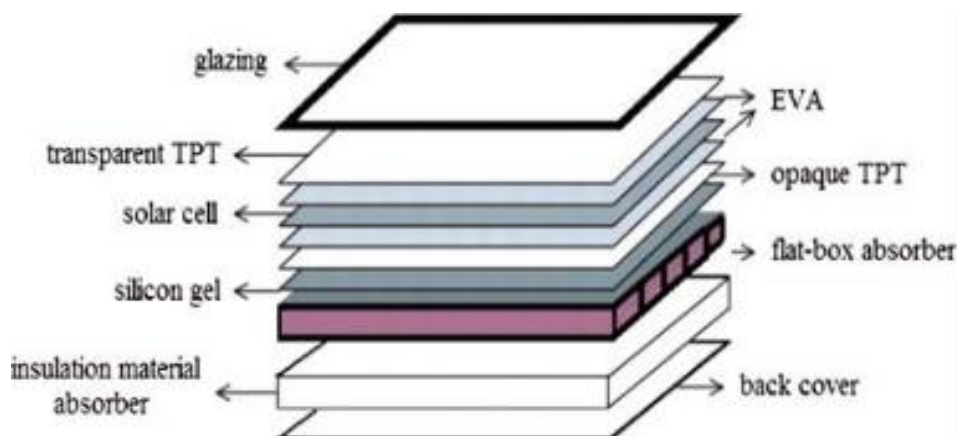


Рис. 1.7 - Складові шари гібридної PVT термосифонної системи

Український науковець Захарченко та інші досліджували гібридну фотоелектричну систему з дуже низьким коефіцієнтом заповнення. У дослідженні були проаналізовані різні види матеріалів фотоелектричних панелей, такі як c-Si, a-Si та CuInSe<sub>2</sub>. Крім того, різні матеріали та конструкції були оцінені для кращого теплового контакту між фотоелектричною панеллю і колектором. Було виявлено, що комерційні фотоелектричні панелі не здатні забезпечити хороший тепловий контакт з тепловим колектором через погану теплопровідність матеріалу підкладки панелі. Тому було сконструйовано прототип фотоелектричної панелі з використанням металеві підкладки з тонким ізоляційним шаром. Було відмічено, що вихідна потужність фотоелектричної панелі збільшилася на 10% завдяки новій конструкції. [23]

В Університеті Патри Калогіру та Тріпанагностопулос представили результати моделювання гібридних фотоелектричних систем для побутового гарячого водопостачання. Фотоелектричні модулі pc-Si та a-Si, інтегровані з водонагрівачами, були протестовані з точки зору їх електричної та теплової ефективності. Імітаційне дослідження було проведено для трьох локацій: Нікосії, Афін та Медісону. Результати показали, що електричне виробництво системи з фотоелементами pc-Si є вищим, ніж з аморфними фотоелементами, але тепловий внесок сонячної енергії є дещо нижчим. Хоча негібридна фотоелектрична система виробляє на 38% більше електроенергії, підкреслюється, що гібридна

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 27  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



фотоелектрична система дозволяє задовольнити значну частину потреб у гарячій воді досліджуваних будівель.

Цзі та інші спроектували, сконструювали та випробували плоскобокову систему фотоелектричного нагрівання води з алюмінієвого сплаву в помірній кліматичній зоні. Експерименти проводилися для різних мас і початкових температур води. Коефіцієнт заповнення та випромінювальна здатність фронтального скління системи становили 0,63 та 0,83 відповідно. Добова електрична ефективність, характерна добова теплова ефективність, характерна добова загальна ефективність і характерна добова економія первинної енергії становили -10,15, 45, 52 і 65% відповідно. Японський науковець Сайтоші та інші експериментально дослідили продуктивність гібридного листово-трубчастого фотоелектричного колектора, який використовує розсіл як теплоносії. Ефективність гібридного фотоелектричного колектора порівнювали з ефективністю фотоелектричного та сонячного колекторів. Було виявлено, що фотоелектричний колектор є кращим з точки зору енергетичної ефективності. Теоретичне дослідження гібридної PVT системи для побутового опалення та охолодження було виконано Вокасом. Було проаналізовано продуктивність фотоелектричного колектора в залежності від географічного регіону, а також від різної загальної площі поверхні системи. Також відзначено, що відсоток побутового навантаження на опалення та охолодження, що покривається традиційною системою, зменшується на 11,9 і 21,4%, відповідно, у випадку гібридної системи PVT.

Результати також показали, що відсоток сонячного покриття побутового навантаження на опалення та охолодження значно залежить від регіону. В Університеті науки й техніки Китаю Цзі та інші представили результати дослідження впливу розмірів водопровідних каналів на продуктивність гібридного фотоелектричного колектора з коробчастою рамою. Результати динамічного моделювання показали, що як кількість, так і висота водяних каналів помітно впливають на продуктивність фотоелектричного колектора. Чоу з командою

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 28  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

науковців вивчали продуктивність термосифонної системи PVT для застосування в субтропічному кліматі. Була розроблена динамічна імітаційна модель для прогнозування виходу енергії та періоду окупності системи. Чисельні результати показали, що період окупності гібридної системи набагато коротший, ніж негібридної фотоелектричної системи.

Дюбей та Тіварі розробили, сконструювали та протестували гібридний фотоелектричний колектор для умов навколишнього середовища Нью-Делі. Було отримано аналітичні дані для характеристичного рівняння гібридного плоского фотоелектричного колектора та експериментально перевірено для різних конфігурацій. Два плоских колектори з площею поверхні  $2,16 \text{ м}^2$  кожен були з'єднані послідовно, а в нижню частину одного з них був інтегрований фотоелектричний модуль з ефективною площею  $0,66 \text{ м}^2$ . Поперечний переріз системи показаний на рисунку 1.8. Експерименти проводилися протягом лютого-квітня 2007 року. Результати показали, що гібридний плоский фотоелектричний колектор, частково покритий фотоелектричним модулем, демонструє кращі показники з точки зору теплової та середньої ефективності комірки.

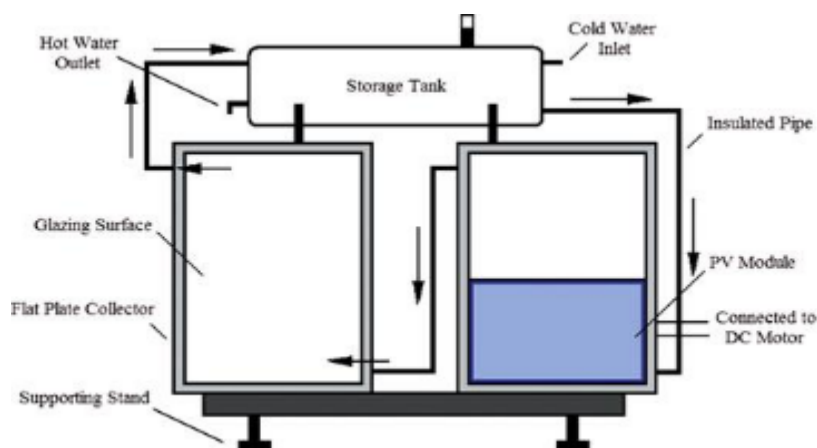


Рис. 1.8 - Гібридна PVT сонячна система нагріву води

Фрейс та інші вчені досліджували енергетичні характеристики гібридного водяного фотоелектричного колектора в поєднанні з теплою підлогою (DSF). Вони зазначили, що низька робоча температура системи DSF цілком підходить для

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 29  |



застосування гібридного водяного фотоелектричного колектора. Для системи, що включає скляний колектор, річна ефективність фотоелектричних елементів була визначена на рівні 6,8%, що на 28% менше у порівнянні з негібридним фотоелектричним модулем. Це зниження виникає через підвищення температури, що пов'язане з покриттям. З іншого боку, було помічено, що система без кришки демонструє на 6% кращу продуктивність завдяки ефекту охолодження.

Дюбей та Тіварі оцінювали продуктивність частково накритих гібридних плоских фотоелектричних колекторів, з'єднаних послідовно, використовуючи теоретичне моделювання. Для отримання відповідних аналітичних даних були використані базові рівняння енергетичного балансу та комп'ютерні теплові моделі. У дослідженні було розглянуто чотири погодні умови для п'яти різних міст Індії (Нью-Делі, Бангалор, Мумбаї, Срінагар і Джодхпур). Річний вихід теплової та електричної енергії оцінювався для чотирьох різних серій і паралельної комбінації колекторів для порівняння з урахуванням умов Нью-Делі. Було виявлено, що колектори, частково покриті фотоелектричними модулями, поєднують виробництво гарячої води та електроенергії, і рекомендуються для споживачів, основною потребою яких є виробництво гарячої води. Однак, колектори, повністю покриті фотоелектричними модулями, рекомендуються для споживачів, основною потребою яких є виробництво електроенергії.

Чоу та інші досліджували доцільність використання скляного покриття на водній фотоелектричній системі на основі термосифона з точки зору термодинаміки. У дослідженні було розглянуто вплив шести вибраних робочих параметрів. Було виявлено, що засклена фотоелектрична система завжди підходить для того, щоб максимізувати кількість теплової або загальної енергії. З точки зору енергетичного аналізу, збільшення ефективності фотоелементів, коефіцієнта заповнення і швидкості вітру виявилось сприятливим для незаскленої системи, в той час, як збільшення інтенсивності освітлення і температури навколишнього середовища було сприятливим для заскленої системи.

Тіварі та інші вчені отримали аналітичні дані для температури води у

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 30  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

водонагрівачі IPVTS при постійній витраті гарячої води. Аналіз ґрунтувався на базовому енергетичному балансі для гібридного плоского колектора та накопичувального бака, відповідно. Чисельні розрахунки були виконані для конструкції та кліматичних параметрів системи, розробленої Хуангом. Було виявлено, що добова загальна теплова ефективність системи IPVTS зростає зі збільшенням постійної швидкості потоку і зменшується зі збільшенням постійної температури збору. Також було виявлено, що загальна енергія та теплова ефективність системи є максимальною при витраті гарячої води 0,006 кг/с.

Чоу та інші досліджували річну продуктивність інтегрованої в будівлю системи фотоелектричних модулів для води для екологічних умов Гонконгу. Результати показали, що фотоелектрична система водонагріву має значні економічні переваги над традиційною негібридною фотоелектричною установкою. Теплові характеристики системи при природній циркуляції води виявилися кращими, ніж при насосній циркуляції. Період окупності системи був визначений на рівні 14 років при використанні допоміжного нагрівача води.

Daghigh та ін. [98] досліджували продуктивність вбудованих в будівлі фотоелектричних колекторів на основі a-Si та c-Si для кліматичних умов Малайзії. При швидкості потоку 0,02 кг/с, рівні інтенсивності освітлення від 700 до 900 Вт/м<sup>2</sup> і температурі навколишнього середовища від 22 до 32°C електрична, теплова та комбінована ефективність фотоелектричного колектора на основі a-Si становила 72 і 77% відповідно. А показники для колектора c-Si PVT становили 51 і 63% відповідно [29].

## 1.6 Повітряні PVT колектори

Перша робота з повітряними фотоелектричними колекторами, яка отримала назву Solar One House, була виконана Буром і Тамом в університеті Делаверу. В середині 1970-х років Флоршутц провів теоретичні та експериментальні дослідження фотоелектричних колекторів, які використовують повітря або воду в

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 31  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

якості теплоносія. Хендрі запропонував дві конфігурації гібридних повітряних фотоелектричних колекторів, як показано на рисунку 1.9. У першій конструкції повітря проходить через отвори діаметром 0,25 см у вторинному абсорбері та потрапляє на первинний абсорбер. Для цієї системи було визначено, що теплова та електрична ефективність складають 42 і 8,9% відповідно. Друга конструкція складається з V-подібного гофрованого вторинного абсорбера, в якому кінчики V-подібних труб контактують з первинним абсорбером. Теплова та електрична ефективність другої конфігурації була визначена на рівні 40 і 7,8%, відповідно. Рагураман досліджував PVT колектор повітряного типу, в якому фотоелементи були приклеєні безпосередньо до абсорбційної пластини. Між фотоелементами та поглинальною пластиною використовувався прошарок, щоб уникнути короткого замикання фотоелектричного ламінату. Товщина і теплопровідність шару становили 0,5 см і 0,2 Вт/м·К відповідно. Теплова ефективність фотоелектричного колектора склала 42%. Було відзначено, що теплова ефективність помітно знижується через значну різницю температур між фотоелементами та поглинальною пластиною. В університеті Брауна була побудована повітряна фотоелектрична система для забезпечення потреб будівлі в електричній та тепловій енергії. Система складалася з 20 повітряних фотоелектричних колекторів, кожен з яких мав площу поверхні 1,8 м<sup>2</sup>. Результати показали, що 65% загальної потреби в енергії може бути задоволено за допомогою запропонованої системи. Комп та Різер досліджували засклену повітряну фотоелектричну систему, яка була розроблена для автономного житлового будинку. Влітку тепло розсіювалося в навколишнє середовище шляхом природної конвекції, а взимку нагріте повітря циркулювало в будинку за допомогою вентилятора.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 32  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

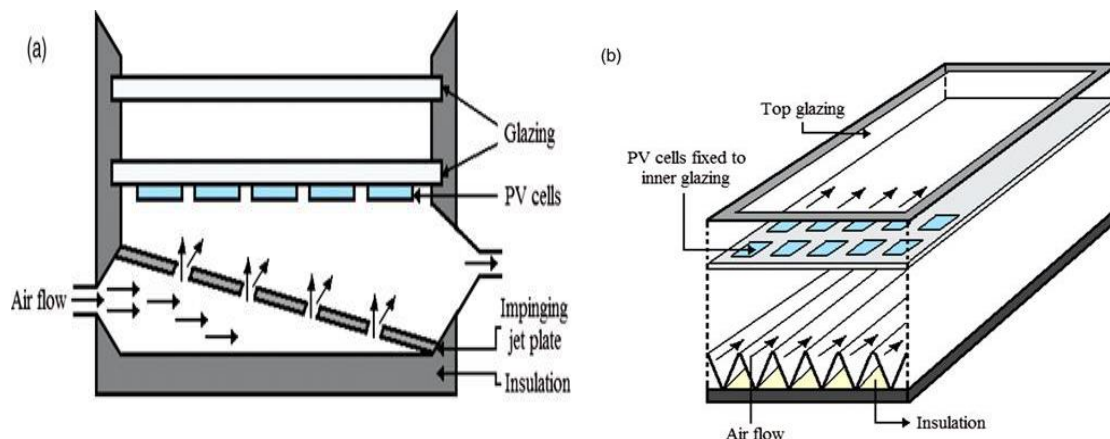


Рис. 1.9 - Гібридний повітряний PVT колектор з (а) струминним дизайном і (b) V-подібним гофрованим дизайном

Кокс і Рагураман провели моделювання плоских повітряних фотоелектричних колекторів з монокристалічними кремнієвими фотоелементами. Вони дійшли висновку, що селективний поглинач знижує теплову ефективність, коли фотоелементи покривають більш як 65% загальної площі колектора. Було виявлено, що оптимальна комбінація повітряного фотоелектричного колектора складається з фотоелементів з сітчастою основою, неселективного вторинного поглинача і покриття з високим коефіцієнтом пропускання і низьким коефіцієнтом випромінювання, розташованого над фотоелементами. В Індійському технологічному інституті на початку 1990-х років було проведено кілька досліджень повітряних фотоелектричних колекторів для сонячного сушіння. Поснанський та інші досліджували інтегровану в будівлю повітряну фотоелектричну систему і виявили, що вона може виробляти 12 кВт теплової енергії для потреб опалення будівлі. Влітку вироблена системою тепла енергія зберігалася в підземному сховищі, а взимку ця енергія використовувалася для опалення будівлі. Вони відзначили, що тепла ефективність фотоелектричної системи варіювала в діапазоні 32-45%. Шоу підкреслював, що для інтегрованого в будівлю застосування гібридних повітряних фотоелектричних колекторів слід забезпечити відповідну висоту, щоб створити необхідну плавучість.

Сопян та інші досліджували продуктивність одно- та двоходових гібридних

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 33  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

повітряних фотоелектричних колекторів за допомогою стаціонарних моделей. Двоходовий фотоелектричний колектор показав значно кращу продуктивність завдяки зниженню температури передньої кришки. Гарг і Адхікарі розробили імітаційну модель для гібридних повітряних фотоелектричних колекторів з метою аналізу впливу ефективних параметрів на продуктивність. У дослідженні розглядалися конфігурації з одним та двома шарами скло-покриття, як показано на рисунку 1.10. Параметричні дослідження показали, що ефективність системи зростає зі збільшенням довжини колектора, масової витрати та щільності комірок і зменшується зі збільшенням глибини повітропроводу для обох конфігурацій. Також було помічено, що для більших значень глибини каналу відсоток зниження продуктивності конфігурації з подвійним склом є меншим, ніж для конфігурації з одинарним склом.

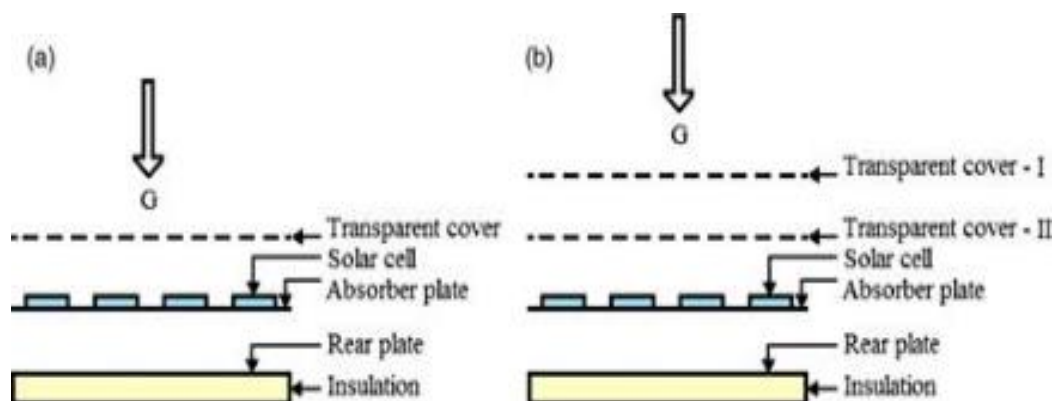


Рис.1.10 - Гібридний повітряний PVT колектор з конфігурацією (a) з одним склом та (b) з подвійним склом

Мошфег і Сандберг чисельно та експериментально дослідили характеристики потоку і теплопередачі при конвекції повітря за фотоелектричними панелями, керованої плавучості. Чисельні та експериментальні результати були отримані для каналу висотою 7,0 м, стінки каналу були розділені на відстані 0,23 м. Результати показали, що при вхідному тепловому потоці  $\geq 200 \text{ Вт/м}^2$  -30% вхідного тепла передається неопалюваній стіні через випромінювання, а потім розсіюється в повітря шляхом конвекції. Гарг і Адхікарі розробили комп'ютерну імітаційну модель для прогнозування перехідних характеристик повітряного

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 34  |

фотоелектричного колектора з одинарним і подвійним склом для умов навколишнього середовища Нью-Делі, Індія. Вони помітили, що продуктивність конфігурації з подвійним склом є кращою, ніж у конфігурації з одинарним склом. Холлік проаналізував продуктивність сонячної когенераційної системи, яка складається з фотоелементів, інтегрованих з панелями SOLARWALL, як показано на рисунку 1.11. Результати випробувань показали, що поєднання фотоелементів з панелями SOLARWALL підвищує ефективність фотоелементів і забезпечує більшу загальну ефективність. Також було помічено, що сонячні когенераційні панелі значно скорочують час окупності.

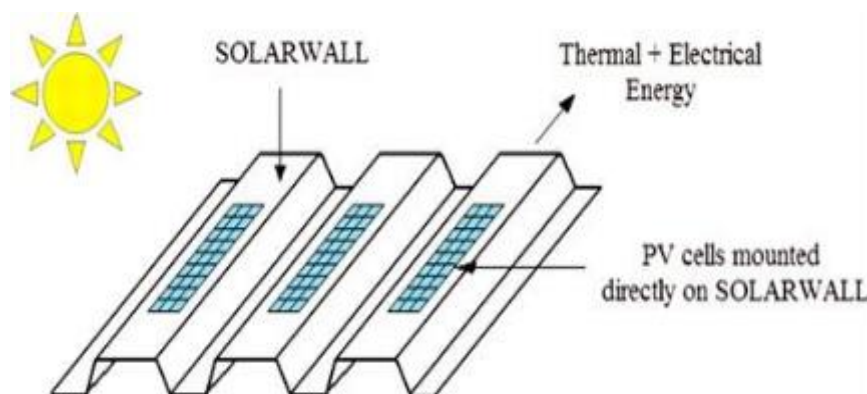


Рис. 1.11 - Сонячна когенераційна панель

Наприкінці 1990-х років в університеті Гевле дослідження були зосереджені на фотоелектричних дахах. Повітряні та теплові потоки для інтегрованих в дах гібридних повітряних фотоелектричних систем були проаналізовані чисельно та експериментально. Гарг і Адхікарі запропонували імітаційну модель для дослідження продуктивності гібридних повітряних фотоелектричних колекторів для кліматичних умов Нью-Делі, Індія. Були отримані криві теплової ефективності для гібридних повітряних фотоелектричних колекторів, що відповідають різним типам абсорбентів. Було виявлено, що теплові характеристики абсорбера з селективним покриттям кращі, ніж у звичайного абсорбера, пофарбованого чорною фарбою. Також було виявлено, що теплові характеристики без фотоелементів вищі, ніж коли абсорбер повністю покритий фотоелементами для обох типів абсорберів. Поттлер та інші представили метод оптимізації гібридних

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 35  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



повітряних фотоелектричних колекторів. У дослідженні було проаналізовано чотири різні конфігурації, як показано на рисунку 1.12. Перша конструкція складалася з одношарової кришки та поглинальної пластини, інтегрованої з ребрами. У другій конструкції використовувалася хвиляста абсорбційна пластина. У третій і четвертій конфігураціях використовувалися прямокутні та трикутні профілі ребер відповідно. Результати показали, що суцільні ребра забезпечують найбільший чистий приріст енергії, якщо вони розташовані близько один до одного. Оптимальною відстанню між ребрами було визначено 5-10 мм. Було відзначено, що оптимальним режимом течії є ламінарний, що супроводжується низькими числами Нуссельта і великими площами теплообміну.

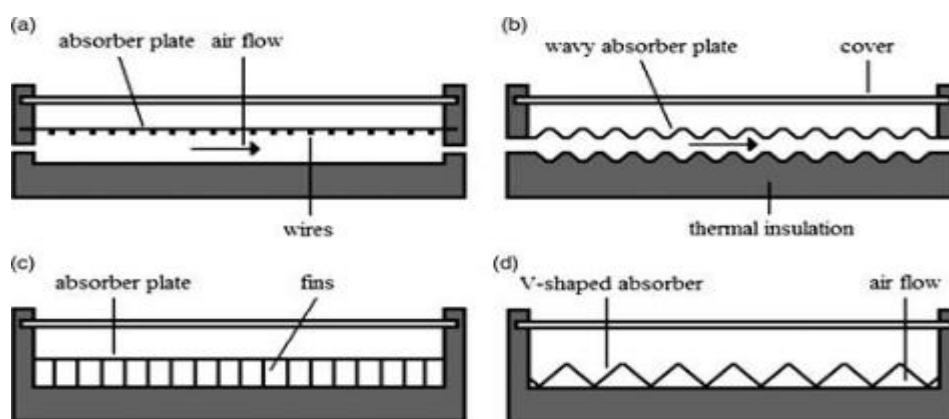


Рис. 1.12 - Гібридні повітряні PVT колектори з різними конфігураціями: (а) поглинальна пластина доповнена дротами, (b) хвиляста поглинальна пластина, (c) поглинальна пластина інтегрована з прямокутними ребрами, (d) V-подібна гофрована поглинальна пластина

Сопян та інші розробили та випробували двоходовий гібридний фотоелектричний колектор, який підходить для сонячного сушіння. Для визначення температури на виході та середньої температури фотоелектричних панелей було отримано стаціонарне рішення в замкнутій формі для диференціальних рівнянь верхнього та нижнього каналів колектора. Результати показали, що для масової витрати 0,036 кг/с і рівня інтенсивності освітлення 800 Вт/м<sup>2</sup> очікуване підвищення температури становить 18°C, а загальна ефективність колектора - 60%. Гегазі представив широке дослідження чотирьох повітряних

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 36  |

фотоелектричних колекторів. Вивчався вплив витрати повітря та селективності поглинальної пластини на продуктивність. Було виявлено, що фотоелектричний колектор, в якому повітря протікає над або під поглинальною пластиною, має найнижчу продуктивність, в той час, як інші фотоелектричні колектори показують порівнянний приріст теплової та електричної потужності. В Університеті Патри були застосовані різні методи для підвищення теплової ефективності гібридних повітряних фотоелектричних колекторів. Тріпаногностопулос та інші використовували почорнілий металевий лист на половині висоти по довжині повітряного каналу для покращення теплопередачі. Брінкворт досліджував потік і конвекційний теплообмін у похилих охолоджувальних каналах, призначених для вбудованих в будівлю фотоелектричних елементів. Були встановлені коефіцієнти теплопередачі для стінок каналів. Базілян та інші представили широке дослідження доцільності застосування фотоелектричних систем в будівлях. Вони відзначили, що фотоелектричні системи добре підходять для низькотемпературних застосувань. Вони також зазначили, що для того, щоб фотоелектричні системи займали більшу частку на ринку відновлюваних джерел енергії, необхідні подальші дослідження. Цзі та інші запропонували детальну імітаційну модель для фотоелектричної настінної конструкції з різними режимами інтеграції (з вентиляцією і без неї). У дослідженні були враховані екологічні умови Гонконгу. Було проаналізовано вплив різних режимів інтеграції на річну вихідну потужність та надходження тепла. Результати показали, що фотоелектрична стіна з вентиляцією має дуже незначне покращення вихідної потужності. Однак, фотоелектрична стіна з вентиляцією значно зменшує надходження тепла в порівнянні зі стіною без вентиляції. Це означає суттєву економію енергії для системи кондиціонування. Базіліан і Прасад розробили чисельну модель для моделювання роботи інтегрованої в будинок когенераційної системи житлового масштабу. Вони помітили, що результати моделювання чудово узгоджуються з експериментальними дослідженнями при прогнозуванні вихідних температур

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 37  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



повітря та фотоелектричних елементів. Меі та інші представили динамічну модель на основі TRNSYS для повітряного фотоелектричного колектора, інтегрованого в будівлю. Було оцінено навантаження на опалення та охолодження будівлі в різних європейських регіонах. Було досліджено вплив кліматичних змін на продуктивність. Результати показали, що в Барселоні 12% теплового навантаження на опалення можна забезпечити за рахунок фасаду, в той час, як в Штутгарті та Лафборо - лише 2% теплового навантаження на вентиляцію.

Картмелл та інші змодельовали даховий багатофункціональний вентиляований гібридний фотоелектричний/тепловий колектор і спостерігали за його роботою протягом 6 місяців. Система складалася з фотоелектричних елементів площею 37 м<sup>2</sup> і теплового колектора площею 12,5 м<sup>2</sup>. Результати моделювання показали, що система, запропонована в дослідженні, може зробити значний внесок в обігрів приміщень протягом року. Тунг досліджував сонячну сушарку для сушіння трав і рослин, що використовує гаряче повітря від гібридних повітряних фотоелектричних/теплових колекторів. Загальна площа колекторів становила 72 м<sup>2</sup>. Було помічено, що сушарка може бути використана для сушіння 200 кг квітів розели та лимонної трави протягом 4 і 3 днів відповідно. Нафон розробив математичну модель для прогнозування характеристик теплопередачі, продуктивності та генерації ентропії двоходового повітряного фотоелектричного колектора, доповненого поздовжніми ребрами. Оцінено вплив висоти та кількості ребер на продуктивність і генерацію ентропії. Було виявлено, що теплова ефективність зростає зі збільшенням висоти та кількості ребер. Також було відмічено, що генерація ентропії обернено пропорційна висоті та кількості ребер.

Гіаварч та Пепортъс проаналізували інтегровану в будівлю повітряну PVT-систему для екологічних умов Парижа та Ніцци. У випадку фотоелектричного колектора, інтегрованого на даху односімейного будинку в Парижі, ефективність непровітрюваних фотомодулів, закріплених на даху, була визначена на рівні 14%. Якщо фотоелектричний колектор використовувався для попереднього підігріву вентиляційного повітря, то ефективність досягала 20%. Асоа та інші розробили

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 38  |

новий гібридний повітряний фотоелектричний колектор, який можна інтегрувати в дах або фасад. Колектор складається з ребристого поглинача з листової сталі в поєднанні з фотоелементами та шаром текстилю, як показано на рисунку 1.13. Вони виявили, що теплова ефективність фотоелектричного колектора може досягати 80% при відповідній довжині колектора і масовій швидкості потоку.

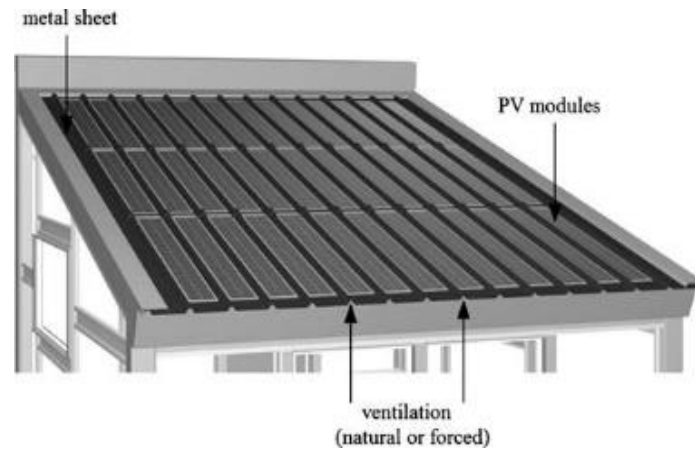


Рис. 1.13 - Повітряний PVT колектор з ребристим абсорбером із листової сталі

Джоші та Тіварі дослідили енергетичну та теплову ефективність гібридного повітряного фотоелектричного колектора для умов навколишнього середовища Срінагару, Індія. Кліматичні дані Срінагару за 4 роки були отримані від Індійського метеорологічного департаменту. Було виявлено, що миттєва енергетична та теплова ефективність колектора варіювала між 55 і 65% та 12 і 15%, відповідно. Альфегі та інші представили математичну модель і процедуру її розв'язання для одноходового гібридного повітряного фотоелектричного колектора з СРС і ребрами з обох боків абсорбера, як показано на рисунку 1.14. Повітря, як робоча рідина, протікає між верхнім склом і поглинальною пластиною, а також між абсорбером і нижньою пластиною. Було визначено температуру циркуляційного повітря як функцію відстані в напрямку потоку для обох сторін. Для рівня інтенсивності освітлення  $400 \text{ Вт/м}^2$  було виявлено, що загальна ефективність фотоелектричного колектора збільшується з 26,6 до 39,1%, тоді як масова витрата повітря змінюється від 0,0316 до 0,09 кг/с.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 39  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

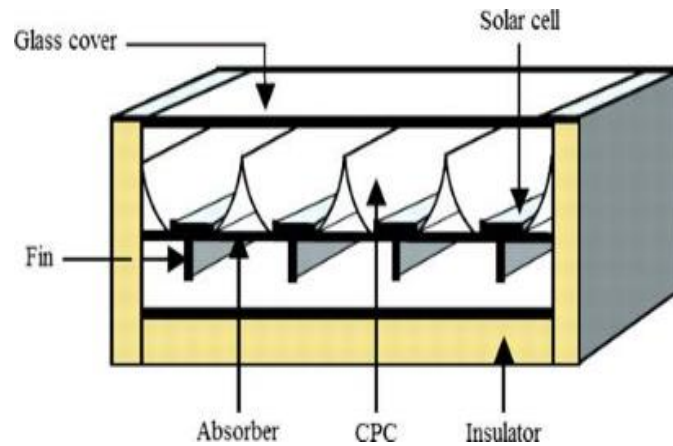


Рис. 1.14 - Двопрохідний повітряний колектор PVT з ребрами та CPC

В університеті науки та техніки Китаю Цзі та інші теоретично та експериментально проаналізували стіну з фотоелектричних колекторів. Вони дійшли висновку, що температуру в приміщенні можна підвищити на 5-7°C взимку, а електричну ефективність можна підтримувати на рівні 10,4%, використовуючи систему, запропоновану в дослідженні.

Новий гібридний повітряний фотоелектричний колектор був спроектований, виготовлений і протестований Соланкі для різних робочих параметрів. На основі рівнянь енергетичного балансу було розроблено стаціонарну теплову модель. Було визначено, що теплова та електрична ефективність колектора становить 42 та 8,4% відповідно. Джин та інші розробили одноходовий повітряний фотоелектричний колектор з прямокутним тунельним абсорбером, як показано на рисунку 1.15. Прямокутний тунель діяв як поглинач і був розташований на задній стороні фотоелектричної панелі. Фотоелектричний колектор був протестований на сонячному симуляторі. Для рівня інтенсивності освітлення 817,4 Вт/м<sup>2</sup>, масової швидкості потоку 0,0287 кг/с і температури навколишнього середовища 25°C електрична, теплова і загальна ефективність фотоелектричного колектора були визначені на рівні 10,02, 54,70 і 64,72% відповідно.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 40  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

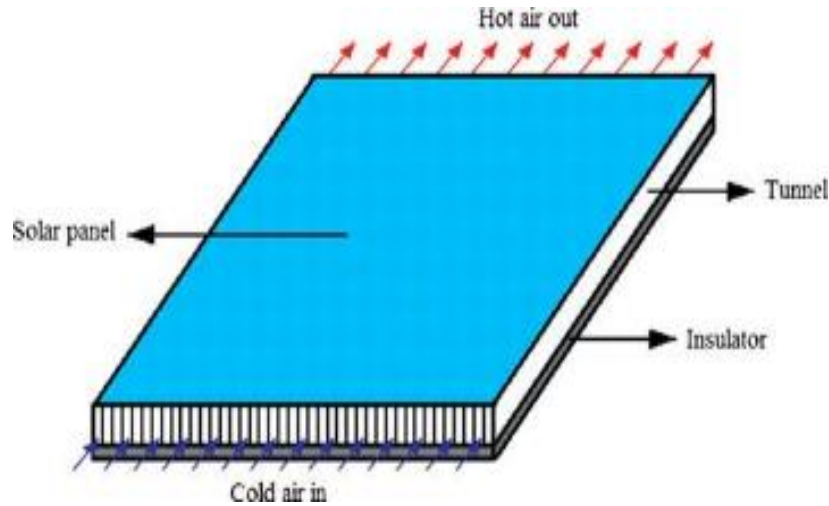


Рис. 1.15 - Однопрохідний повітряний PVT колектор з прямокутним тунельним абсорбером

Кумар і Розен нещодавно дослідили гібридний повітряний фотоелектричний колектор з двоходовою конфігурацією і вертикальними ребрами. Ребра були розташовані перпендикулярно до напрямку повітряного потоку для підвищення швидкості теплопередачі та ефективності. Було оцінено вплив конструктивних, кліматичних та експлуатаційних параметрів на температуру повітря на виході, температуру комірки, теплову, електричну та загальну ефективність. Було виявлено, що збільшена площа ребер помітно знижує температуру фотоелектричного елемента з 82 до 66°C. Альта та інші проаналізували три різні повітряні фотоелектричні колектори. Колектори були протестовані для трьох різних масових витрат (25, 50 і 100 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год) і кутів нахилу (0, 15 і 30°). Було виявлено, що ефективність ребристих колекторів вища, ніж у колекторів без ребер. Прикріплення ребер на поверхні абсорбера збільшило ефективність колектора. Також було відмічено, що використання більш прозорої кришки та ребер збільшує різницю температур. Чжао та інші розробили новий фотоелектричний даховий модуль, який виконує роль елемента даху, генератора електроенергії та випарника системи теплових насосів. Результати показали, що система теплових насосів на основі фотоелектричних модулів має вищу продуктивність порівняно з фотоелектричними та фотоелектрично-тепловими системами.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 41  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

## 1.7 Різні конструкції PVT колекторів

Конструкція гібридних фотоелектричних колекторів має важливий вплив на параметри продуктивності. У тексті детально досліджено різні конфігурації систем з водяних та повітряних фотоелектричних колекторів. Найпоширеніші конструкції, що проаналізовані дослідниками, показані на рис. 1.16a-d. У першій конструкції фотоелектричний модуль кріпиться на поглинальній пластині з металевими елементами, як показано на рисунку 1.16a. У другому варіанті робоча рідина протікає над фотоелектричним модулем, як показано на рисунку 1.16b. Третя конструкція складається з декількох каналів під фотоелектричним модулем, як показано на рисунку 1.16c. У четвертій конфігурації прозори модулів використовуються з декількома робочими рідинами, як показано на рисунку 1.16d. Остання конструкція є кращою, оскільки вона забезпечує вищу температуру фотоелемента, але складність геометрії подвійного поглиначу ускладнює виготовлення модуля.

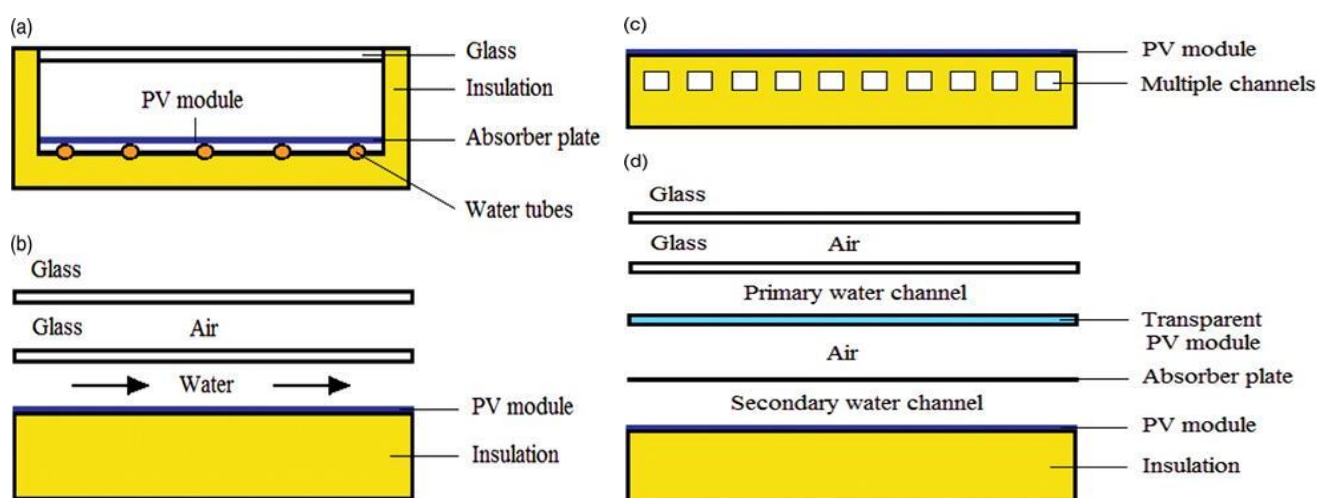


Рис. 1.16 - Різні конфігурації гібридного PVT колектора

Тріпаногностопулос та інші досліджували фотоелектричну систему з подвійним відбором тепла: з водою та з циркуляцією повітря. Експериментальна модель складалася з фотоелектричного модуля рс-Si з повітряним каналом на задній поверхні фотоелектричного модуля, належним чином сконструйованого для

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 42  |

гнучкості при зміні місця теплообмінного елемента циркуляційної води. Система PVT була протестована в трьох розрахункових режимах, як показано на рисунку 1.17. Результати показали, що розміщення теплообмінника на задній поверхні фотоелектричного колектора (режим А) забезпечує найбільш ефективне поєднання відбору тепла води та повітря. Науковці проаналізували продуктивність двох типів повітряних фотоелектричних колекторів. У першій системі комерційний фотоелектричний модуль pc-Si поєднувався з чорним текстилем. Друга система складалася з прозорого текстилю на передній панелі та скла на задній поверхні фотомодуля. Обидві системи були протестовані у вертикальному положенні з природною та примусовою циркуляцією повітря. Було виявлено, що другий повітряний фотоелектричний колектор забезпечує на 6°C нижчу температуру фотоелементів, що призводить до збільшення електричної ефективності. Тіварі та Содха дослідили різні конфігурації гібридних повітряних фотоелектричних колекторів, які розглядаються як не скляні та засклені фотоелектричні нагрівачі повітря, з текстилем та без нього. Чисельні розрахунки були виконані для умов навколишнього середовища Нью-Делі, Індія, і результати для різних конфігурацій були порівняні. Було виявлено, що засклений гібридний фотоелектричний колектор без текстилю демонструє найкращі показники. Також було відзначено, що загальна ефективність гібридного фотоелектричного колектора знижується зі збільшенням довжини фотомодуля через більші втрати в системі. Джоші та інші науковці проаналізували два типи фотоелектричних колекторів, які називаються системами "скло-скло" та "скло-текстиль". Результати обох систем були порівняні для кліматичних умов Нью-Делі, Індія. Було виявлено, що система "скло-скло" має кращі показники з точки зору загальної теплової ефективності.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 43  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



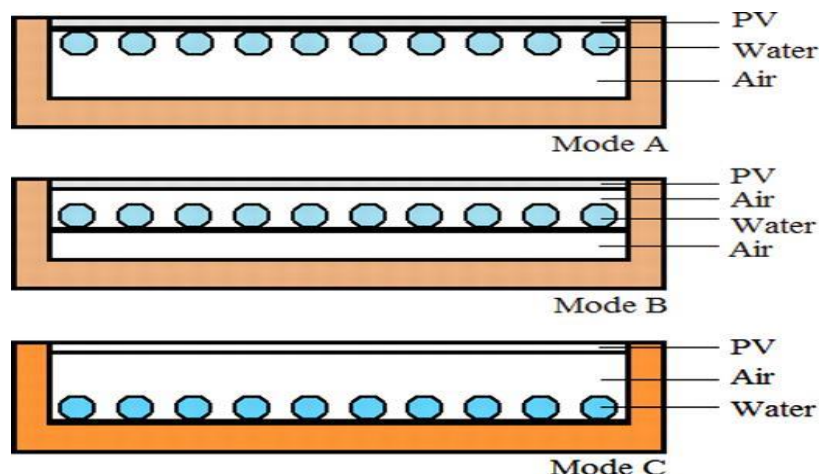


Рис. 1.17 - Незасклені PVT колектор з трьома різними конфігураціями

Ерділ та інші розробили, сконструювали та випробували гібридну фотоелектричну систему для умов навколишнього середовища Кіпру. В якості охолоджуючої рідини в дослідженні використовувалася вода. Охолоджувальна рідина циркулювала між склом і фотоелектричним модулем з метою попереднього нагрівання для побутових потреб. Було виявлено, що період окупності конфігурації становить  $< 2$  років, що робить гібридну фотоелектричну систему економічно привабливою. Кумар і Розен представили огляд останніх розробок повітряних фотоелектричних колекторів. Вони дійшли висновку, що необхідні подальші дослідження для підвищення ефективності та зниження вартості фотоелектричних систем [22].

### 1.8 Експериментальна робота над гібридними сонячними колекторами

Гібридні фотоелектричні колектори експериментально вивчалися багатьма дослідниками з 1970-х років. Загальна мета цих досліджень полягала в розробці оптимальної конфігурації фотоелектричної системи та підвищенні теплової та електричної ефективності системи. Тріпанagnostопулос та інші експериментально дослідили повітряний фотоелектричний колектор з трьома модифікаціями повітряного каналу. У першій конфігурації повітряний фотоелектричний колектор, як показано на рисунку 1.18а, був випробуваний для різних глибин

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 44  |

повітряного каналу. У другій конфігурації фотоелектричний колектор був доповнений ребрами та трубками, як показано на рисунку 1.18b. Нарешті, в третій конфігурації посередині повітряного каналу був розміщений плоский металевий лист, як показано на рисунку 1.18c. Результати експериментів показали, що велика глибина повітряного каналу призводить до зниження теплової потужності системи. Було зроблено висновок, що використання ребер і трубок є кращим з точки зору теплових і електричних характеристик фотоелектричного колектора, але було відзначено, що слід враховувати додаткові витрати та падіння тиску. Крім того, було виявлено, що металевий лист посередині повітряного каналу збільшує теплову та електричну потужність системи.

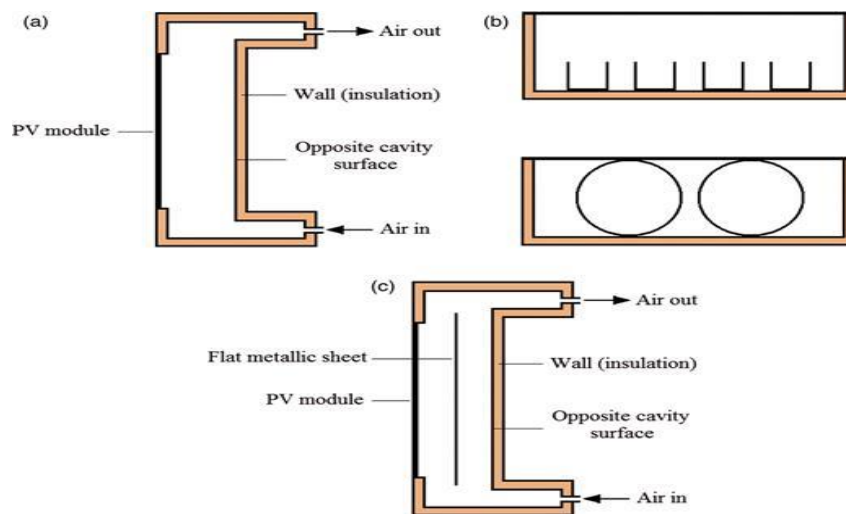


Рис. 1.18 - Гібридний повітряний PVT колектор з трьома різними конфігураціями

Тонуї та Тріпанагностопулос провели експериментальне та чисельне дослідження склопакета, інтегрованого з фотоелектричними елементами a-Si. Дослідження проводилося в місті Хефей, східний регіон Китаю. Було виявлено, що при використанні фотоелектричних склопакетів значно зменшуються тепловтрати в приміщенні. Було відзначено, що фотоелектричні склопакети є досить перспективними в офісних будівлях для зниження витрат і підвищення ефективності. Сінь та інші нещодавно дослідили ефективність стіни з фотоелектричних склопакетів з різними конструкціями південного фасаду. Було

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 45  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



помічено, що збільшення площі фотоелементів на склі може знизити теплову ефективність стіни PV-Trombe до 17%. Враховуючи електричне перетворення, загальна ефективність використання сонячної енергії знижується максимум на 5% при повному покритті скління фотоелементами. Лі та інші експериментально проаналізували електричні та теплові характеристики колектора площею 2 м<sup>2</sup>, що концентрує PVT систему. В експериментах використовувався один масив фотоелементів c-Si, масив фотоелементів pc-Si, масив суперфотоелементів і масив фотоелементів GaAs, відповідно. Результати експерименту показали, що електричні характеристики системи з фотоелементами GaAs є кращими, ніж у фотоелементів c-Si. З іншого боку, теплові характеристики системи з одним масивом фотоелементів c-Si та масивом фотоелементів pc-Si є кращими [28].

### 1.9 Засклені та незасклені PVT колектори

Фуджісава і Тані досліджували гібридний PVT-колектор, який складався з рідинного нагрівального плоского сонячного колектора з моно-c-Si фотоелементами на підкладці неселективної алюмінієвої поглинальної пластини. У дослідженні було проведено ексергетичний аналіз, оскільки він забезпечує якісну оцінку виробленої електричної та теплової енергії. Вони відзначили, що вихід ексергії в незаскленій конфігурації трохи вищий, ніж в односкляній конфігурації. Санднес і Рекстад досліджували гібридний водяний фотоелектричний колектор з полімерною абсорбуючою пластиною. Вони дійшли висновку, що втрати тепла від фотоелектричного колектора можна зменшити за допомогою додаткового покривного скла, але конструкція скління призводить до збільшення втрат на відбиття. Зондаг та інші проаналізували дев'ять типів фотоелектричних колекторів і порівняли їхні характеристики. Результати показали, що конструкція з одним покривним листом і трубкою є найбільш перспективною з розглянутих концепцій для виробництва гарячої води для побутових потреб. З іншого боку, відкритий фотоелектричний колектор буде кращим для низькотемпературного застосування, оскільки втрати на відбиття від кришки не враховуються. Фрезе та інші вивчали

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 46  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

енергетичні характеристики гібридного водяного фотоелектричного колектора в поєднанні з DSF. Було розглянуто чотири різні конфігурації фотоелектричного колектора з урахуванням зашкленних і незашкленних концепцій. Для фотоелектричного колектора зі скляним покриттям річна електрична ефективність була визначена на рівні 6,8%, що на 28% менше у порівнянні зі звичайним неінтегрованим фотоелектричним модулем з річною ефективністю 9,4%. Чоу та інші проаналізували фактор скляного покриття на гібридній водяній фотоелектричній системі з точки зору термодинаміки. Було виявлено, що зашклена фотоелектрична система завжди підходить для максимізації теплового або загального виходу енергії. З точки зору енергетичного аналізу, збільшення ефективності фотоелементів, коефіцієнта заповнення і швидкості вітру було визнано сприятливим для незашкленої системи, тоді як збільшення інтенсивності освітлення і температури навколишнього середовища було сприятливим для зашкленої системи. Вони також підкреслили, що якщо метою проєктування є отримання більшої кількості електричної енергії або збільшення загального обсягу виробництва енергії в "якісному" відношенні, то для оцінки буде більш доречним показник ексергетичної ефективності. Пантіч та інші досліджували енергетичні характеристики трьох різних відкритих контурів повітряного опалення, інтегрованих в будівлю фотоелектричних систем. Вони дійшли висновку, що зашклена конфігурація значно зменшує виробництво електроенергії та призводить до надмірно високих температур фотоелектричних панелей.

### 1.10 Майбутній потенціал PVT колекторів

Як повідомляють Хасан і Суматі, доцільність гібридних фотоелектричних систем залежить від їхньої технічної та економічної конкурентоспроможності порівняно з альтернативами. Енергетичні ресурси на основі викопного палива все ще домінують з найбільшою часткою у світовому енергоспоживанні, але виробництво екологічно чистої енергії стає все більш важливим через зростаючу важливість екологічних проблем. Очікується, що життєздатність гібридних

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 47  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

фотоелектричних систем буде більш вираженою, коли екологічні витрати на традиційне виробництво електроенергії буде важко компенсувати. Теоретичні та експериментальні дослідження фотоелектричних систем вказують на те, що фотоелектричні системи мають великий потенціал для того, щоб зайняти більшу частку на ринку відновлюваної енергетики в найближчому майбутньому. Але також зазначається, що для того, щоб виправдати очікування, необхідні подальші дослідження. [23]

#### Висновок до розділу 1

1. Історія перших розробок сучасних PVT колекторів бере початок з кінця XIX ст., і по сьогоднішній день вчені багатьох країн світу займаються науково-дослідною роботою над удосконаленням їхніх технічних характеристик.

2. Гібридні сонячні колектори виробляють більше енергії на одиницю площі поверхні, ніж фотоелектричні модулі та сонячні теплові колектори, що стоять поруч. Тому фотоелектричні системи особливо підходять для застосування там, де доступна площа поверхні обмежена.

3. Гібридні сонячні колектори можуть повністю задовольнити потреби будівель в електроенергії та теплі, а також значно знизити викиди CO<sub>2</sub>.

4. Фотоелектричні системи є надійними та працюють безшумно. Термін служби цих систем становить близько 20-30 років, а витрати на обслуговування незначні.

5. Теплова ефективність водяних колекторів вища, ніж повітряних.

6. Теплову та електричну ефективність фотоелектричних систем можна значно підвищити, використовуючи недорогі відбиваючі поверхні.

7. Засклені гібридні сонячні колектори завжди підходять для максимізації теплової або загальної потужності.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного тепlopостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 48  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

## РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ГІБРИДНИХ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ ТА ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ

### 2.1 Короткий опис об'єкта дослідження та зміст проблем, що пов'язані з гарячим водопостачанням будинку

Якість гарячого водопостачання – завжди актуальне питання. Окрім температури, якості та гігієнічних параметрів води, також важливими є питання продуктивності, зручності та економічності системи гарячого водопостачання (надалі – ГВП).

Об'єкт науково-дослідної роботи розташований у місті Рівне - це житловий будинок, який складається з трьох під'їздів. У першому під'їзді 25 квартир та в інших двох під'їздах по 30 квартир із загальною жилою площею 4588,9 м<sup>2</sup>. На покрівлі першої секції збудоване приміщення дахової котельні, в самій котельні розміщені конденсаційні котли Vaillant ecoTEC plus у кількості п'яти штук з номінальною потужністю 120 кВт кожний. Також тут змонтований блок управління, з якого керують котельнею та бойлерною, яка знаходиться в підвальному приміщенні цієї ж секції.

У бойлерну заходять труби з котельні, де вони діляться на дві гілки з підключенням до теплообмінників Danfoss на потреби опалення потужністю 640 кВт та на ГВП потужністю 150 кВт. У загальній системі ГВП будинку для гідроаккумуляції води встановлені два баки-накопичувачі по 1000 м<sup>3</sup> та система примусової циркуляції (насосні групи): малого кола - від теплообмінника до буферів і великого кола - від буферів до вузлів обліку квартир. Проводиться хімоводоочищення і підготовка води, а також ведеться тепловий облік спожитого тепла на потреби гарячого водопостачання.

На основі наявного об'єкта, за даними управлінської компанії та співвласників будинку, існує ряд проблем, що пов'язані з ГВП, а саме:

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 49  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

1) висока ціна за куб води. У жителів будинку є бажання знайти альтернативу природному газу;

2) у пікові години розбору вода не встигає прогріватися до потрібних температурних норм у 55 °С. Стосовно цієї проблеми потрібно перерахувати:

- буферні ємності для ГВП (чи достатньо тих, що знаходяться в бойлерній);
- чи справляється теплообмінник з навантаженням на ГВП, коли запас води в гідроакумуляторах вичерпаний;

3) через війну додалися блекауті світла – з'явилися перебої в роботі котельні.

Управлінська компанія тимчасово вирішувала проблему зі стабільністю світла, поставивши дизельного генератора, але це спричинило ряд проблем:

- додаткові видатки на підключення генератора та закупівлю пального;
- пошук людини для майже постійного контролю за генератором;
- утворення стороннього шуму від роботи самого генератора, що заважає жителям будинку та сусідам;
- утворення чадного газу, який виділяється та має негативний вплив як на здоров'я людей, так і на навколишнє середовище.

На мою думку, можливим розв'язанням даних проблем може бути інтеграція в наявну систему ГВП гібридних сонячних колекторів, що одразу вирішить питання енергетичної незалежності котельні, а також підвищить продуктивність та ефективність системи автономного тепlopостачання житлового будинку, що в подальшій перспективі призведе до економії коштів за рахунок комбінованого використання традиційних та нетрадиційних джерел енергії.

## 2.2 Забезпечення потреб на гаряче водопостачання за рахунок гібридної сонячної установки в Україні

При розрахунку потреб у гарячій воді від PVT установки у формі плоского колектора, яка використовується тільки для гарячого водопостачання (ГВП), за рік

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного тепlopостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 50  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

ефективно використовується 45-60 % енергії, що випромінюється сонцем. У літній період покриття потреб в гарячій воді може складати 100% (рисунок 2.1). На досягнення таких показників впливають: інтенсивність сонячної радіації залежно від регіону, теплопродуктивність гібридного сонячного колектора, теплове навантаження системи гарячого водопостачання, енергетичні та геометричні характеристики PVT колекторів. До переліку розрахункових параметрів входять: загальна площа поверхні колекторів у системі ГВП, об'єм акумулятора теплоти для компенсації піків споживання, річна частка сонячної енергії в покритті теплового навантаження та річна економія палива і строк окупності установки. Ефективне використання гібридного сонячного колектора можливе з віддачею в 50% та більше, а це приблизно 9 місяців у південних областях України (з березня по листопад), і 7 місяців у північних областях (з квітня по жовтень). Звичайно, взимку ефективність незначна, але все одно покриває 15 % потреби в системі ГВП [1].

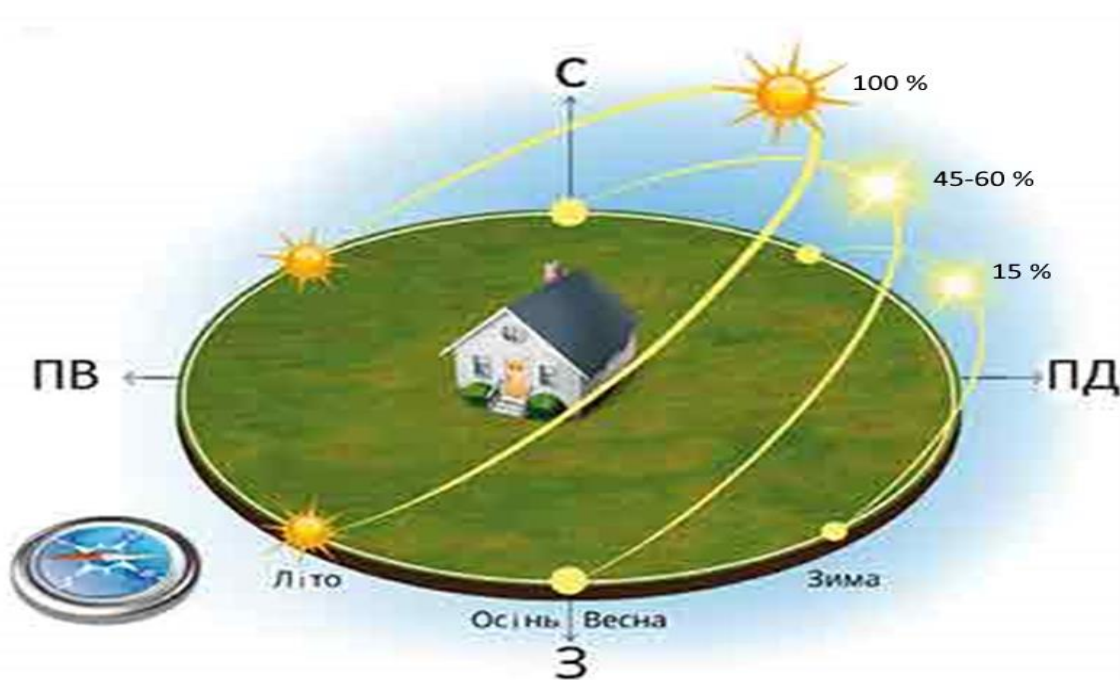


Рис. 2.1 - Ефективність використання енергії, що випромінюється сонцем в різні періоди року

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 51  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



### 2.3 Розрахунок сонячної енергії, що надходить на гібридний сонячний колектор у дослідному регіоні

Сумарну середньомісячну або середньорічну денну сонячну енергію, прийняту 1 м<sup>2</sup> сонячного колектора, вимірюють у Вт·год/м<sup>2</sup> та обчислюють за формулою 2.1

$$E_K = R \cdot E \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{день)}, \quad (2.1)$$

де  $E$  – середньомісячна денна або середньорічна денна сумарна кількість сонячної енергії, що надходить на горизонтальну поверхню;  
 $R$  – відношення середньомісячних або середньорічних денних кількостей сонячної радіації, що надходять на похилу та на горизонтальну поверхні.

За своїми кліматичними умовами Україна належить до територій із середньою інтенсивністю сонячної радіації. Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні становить приблизно 1235 кВт·год/м<sup>2</sup>, що є досить високим показником. На рисунку 2.2 відображено дані Інституту відновлюваної енергетики.

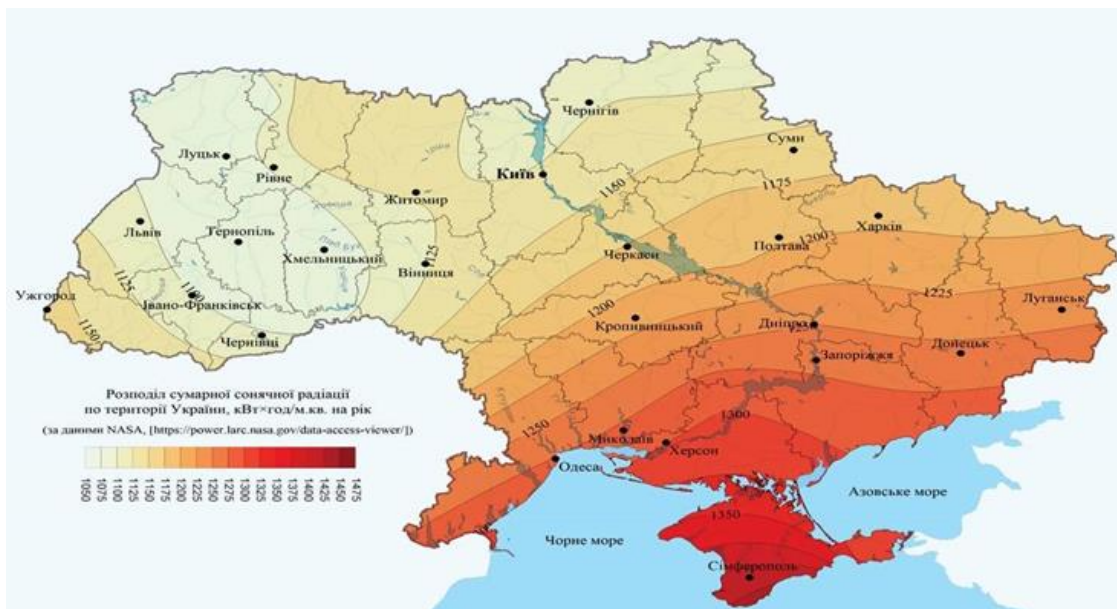


Рис. 2.2 - Потенціал сонячної енергії України (джерело – Інститут відновлюваної енергетики)

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 52  |



Коли доходить справа до практики, то для простоти підрахунку беруть широти з розташуванням місцевості певного регіону [18]. Таким показником можна оцінити річну ефективність сонячного колектора та кількість тепла, що ним виробляється, але без урахування поділу по місяцях та по навантаженнях на ГВП.

Для південної орієнтації гібридного сонячного колектора для перетворення на теплову енергію використовується пряме, розсіяне та відбите сонячне випромінювання, яке відображене на рисунку 2.3 і вираховується за формулою 2.2



Рис. 2.3 - Сонячне випромінювання на Землі

$$R = \left(1 - \frac{E_P}{E}\right) \cdot R_{\Pi} + \frac{E_P}{E} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (2.2)$$

де  $E_P$  – середньомісячна денна кількість розсіяного сонячного випромінювання, що надходить на горизонтальну поверхню, Вт/(м<sup>2</sup>·день);

$E$  – середньомісячна денна частка розсіяного сонячного випромінювання;

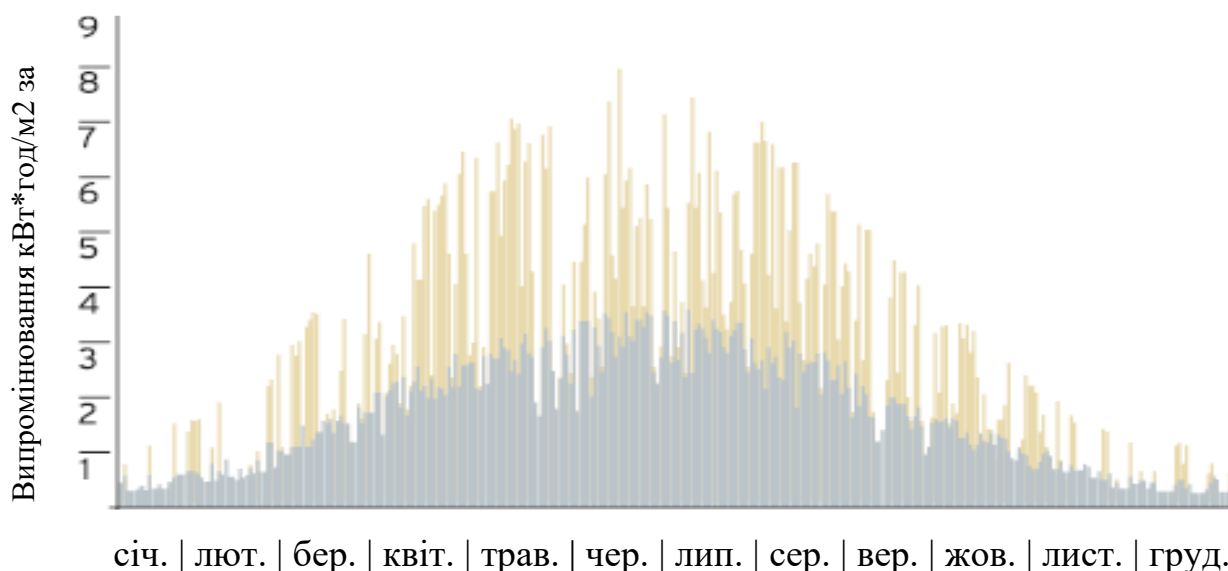
$R_{\Pi}$  – середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальної на похилу поверхню;

$\beta$  – кут нахилу поверхні сонячного колектора до горизонту;

$\rho$  – коефіцієнт відбивання (альbedo) поверхні Землі та навколишніх тіл, який зазвичай приймають рівним 0,7 для зимових умов та 0,2 для літніх.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 53  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Нижче на графіку 2.1 показаний річний розподіл випромінювання.



Графік 2.1 – річний розподіл випромінювання

Для укрупнених розрахунків можна користуватися значеннями  $R$ , що наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – відношення кількості середньомісячних днів до сонячної радіації

| Місяць                 | Кут нахилу панелі до горизонту в градусах ( $\beta$ ) |      |      |      |
|------------------------|-------------------------------------------------------|------|------|------|
|                        | 30                                                    | 45   | 60   | 90   |
| Січень                 | 1,3                                                   | 1,37 | 1,37 | 1,18 |
| Лютий                  | 1,35                                                  | 1,43 | 1,44 | 1,23 |
| Березень               | 1,24                                                  | 1,27 | 1,23 | 0,98 |
| Квітень                | 1,1                                                   | 1,07 | 0,99 | 0,69 |
| Травень                | 1,02                                                  | 0,95 | 0,84 | 0,53 |
| Червень                | 0,98                                                  | 0,9  | 0,78 | 0,47 |
| Липень                 | 0,99                                                  | 0,92 | 0,81 | 0,49 |
| Серпень                | 1,07                                                  | 1,02 | 0,93 | 0,62 |
| Вересень               | 1,2                                                   | 1,21 | 1,15 | 0,88 |
| Жовтень                | 1,34                                                  | 1,41 | 1,4  | 1,18 |
| Листопад               | 1,32                                                  | 1,4  | 1,4  | 1,21 |
| Грудень                | 1,41                                                  | 1,52 | 1,56 | 1,39 |
| Середньорічне значення | 1,11                                                  | 1,09 | 1,01 | 0,72 |

Даний об'єкт знаходиться в місті Рівне, Рівненської області, у північно – західному регіоні України, широта  $50^{\circ}35'$ . Згідно з таблицею середньорічне значення коефіцієнта  $R$  має найкращі показники для кутів нахилу колектора від  $45$  до  $30$  градусів, тому PVT колектор планується розміщати саме так, відносно горизонту та строго в напрямку півдня. Для порівняння вирахуємо два значення. Спираючись на будівельну кліматологію, середньомісячне надходження сумарної сонячної радіації  $E$  (кВт·год/м<sup>2</sup>), що надходить на горизонтальну і вертикальну поверхні різної орієнтації, та середньомісячна температура зовнішнього повітря  $T_z$  (°C) міста Рівне становлять:

Таблиця 2.2 – середньомісячна сонячна радіація

| Рівне, широта $50^{\circ}35'$    | січ. | лют. | бер. | квіт. | трав. | чер. | лип. | сер. | вер. | жов. | лис. | гр.  | річне |
|----------------------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $E$<br>(кВт·год/м <sup>2</sup> ) | 35   | 87   | 90   | 111   | 138   | 145  | 141  | 136  | 100  | 67   | 31   | 24   | 1105  |
| $T_z$ (°C)                       | -4,6 | -3,4 | 0,7  | 8,0   | 13,8  | 16,7 | 18,2 | 17,5 | 13,1 | 7,7  | 2,1  | -2,6 | 7,3   |

Середня річна кількість сонячної енергії, що надходить у м. Рівне, Рівненської області на поверхню гібридного сонячного колектора, який умовно буде встановлений під двома кутами  $45^{\circ}$  та  $30^{\circ}$  до горизонту й орієнтований у напрямку півдня, за формулою 1.1 становитиме:

$$E_K^{30} = R \cdot E = 1,11 \cdot 1105 = 1227 \text{ кВт·год}/(\text{м}^2 \cdot \text{рік}),$$

$$E_K^{45} = R \cdot E = 1,09 \cdot 1105 = 1205 \text{ кВт·год}/(\text{м}^2 \cdot \text{рік}).$$

Висновок.

Надходження сумарної радіації зумовлене висотою сонця, тривалістю дня, прозорістю атмосфери та хмарністю. Спеціалістами встановлено оптимальні кути нахилу робочої поверхні колектора південної орієнтації до горизонту: за сезонного використання (з квітня по вересень) -  $39^{\circ}$ , для зими -  $73^{\circ}$ , для літа -  $34^{\circ}$ , для усього року (за цілорічного використання) -  $54^{\circ}$ .

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 55  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

## 2.4 Розрахунок кількості мешканців в житловому будинку відносно жилої площі

Об'єкт дослідження (будинки) складається з трьох під'їздів, де знаходиться дахова котельня з бойлерною. Для визначення потреб на ГВП необхідно обчислити кількість жителів у будинку. З вихідних даних маємо:

I під'їзд - 5-квартирну секцію за формулою квартир поверху 1-2-2-2-3;

II під'їзд - 6-квартирну секцію за формулою квартир поверху 1-1-1-1-1-2;

III під'їзд - 6-квартирну секцію за формулою квартир поверху 1-1-1-1-1-2.

Згідно з ДБН 2.2-15:2019 визначаємо розрахункову кількість мешканців залежно від площі квартири (за нормою 21 м<sup>2</sup> на людину плюс 10,5 м<sup>2</sup> на сім'ю – табл. 2.3, табл. 2.4, табл. 2.5). Коефіцієнт заселення приймають 1,43 чол. – 1-кімнатна квартира; 2,0 чол. – 2-кімнатна; 2,62 – 3-кімнатна. Наведений підхід дозволяє досить коректно порахувати кількість мешканців у будинках, в яких квартири спроектовані за площами, близькими до вимог.

Таблиця 2.3 - Розрахункова кількість людей у першій секції будинку

| Вид квартири | Площа квартири     | Кількість квартир в будинку | Загальна площа квартир на будинок | Розрахунковий коефіцієнт на заселення | Розселення по будинку |
|--------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| 1            | 43,76 (33,26+10,5) | 5                           | 218,8                             | 1,43                                  | 7                     |
| 2            | 69,09 (58,59+10,5) | 5                           | 345,4                             | 2                                     | 10                    |
| 2            | 67,57 (57,07+10,5) | 5                           | 337,9                             | 2                                     | 10                    |
| 2            | 69,20 (58,70+10,5) | 5                           | 346                               | 2                                     | 10                    |
| 3            | 79,07 (68,57+10,5) | 5                           | 395,4                             | 2.62                                  | 13                    |
| Всього       |                    | 25                          | 1643,5                            |                                       | 50                    |

Таблиця 2.4 - Розрахункова кількість людей у другій секції будинку

| Вид квартири | Площа квартири     | Кількість квартир в будинку | Загальна площа квартир на будинок | Розрахунковий коефіцієнт на заселення | Розселення по будинку |
|--------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| 1            | 39,83 (29,33+10,5) | 5                           | 199,15                            | 1,43                                  | 7                     |
| 1            | 44,19 (33,69+10,5) | 5                           | 220,9                             | 1,43                                  | 7                     |
| 1            | 41,17 (30,67+10,5) | 5                           | 205,9                             | 1,43                                  | 7                     |
| 1            | 40,67 (30,17+10,5) | 5                           | 203,4                             | 1,43                                  | 7                     |
| 1            | 42,06 (31,56+10,5) | 5                           | 210,3                             | 1,43                                  | 7                     |
| 2            | 69,26 (58,76+10,5) | 5                           | 346,3                             | 2                                     | 10                    |
| 1            | 54,79 (44,29+10,5) | 1                           | 54,79                             | 1,43                                  | 1                     |
| 2            | 77,63 (67,13+10,5) | 1                           | 77,63                             | 2                                     | 2                     |
| Всього       |                    | 30                          | 1472,9                            |                                       | 48                    |

Таблиця 2.5 - Розрахункова кількість людей у третій секції будинку

| Вид квартири | Площа квартири     | Кількість квартир в будинку | Загальна площа квартир на будинок | Розрахунковий коефіцієнт на заселення | Розселення по будинку |
|--------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| 1            | 44,17 (33,67+10,5) | 5                           | 220,9                             | 1,43                                  | 7                     |
| 1            | 39,82 (29,32+10,5) | 5                           | 199,1                             | 1,43                                  | 7                     |
| 1            | 41,17 (30,67+10,5) | 5                           | 205,8                             | 1,43                                  | 7                     |
| 1            | 40,67 (30,17+10,5) | 5                           | 203,4                             | 1,43                                  | 7                     |
| 1            | 42,06 (31,66+10,5) | 5                           | 210,3                             | 1,43                                  | 7                     |
| 2            | 69,27 (58,77+10,5) | 5                           | 346,4                             | 2                                     | 10                    |
| 1            | 54,83 (44,33+10,5) | 1                           | 54,83                             | 1,43                                  | 1                     |
| 2            | 77,64 (67,14+10,5) | 1                           | 77,64                             | 2                                     | 2                     |
| Всього       |                    | 30                          | 1472,5                            |                                       | 48                    |

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 57  |

## Висновок

З урахуванням отриманих креслень із загальними житловими площами квартир типового поверху та відповідно до зведених даних таблиць, кількість людей у трьох секція, які там проживають, складає 146 осіб.

## 2.5 Розрахунок потреби води на гаряче водопостачання споживачів будинку

Гаряче водопостачання в житлових будинках використовують для задоволення гігієнічних і побутових потреб. Розрізняють такі системи гарячого водопостачання: централізована та децентралізована. У нашому випадку, оскільки вода нагрівається від дахової котельні, маємо децентралізовану систему. І в ній приготування гарячої води здійснюється практично біля водорозбірних приладів (на місці споживання) і передається від газових нагрівачів через теплообмінник.

Температура води після підігрівачів обумовлюється санітарно-гігієнічними вимогами. Це температура самої води, яка має триматися на рівні не нижче 55°C. А для того, щоб уникнути опіків споживачами, вода має верхню граничну температуру в 75°C. Також гаряча вода, що подається споживачам, повинна відповідати вимогам до питної води.

Середній тепловий потік на гаряче водопостачання житлових будівель, Вт, для опалювального періоду визначають за формулою 2.3.

$$Q_{г.в}^з = \frac{K \cdot (a \cdot m) \cdot (55 - T_1)}{m \cdot c \cdot 3600} \cdot c_v, \quad (2.3)$$

де  $a$  - норма витрати води, кг, на гаряче водопостачання при температурі 55 °C за добу на одного жителя, що проживає в житловому будинку з гарячим водопостачанням, яка приймається залежно від ступеня комфортності будівель відповідно до ДБН В.2.5-64:2012 - 75 л;

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 58  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

$c_v$  - питома теплоємність води, яка в розрахунках приймається рівною 4187 Дж/(кг.°C);

$T_1$  - температура холодної (водопровідної) води в опалювальний період (при відсутності даних приймається рівною 5 °C);

$K = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує тепловтрати в приміщеннях від трубопроводів систем ГВП (опалення ванних кімнат, сушка білизни);

$m_c$  – розрахункова тривалість подачі води на гаряче водопостачання, год/доба. При цілодобовій подачі води  $m_c = 24$ ;

$m$  – кількість людей, мешканців.

Середній тепловий потік на гаряче водопостачання споживачів у неопалювальний період, Вт, визначають за формулою 2.4

$$Q_{г.в.}^л = Q_{г.в.}^з \frac{(55-t_c^s)}{(55-T_1)} \beta, \quad (2.4)$$

де  $t_c^s$  - температура холодної (водопровідної) води в неопалювальний період (при відсутності даних приймається рівною 15 °C);

$T_1$  - температура холодної (водопровідної) води в опалювальний період (при відсутності даних приймається рівною 5 °C);

$\beta$  - коефіцієнт, що враховує зміну середньої витрати води на гаряче водопостачання в неопалюваний період по відношенню до опалювального періоду, який приймається при відсутності даних для житлово-комунального сектора рівним 0,8.

Максимальний тепловий потік, Вт, на гаряче водопостачання житлових громадських будівель визначається за формулою 2.5. Для розуміння, чи продуктивні генератори теплоти і підігрівачі при відсутності в абонентів спеціальних баків-акумуляторів гарячої води та при приєднанні абонентів до теплових мереж зі схемами, які не передбачають використання теплоакумуючої здатності будівель [3]

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 59  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



$$Q_{г.в.маx} = (2...2,4) \cdot Q_{г.в}^3. \quad (2.5)$$

В загальному випадку формули (2.6; 2.7; 2.8) для визначення річних витрат теплоти на гаряче водопостачання житлових будинків в опалювальний період  $Q_{г.в}^3$  та в неопалювальний період  $Q_{г.в}^л$ , МДж/рік (система SI), мають вигляд:

$$Q_{г.в}^{рік} = Q_{г.в}^3 + Q_{г.в}^л, \quad (2.6)$$

$$\text{де } Q_{г.в}^3 = 1,2 \cdot \sum (a \cdot m) \cdot (t_{г.} - t_{х.з.}) \cdot c_{в} \cdot n_o \cdot 10^{-6}, \quad (2.7)$$

$$Q_{г.в}^л = 1,2 \cdot \sum (a \cdot m) \cdot (t_{г.} - t_{х.л.}) \cdot c_{в} \cdot \beta \cdot (350 - n_o) \cdot 10^{-6}, \quad (2.8)$$

де  $n_o$  - тривалість опалювального сезону, діб;

350 - число діб роботи системи гарячого водопостачання за рік.

Для загальної картини ще визначимо розрахункові середньодобові витрати гарячої води для мешканців даного будинку за формулою 2.9

$$Q_{сер.доб.} = \frac{N_m \cdot q_m}{1000}, \text{ м}^3 / \text{доб}, \quad (2.9)$$

де  $N_m$  – кількість мешканців у будинку (за вихідними даними), осіб;

$q_m$  - норма витрат води на потреби ГВП на одного мешканця.

Розрахунок теплового навантаження на ГВП будинку розпочинаю з такими зібраними вихідними даними:

Об'єкт (будівля):

кількість поверхів у будівлі - 6;

кількість секцій у будівлі - 3;

кількість квартир у будівлі - 89.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 60  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Опалювальний період і міжопалювальний період:

тривалість опалювального періоду,  $z_{ht} = 182$  діб, згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010;

тривалість міжопалювального періоду  $365$  діб -  $182$  діб  $z_{ht} = 183$  діб;

Гаряче водопостачання:

тип системи гарячого водопостачання: з ізольованими стояками з каучуковою ізоляцією;

наявність мереж гарячого водопостачання: за наявності мереж гарячого водопостачання після бойлерної;

середня витрата води одним користувачем  $g = 75$  л/добу;

кількість днів вимкнення гарячого водопостачання  $m = 15$  діб.

Використовуючи формулу 2.3, проводимо розрахунки кожної секції для теплового потоку на гаряче водопостачання в опалювальний період.

$$\text{I секція } Q_{г.в.}^з = \frac{1,2 \cdot (75 \cdot 50) \cdot (55 - 5)}{24 \cdot 3600} \cdot 4187 = 10903 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{год},$$

$$\text{II секція } Q_{г.в.}^з = \frac{1,2 \cdot (75 \cdot 48) \cdot (55 - 5)}{24 \cdot 3600} \cdot 4187 = 10467 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{год},$$

$$\text{III секція } Q_{г.в.}^з = \frac{1,2 \cdot (75 \cdot 48) \cdot (55 - 5)}{24 \cdot 3600} \cdot 4187 = 10467 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{год}.$$

А також, скориставшись формулою 2.4, обчислюємо потреби теплоти на гаряче водопостачання в неопалювальний період.

$$\text{I секція } Q_{г.в.}^л = 10903 \cdot \frac{(55 - 15)}{(55 - 5)} \cdot 0,8 = 6978 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{год},$$

$$\text{II секція } Q_{г.в.}^л = 10467 \cdot \frac{(55 - 15)}{(55 - 5)} \cdot 0,8 = 6699 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{год},$$

$$\text{III секція } Q_{г.в.}^л = 10467 \cdot \frac{(55 - 15)}{(55 - 5)} \cdot 0,8 = 6699 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{год}.$$

Для визначення максимального теплового потоку застосовуємо формулу 2.5.

$$\text{I секція } Q_{г.в. \max} = 2,4 \cdot 10903 = 26167 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{год},$$

$$\text{II секція } Q_{г.в. \max} = 2,4 \cdot 10467 = 25120 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{год},$$

$$\text{III секція } Q_{г.в. \max} = 2,4 \cdot 10467 = 25120 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{год}.$$

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 61  |

Підсумовуються розрахунки визначенням річних витрат теплоти на гаряче водопостачання за трьома формулами (2.6; 2.7; 2.8).

$$\text{I секція } Q_{г.в}^3 = 1,2 \cdot (75 \cdot 50) \cdot (55 - 5) \cdot 4187 \cdot 182 \cdot 10^{-6} = 171457,6 \text{ МДж,}$$

$$\text{II секція } Q_{г.в}^3 = 1,2 \cdot (75 \cdot 50) \cdot (55 - 5) \cdot 4187 \cdot 182 \cdot 10^{-6} = 164599,3 \text{ МДж,}$$

$$\text{III секція } Q_{г.в}^3 = 1,2 \cdot (75 \cdot 50) \cdot (55 - 5) \cdot 4187 \cdot 182 \cdot 10^{-6} = 164599,3 \text{ МДж.}$$

$$\text{I секція } Q_{г.в}^л = 1,2 \cdot (75 \cdot 50) \cdot (55 - 15) \cdot 4187 \cdot 0,8 \cdot (350 - 182) \cdot 10^{-6} = 126614,9 \text{ МДж,}$$

$$\text{II секція } Q_{г.в}^л = 1,2 \cdot (75 \cdot 48) \cdot (55 - 15) \cdot 4187 \cdot 0,8 \cdot (350 - 182) \cdot 10^{-6} = 121550,3 \text{ МДж,}$$

$$\text{III секція } Q_{г.в}^л = 1,2 \cdot (75 \cdot 48) \cdot (55 - 15) \cdot 4187 \cdot 0,8 \cdot (350 - 182) \cdot 10^{-6} = 121550,3 \text{ МДж.}$$

$$\text{I секція } Q_{г.в}^{\text{рік}} = 171457,6 + 126614,9 = 298072,6 \text{ МДж/рік,}$$

$$\text{II секція } Q_{г.в}^{\text{рік}} = 164599,3 + 121550,3 = 286149,6 \text{ МДж/рік,}$$

$$\text{III секція } Q_{г.в}^{\text{рік}} = 164599,3 + 121550,3 = 286149,6 \text{ МДж/рік.}$$

Таблиця 2.4 – зведенні дані витрат теплоти по досліджуваному об'єкті

| Назва секції | $Q_{г.в}^3$<br>Вт*год/ год | $Q_{г.в}^л$<br>Вт*год/ год | $Q_{г.в}^3$<br>кВт*год/міс | $Q_{г.в}^л$<br>кВт*год/міс | $Q_{г.в}^{\text{макс}}$<br>кВт*год/год | $Q_{г.в}^{\text{рік}}$<br>МДж/рік |
|--------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|
| I секція     | 10903                      | 6978                       | 7850,6                     | 5024,1                     | 26,1                                   | 298072,6                          |
| II секція    | 10467                      | 6699                       | 7536,6                     | 4823,2                     | 25,1                                   | 286149,6                          |
| III секція   | 10467                      | 6699                       | 7536,6                     | 4823,2                     | 25,1                                   | 286149,6                          |
| Разом        | 31837                      | 20376                      | 22923,8                    | 14670,5                    | 76,3                                   | 870371,8                          |

А також обчислюємо середньодобове споживання гарячої води за формулою 2.9.

$$\text{I секція } Q_{\text{сер.доб.}} = \frac{50 \cdot 75}{1000} = 3,75 \text{ м}^3/\text{доб,}$$

$$\text{II секція } Q_{\text{сер.доб.}} = \frac{48 \cdot 75}{1000} = 3,6 \text{ м}^3/\text{доб,}$$

$$\text{III секція } Q_{\text{сер.доб.}} = \frac{48 \cdot 75}{1000} = 3,6 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 62  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Таблиця 2.5 – зведенні дані по споживанню гарячої води

| Назва секції | $Q_{\text{сер.доб.}} \text{ м}^3/\text{доб}$ | $Q_{\text{сер.міс.}} \text{ м}^3/\text{міс.}$ | $Q_{\text{сер.річн.}} \text{ м}^3/\text{рік.}$ |
|--------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| I секція     | 3,75                                         | 112,5                                         | 1312,5                                         |
| II секція    | 3,6                                          | 108                                           | 1260                                           |
| III секція   | 3,6                                          | 108                                           | 1260                                           |
| Разом        | 10,95                                        | 328,5                                         | 3832,5                                         |

Для зручності, практики обирають простіший варіант, щоб визначити витрати гарячої води,  $\text{м}^3$ , та теплоти, кВт, вони використовують номограму (див. Додаток А).

### Висновок

Підсумовуючи розрахунки потреб води на гаряче водопостачання трисекційного будинку, ми отримали дані для подальшого визначення площі гібридних сонячних колекторів та з'ясування того, чи достатньо об'єму вже встановлених баків-акумуляторів для накопичення гарячої води в пікові години.

## 2.6 Розрахунок та перевірка підбору баків-акумуляторів та теплообмінника

Графік споживання гарячої води споживачами носить надзвичайно незбалансований характер. Навантаження на ГВП житлового будинку має, як правило, в будні дні максимум у ранкові і вечірні години та мінімальне використання води в денний і пізній нічний час (рисунок 2.4). В житлових будинках з ванними пікове навантаження гарячого водопостачання перевищує середньодобове у 2-2,5 рази. У вихідні дні добовий графік гарячого водопостачання має більш рівномірне заповнення.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 63  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

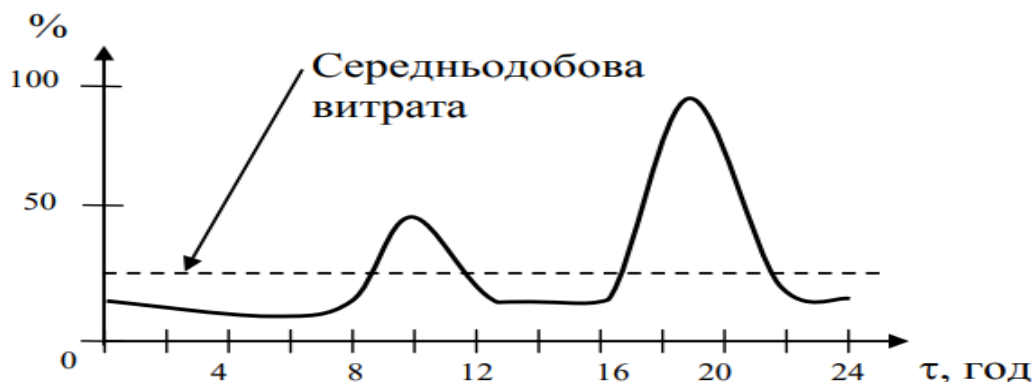


Рис. 2.4. Навантаження на ГВП житлового будинку

Розрахунок та підбір буферних ємностей має основне призначення, у нашому випадку воно полягає у накопиченні та зберіганні теплової енергії від джерела та передачі її в систему ГВП за запитом. Коротко кажучи, дає змогу усунути коливання температури гарячої води під час максимальних і мінімальних водорозборів.

Визначення об'єму теплоаккумулятора здійснюють за максимальним тепловим потоком на гаряче водопостачання, а також шляхом побудови добового та інтегрального графіків витрати теплоти. Розглянемо два варіанти.

#### Варіант 1

Об'єм бака-аккумулятора в системі гарячого водопостачання за постійної температури води розраховується за формулою 2.10.

$$V_{\text{бак.}} = \frac{Q_{\text{max.}}}{\rho \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{г.}} - t_{\text{х.}})}, \text{ м}^3, \quad (2.10)$$

де  $c$  – питома теплоємність води,  $4,186 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$\rho$  – густина води,  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

$t_{\text{х.}}$  – температура холодної води,  $^\circ\text{C}$ , у мережі водопроводу середньорічна ( $\Delta t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 64  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Таблиця 2.6 – об'єм баків по кожній секції відносно витрати теплоти

| Назва секції | $Q_{max}$ , кВт | $V_{бак}$ , м <sup>3</sup> |
|--------------|-----------------|----------------------------|
| I секція     | 26,2            | 0,5                        |
| II секція    | 25,1            | 0,48                       |
| III секція   | 25,1            | 0,48                       |
| Разом        | 76,4            | 1,46                       |

$$V_{бак} = \frac{76,4}{1000 \cdot 4,186 \cdot (55 - 10)} = 1,46 \text{ м}^3$$

Якщо в системі гарячого водопостачання передбачати ємність відкритого типу, то саме цю формулу потрібно було б використовувати.

#### Варіант 2

Другий спосіб, це коли ємність акумулятора визначається за допомогою інтегрального графіка, який будується на основі заданої добової витрати тепла та гарячої води.

Відповідно до ДБН В.2.5-64:2012, тепловий потік за період (доба, зміна) максимального водоспоживання на потреби гарячого водопостачання (з урахуванням теплових втрат) визначають, кВт, за формулами (2.11 і 2.12):

а) середній за годину

$$Q_T^h = 1.16 \cdot q_T^h (55 - t^c) + Q^{ht}; \quad (2.11)$$

б) упродовж години максимального споживання

$$Q_{hr}^h = 1.16 \cdot q_{hr}^h (55 - t^c) + Q^{ht}, \quad (2.12)$$

де  $q_T^h$  – середні добові витрати гарячої води, м<sup>3</sup>/доб (дані з таблиці 1.5);

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 65  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

$t^c$  – температура холодної води, °С, у мережі водопроводу середньорічна ( $\Delta t = 10$  °С);

$q_{hr}^h$  – максимальні годинні витрати гарячої води,  $\text{м}^3/\text{год}$ . (Користуючись ДБН В.2.5-64:2012, відповідно до таблиць А.7 додатка А з урахуванням вимог 5.2, при кількості людей в трьох секція - 146 осіб, максимальні годинні витрати гарячої води складають  $2,56 \text{ м}^3/\text{год}$ .);

$Q^{ht}$  – теплові втрати на розрахунковій ділянці, кВт, які визначаються за формулою 2.13

$$Q^{ht} = q_{wk} \cdot l_{wk}, \quad (2.13)$$

де  $q_{wk}$  – питомі теплові втрати трубопроводів, які прокладаються у підвалах, техпідпіллях, на горищі, Вт/м;

$l_{wk}$  – довжина всіх водопроводів гарячого водопостачання, які прокладаються у підвалах, техпідпіллях, на горищі, м.

Фактичні дані по досліджуваному об'єкту:

Всі труби попередньо ізолювані каучуковою ізоляцією К – FLEX марки ST з товщиною стінки 13 мм та коефіцієнтом теплопровідності  $0,033 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ .

Матеріал труб: поліпропілен (PP).

I секція.

Довжини подавального водопроводу:

Зовнішній діаметр труби  $\varnothing 75$  (Ду 65) – 17 м. п. (траса підвалу).

Зовнішній діаметр труби  $\varnothing 63$  (Ду 50) –  $7 + 19 = 26$  м. п. (траса підвалу + стояк).

Довжини рециркуляційного водопроводу:

Зовнішній діаметр труби  $\varnothing 32$  (Ду 25) – 17 м. п. (траса підвалу).

Зовнішній діаметр труби  $\varnothing 25$  (Ду 20) – 7 м. п. (траса підвалу).

Зовнішній діаметр труби  $\varnothing 20$  (Ду 15) – 19 м. п. (стояк).

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного тепlopостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 66  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



II секція.

Довжина подавального водопроводу:

Зовнішній діаметр труби  $\varnothing 63$  (Ду 50) –  $25 + 19 = 44$  м. п. (траса підвалу + стояк).

Довжини рециркуляційного водопроводу:

Зовнішній діаметр труби  $\varnothing 25$  (Ду 20) – 12 м. п. (траса підвалу).

Зовнішній діаметр труби  $\varnothing 20$  (Ду 15) –  $13 + 19 = 32$  м. п. (траса підвалу + стояк).

III секція.

Довжини подавального водопроводу:

Зовнішній діаметр труби  $\varnothing 63$  (Ду 50) –  $14 + 19 = 33$  м. п. (траса підвалу + стояк).

Довжини рециркуляційного водопроводу:

Зовнішній діаметр труби  $\varnothing 20$  (Ду 15) –  $14 + 19 = 33$  м.п. (траса підвалу + стояк).

По даних з бойлерної  $\Delta T_{\Gamma} = T_3 - T_4 = 55 - 46,5 = 8,5^{\circ}\text{C}$ .

Спираючись на постанову «Про затвердження методики визначення витрат та втрат паливно-енергетичних ресурсів», таблиця 3.6, шляхом інтерполяції визначаємо питомі теплові втрати трубопроводів ( $q_{wk}$ ).

Використовуючи формулу 2.13, вираховуємо теплові втрати на розрахунковій ділянці:

I секція  $Q^{ht} = (15 \cdot 17) + (13 \cdot 26) + (10 \cdot 17) + (9 \cdot 7) + (8 \cdot 19) = 978$  Вт;

II секція  $Q^{ht} = (13 \cdot 44) + (9 \cdot 12) + (8 \cdot 32) = 936$  Вт;

III секція  $Q^{ht} = (13 \cdot 33) + (8 \cdot 33) = 693$  Вт.

Після добутих даних за формулою 2.12 рахуємо тепловий потік з

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 67  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

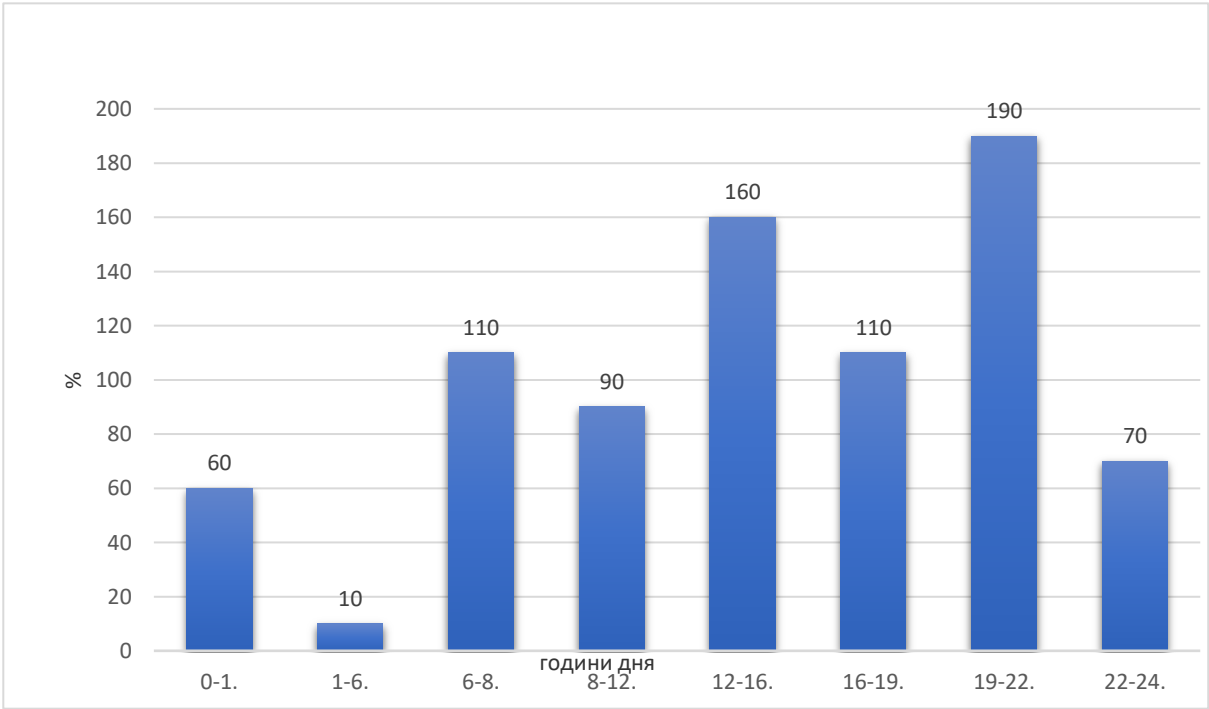
максимальним споживанням і за формулою 2.11 – середній за годину для трьох секцій.

$$Q_{hr}^h = 1.16 \cdot 2.56 \cdot (55 - 10) + 2,6 = 136,2 \text{ кВт},$$

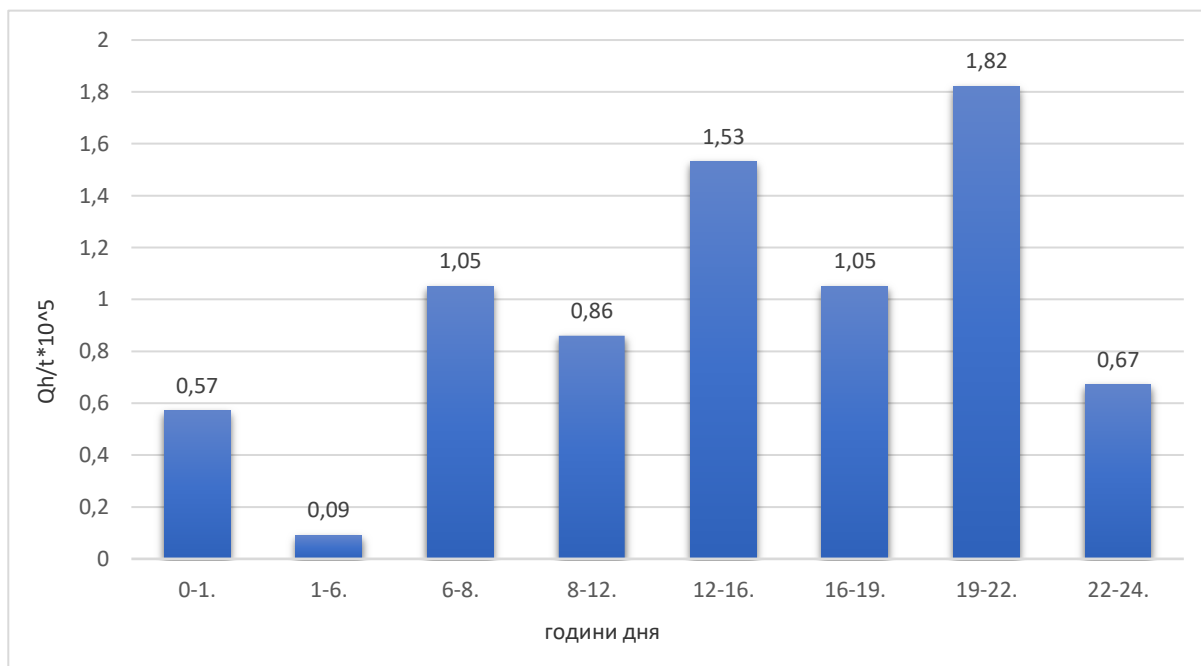
$$Q_{hr}^h = 136,2 \cdot 3600 = 490435,2 \text{ кДж}.$$

$$Q_T^h = 1,16 \cdot 0,46 \cdot (55 - 10) + 2,6 = 26,6 \text{ кВт},$$

$$Q_T^h = 29,3 \cdot 3600 = 95803,2 \text{ кДж}.$$



Графік 2.2 - витрати гарячої води за годинами доби у відсотках відносно середньогодинної потреби



Графік 2.3 - витрати теплоти по годинах доби

В таблиці 2.7 показані дані з графіків витрат теплоти за годинами протягом доби.

Таблиця 2.7 - витрат теплоти за годинами протягом доби

| Години              | 0-1  | 1-6  | 6-8  | 8-12 | 12-16 | 16-19 | 19-22 | 22-24 |
|---------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| %                   | 60   | 10   | 110  | 90   | 160   | 110   | 190   | 70    |
| кДж·10 <sup>5</sup> | 0,57 | 0,09 | 1,05 | 0,86 | 1,53  | 1,05  | 1,82  | 0,67  |

Для побудови інтегрального графіка ще визначено кількість теплоти таблиця 2.8, яка витрачена для нагрівання води сумарно в період 0-24 годин.

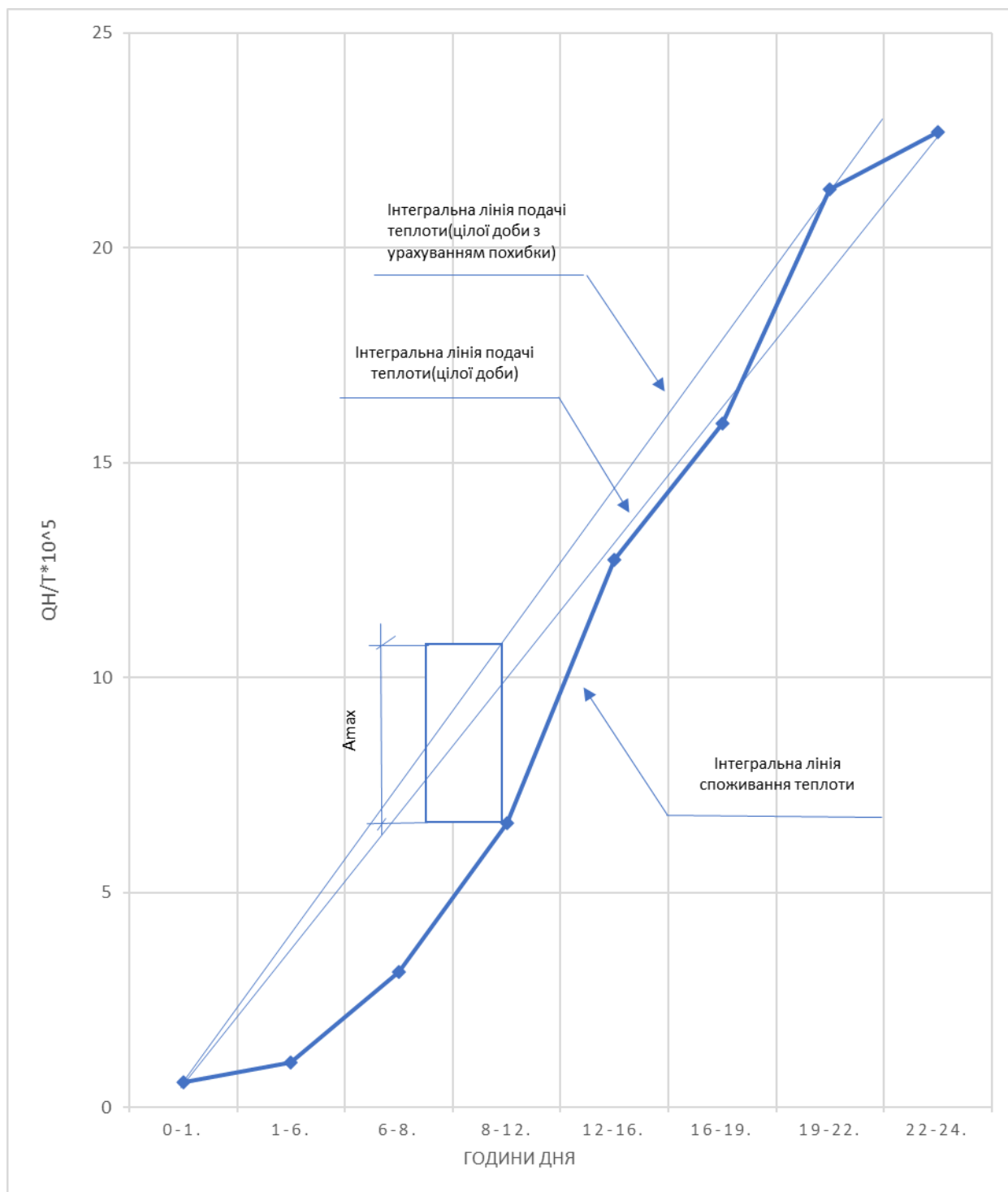
Таблиця 2.8 - кількість теплоти витрачена для нагрівання води сумарно в період 0-24 годин

| Години                                                    | 0-1  | 1-6  | 6-8  | 8-12 | 12-16 | 16-19 | 19-22 | 22-24 |
|-----------------------------------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| $\Delta Q_{\text{гр}}^{\text{в}} (\text{кДж} \cdot 10^5)$ | 0,57 | 1,05 | 3,16 | 6,61 | 12,74 | 15,9  | 21,36 | 22,7  |

З отриманих даних будемо інтегральний графік і прокладаємо лінію споживання теплоти протягом доби та лінію подачі теплоти, враховуючи, що

пластинчастий теплообмінник працює рівномірно протягом 24 годин. Нижче на графіку 2.4, в нашому випадку лінія подачі розташована таким чином, що на відрізку вечірніх годин вона нижче лінії споживання, а це означає, що в ці години доби споживач не буде забезпечений необхідною кількістю води. Тому лінію подачі потрібно перемістити паралельно вгору так, щоб вона була вище лінії споживання або хоча б торкалась її в одній точці, це дозволить коректно підібрати буферну ємність [9].

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 70  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



Графік 2.4 - Інтегральний графік подачі та споживання теплоти

Об'єм бака-акумулятора закритого типу в нашому випадку вираховують за формулою 2.14

$$V = \frac{A_{max}}{c \cdot \rho (t_{max} - t_{min})}, \text{ м}^3, \quad (2.14)$$

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |

Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів

Арк

71

де  $c$  – питома теплоємність води,  $4,186 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$\rho$  – густина води,  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

$t_{\max}$  – максимальна температура гарячої води,  $75 ^\circ\text{C}$ ;

$t_{\min}$  – мінімальна температура гарячої води,  $50 ^\circ\text{C}$ .

Об'єм бака становить:

$$V = \frac{3,9 \cdot 10^5}{4,186 \cdot 1000 \cdot (75 - 50)} = 3,7 \text{ м}^3$$

Також, виходячи з отриманих даних, розраховуємо за формулою 2.15 продуктивність теплообмінника та звіримо його з фактичним, що вже знаходиться в бойлерній.

$$Q_{\text{теплооб.}} = G_1 \cdot c_1 \cdot (t_{ih} - t_{ik}), \text{ кВт}, \quad (2.15)$$

де  $G_1$  - витрата теплоносія,  $\text{кг}/\text{с}$ ;

$c_1$  - теплоємності теплоносія,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$

$t_{ih}$  - температура гарячої води,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{ik}$  - температура теплоносія, на вході,  $^\circ\text{C}$ .

$$\text{Отже: } Q_{\text{теплооб.}} = 0,72 \cdot 4176 \cdot (55 - 10) = 135 \text{ кВт}$$

### Висновок

Розрахункові дані по баку-акумулятору та теплообміннику дуже різняться з фактичним обладнанням, що знаходиться в бойлерній. Дійсний об'єм буферної ємності всього на 54% забезпечує розрахункову потребу в акумуляції гарячої води для пікових годин. Є міркування, що розрахунок та підбір проводився для ємностей відкритого типу.

А по теплообміннику все навпаки, продуктивність працюючого дещо

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 72  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

перевищує ті потреби, які потрібні для системи ГВП. Проте, його ефективність не можна використати повною мірою для переробки отриманої енергії в даній системі будинку через те, що він є стандартним паяним теплообмінником, на відмінну від тих, що використовуються в модульних котельнях, які позиціонуються, як швидкісні, для миттєвого приготування ГВП в потрібній кількості та працюють без перерв на завантаження.

Отже, провівши розрахунки та зробивши аналіз, ми порівняли дані й підтвердили одне із припущень, через що саме можливий брак гарячої води у пікові години.

## 2.7 Підбір, розміщення та розрахунок PVT колекторів

Проектування PVT колекторів для гарячого водопостачання багатоквартирних будинків суттєво відрізняється від систем приватних будинків. Через велику загальну площу колекторів, яка перевищує 100 – 200 м<sup>2</sup>, потрібно застосовувати:

- швидкісні пластинчасті теплообмінники, що відокремлюють контур гібридних сонячних колекторів від контуру гарячого водопостачання за допомогою проміжного буферного бака-акумулятора;
- додаткове обладнання, таке як 3-ходовий клапан ГВП з електричним приводом, розширювальний бак, насосна група, група безпеки та різноманітні вимірювальні прилади.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 73  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



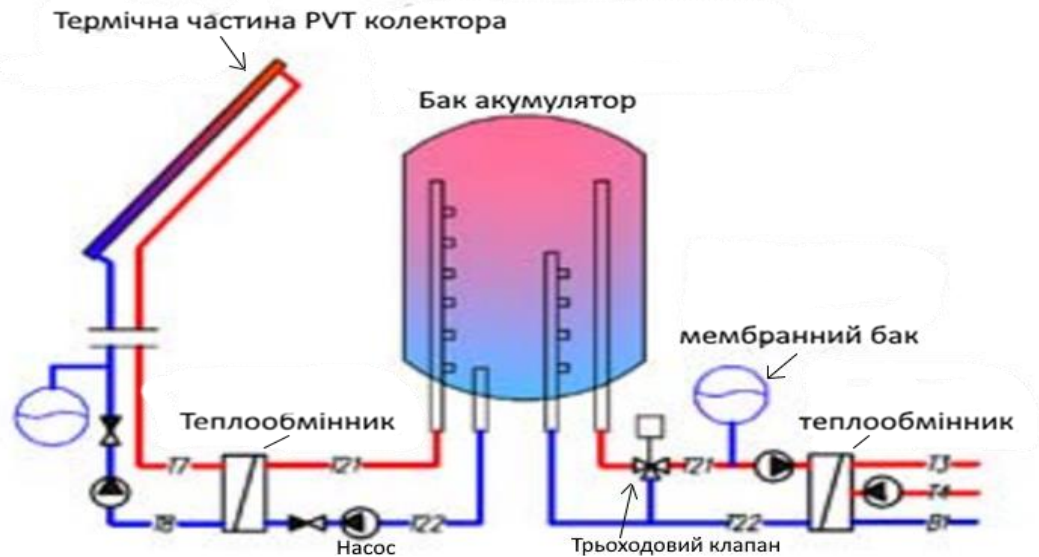


Рис. 2.5 - Принципова схема підключення колекторних полів площею понад 100 м<sup>2</sup>

Великі системи з гібридними сонячними колекторами можна комбінувати з іншими джерелами теплової енергії, як у нашому випадку, з конденсаційними газовими котлами, що дає змогу значно підвищити енергоефективність систем будівлі протягом усього року [20, 21].

## 2.8 Підбір PVT колекторів

Технологія з поєднанням теплового і фотоелектричного виробництва енергії проходить етапи дослідження та модернізації, а Україна, взагалі, робить перші важливі кроки в освоєнні цієї технології. Підбираючи колектори, важливо спиратись на досвід, тому для подальшого розрахунку PVT колекторів було обрано практичний досвід французької компанії «DualSun». Ця компанія підтримує інсталяторів сонячних батарей, навчає нових та бере участь у національних і міжнародних проєктах для прискорення розвитку сонячного сектора. Також на базі своєї платформи «MyDualSun» безкоштовно моделює проєкти для супроводу користувачів від «А» до «Я» протягом усього замовлення, від дизайну до післяпродажного обслуговування. Вони підбирають найкращу сонячну установку для замовника й адаптують її до клієнтських енергетичних потреб [30].

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 74  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Для подальших розрахунків обираємо колектор моделі Spring 425 Shingle Black з характеристиками зазначеними у таблицях 2.9, 2.10, 2.11:

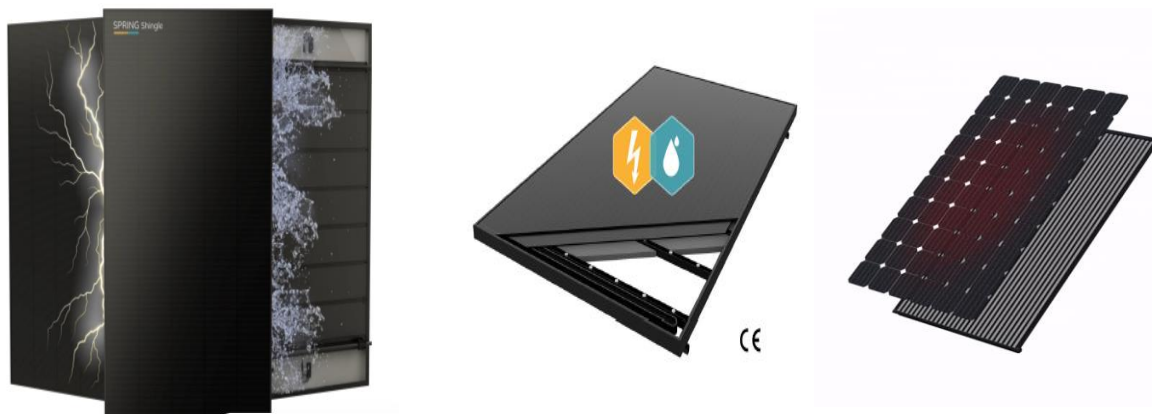


Фото 2.1 - Фото типових колекторів компанії DualSun

Таблиця 2.9 – Фізичні характеристики

|                              |                                           |
|------------------------------|-------------------------------------------|
| Довжина                      | 74,76 дюйма (1899 мм)                     |
| Ширина                       | 43,15 дюйма (1096 мм)                     |
| Товщина                      | 1,18 дюйма (30 мм)                        |
| Вага (неізолювана/ізолювана) | 74,0 фунтів(33,5 кг)/75,8 фунтів(34,3 кг) |
| Кількість комірок            | 320                                       |
| Тип клітин                   | PERC Монокристалічний                     |
| Роз'єми                      | MC4 Original Stäubli                      |
| Довжина кабелю               | 1500 мм (59 дюймів)                       |
| Максимальне навантаження     | Сніг: 5400 Па, вітер: 2400 Па             |
| Рама                         | Чорний анодований алюміній / чорний       |

Таблиця 2.10 – Теплові характеристики

|                                                           |                                                  |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Теплова потужність                                        | 418 Вт/м <sup>2</sup> (133 Бт/фут <sup>2</sup> ) |
| Колекторна площа                                          | 2,08 м <sup>2</sup> (21,53 фут <sup>2</sup> )    |
| Об'єм теплообмінника                                      | 5 л (1,32 галона)                                |
| Робочий тиск                                              | 1,5 бар (21,7 PSI)                               |
| Перепад тиску (дюйм/мм Н <sub>2</sub> О)<br>при 100 л/год | Portrait 47(1,85) Landscape 3,86(98)             |
| Температура простою                                       | 90°C (194F)                                      |
| Оптична ефективність $\alpha_0$                           | 38,7 % (ізолювана)                               |

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 75  |

## Продовження таблиці 2.10

|                            |                                                    |
|----------------------------|----------------------------------------------------|
| Коефіцієнт $a_1$           | 10,5 Вт/К/м <sup>2</sup> (ізолювана)               |
| Коефіцієнт $a_2$           | 0 Вт/(м <sup>2</sup> ·К <sup>2</sup> ) (ізолювана) |
| Теплова ефективність (ККД) | 70%                                                |

Розраховано при швидкості вітру  $v = 0$  м/с,  $g = 1000$  Вт/м<sup>2</sup>.

Результат сертифікованих випробувань EN 9806:2017.

Таблиця 2.11 – Електричні характеристики

|                                                     |                          |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|
| Номінальна потужність                               | 425 Вт                   |
| Ефективність фотоелектричної енергії через 25 років | 84,8%                    |
| Допуск на вихідну потужність                        | 0/+3%                    |
| Модуль мінімально гарантованої ефективності         | 20,4%                    |
| Номінальна напруга ( $V_{mpp}$ )                    | 36,0 В                   |
| Номінальний струм ( $I_{mpp}$ )                     | 11,81 А                  |
| Напруга холостого ходу ( $V_{oc}$ )                 | 43,4 В                   |
| Струм короткого замикання ( $I_{sc}$ )              | 12,56 А                  |
| Максимальна напруга системи                         | 1500 В постійного струму |
| NMOT                                                | 113 +/- 35,6° F          |

Умови STC (AM 1,5-1000Вт/м<sup>2</sup> I 92,9 Вт/фут<sup>2</sup> - 25 °C I 77 ° F)

Допуск вимірювання: +/- 3%

## Висновок

Обрано саме цього виробника колекторів, оскільки компанія «DualSun» йде на зустріч усім бажаючим та до вказаних вище плюсів дозволяє у вільному доступі користуватися технічною і фаховою літературою, яка допоможе інженерам, проєктантам, інсталяторам правильно підбирати, приєднувати та обслуговувати гібридні сонячні колектори.

## 2.9 Розміщення PVT колекторів

Гібридні сонячні колектори планується розміщати на покрівлі першої секції будинку біля дахової котельні, щоб зменшити втрати тиску і заощадити рідину

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 76  |

пропіленгліколь для всесезонного використання, яка заливається в зовнішній контур від колекторів до теплообмінника [14]. Загальна площа покрівлі складає 454 м<sup>2</sup>. Для визначення вільної площі, де будуть розміщені PVT колектори, потрібно відняти площу приміщень дахової котельні, ліфтової та сходової клітки, які складають разом 71 м<sup>2</sup>. Спираючись на дані сервісу гугл «Планета Земля» (фото 2.2), якщо подивитись на розташування будинку відносно сторін світу, то відпадає частина площі в напрямку півдня, яку перекриває сходова клітка разом з машинним відділенням - це приблизно за мінусом 56 м<sup>2</sup>.

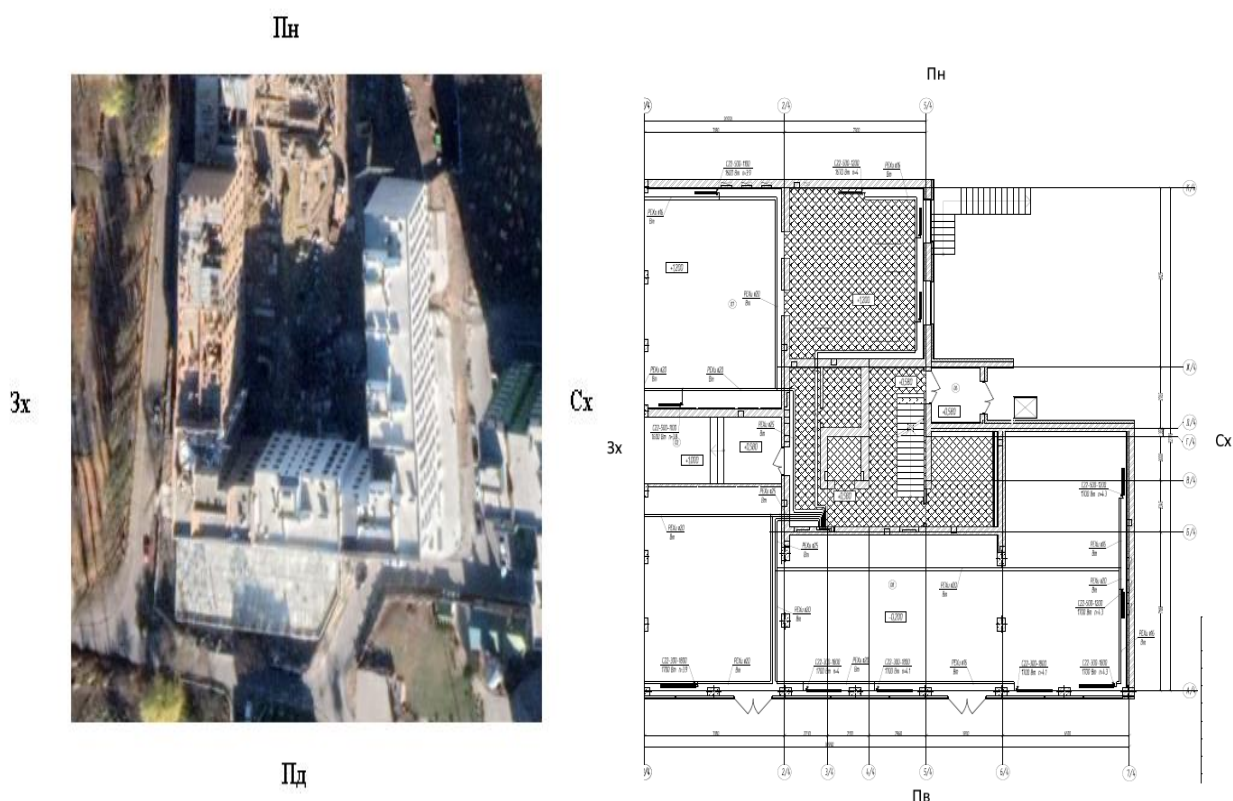


Фото 2.2 – огляд будинку Topshot від сервісу гугл «Планета Земля»

Врахувавши усі отримані дані, фактична вільна площа для розміщення колекторів, які можуть бути розміщені у напрямку півдня, складає 327 м<sup>2</sup>.

Через геометричну будову покрівлі та випуски вентиляційних каналів дана площа ділиться ще на три сектори (див. таблицю 2.12).

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 77  |

Таблиця 2.12 – сектора на покрівлі будинку, де можуть розміщуватися PVT колектори

| Сектор | Ширина (мм) | Довжина (мм) | Площа (м <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------|--------------|-------------------------|
| I      | 7290        | 22770        | 166                     |
| II     | 6570        | 11880        | 78                      |
| III    | 11330       | 7280         | 83                      |

В інструкції з монтажу та експлуатації колекторів «DualSun SPRING» міститься інформація, що впливає на їх кількість відносно площі:

- максимальна рекомендована кількість онлайн-модулів в один ряд – 7 штук вертикальних або горизонтальних колекторів, що забезпечить правильне заповнення панелей під час введення їх в експлуатацію;
- також, якщо дозволяє місце, слід використовувати колектори горизонтального типу задля зменшення вітрового навантаження на опорну конструкцію.

Під час конструктивного розміщення на покрівлі будівлі колекторів слід враховувати заданий кут їх нахилу і висоту сонця над горизонтом. Це дає можливість визначити мінімальну відстань між рядами гібридних сонячних колекторів.

Чим вище підніметься Сонце над горизонтом, тим більше тепла надійде до даної території. Найвище положення Сонця над горизонтом, тобто його полуденну висоту для будь-якого дня року, визначають за формулою 2.16.

$$h = 90^{\circ} - \mu^{\circ} + \delta^{\circ}, \quad (2.16)$$

де  $h$  — полуденна висота Сонця на даній географічній широті;

$\mu^{\circ}$  — значення географічної широти місцевості;

$\delta^{\circ}$  — величина схилення Сонця на день спостереження (береться з табличного значення (див. таб. 2.13)).

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 78  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



Таблиця 2.13 - Величина схилення Сонця по днях і місяцях року

| Дні | М і с я ц і |          |         |        |         |         |         |         |        |         |          |          |
|-----|-------------|----------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|----------|----------|
|     | I           | II       | III     | IV     | V       | VI      | VII     | VIII    | IX     | X       | XI       | XII      |
| 1   | -23° 02'    | -17° 13' | -7° 44' | 4° 23' | 14° 57' | 22° 00' | 23° 08' | 18° 07' | 8° 25' | -3° 02' | -14° 18' | -21° 44' |
| 2   | 22 57       | 16 56    | 7 21    | 4 46   | 15 15   | 22 08   | 23 04   | 17 52   | 8 25   | 3 25    | 14 37    | 21 54    |
| 3   | 22 52       | 16 38    | 6 59    | 5 09   | 15 33   | 22 16   | 23 00   | 17 36   | 8 04   | 3 49    | 14 56    | 22 03    |
| 4   | 22 46       | 16 21    | 6 59    | 5 32   | 15 51   | 22 23   | 22 55   | 17 21   | 7 42   | 4 12    | 15 15    | 22 11    |
| 5   | 22 39       | 16 03    | 6 12    | 5 55   | 16 08   | 22 30   | 22 49   | 17 05   | 7 20   | 4 35    | 15 33    | 22 19    |
| 6   | 22 33       | 15 44    | 6 49    | 6 18   | 16 25   | 22 37   | 22 44   | 16 48   | 6 58   | 4 58    | 15 52    | 22 27    |
| 7   | 22 25       | 15 26    | 5 26    | 6 41   | 16 42   | 22 43   | 22 38   | 16 32   | 6 35   | 5 21    | 16 10    | 22 34    |
| 8   | 22 18       | 15 07    | 5 03    | 7 03   | 16 59   | 22 49   | 22 31   | 16 15   | 6 13   | 5 44    | 16 27    | 22 40    |
| 9   | 22 09       | 14 48    | 4 39    | 7 26   | 17 15   | 22 54   | 22 24   | 15 58   | 5 50   | 6 07    | 16 45    | 22 47    |
| 10  | 22 01       | 14 29    | 4 16    | 7 48   | 17 31   | 22 59   | 22 17   | 15 41   | 5 28   | 6 30    | 17 02    | 22 53    |
| 11  | 21 52       | 14 09    | 3 52    | 8 10   | 17 47   | 23 03   | 22 09   | 15 23   | 5 05   | 6 52    | 17 19    | 22 58    |
| 12  | 21 42       | 13 49    | 3 29    | 8 32   | 18 02   | 23 08   | 22 01   | 15 05   | 4 42   | 7 15    | 17 35    | 23 03    |
| 13  | 21 33       | 13 29    | 3 05    | 8 54   | 18 17   | 23 11   | 21 53   | 14 47   | 4 20   | 7 38    | 17 51    | 23 07    |
| 14  | 21 22       | 13 09    | 2 41    | 9 16   | 18 32   | 23 15   | 21 44   | 14 29   | 3 57   | 8 00    | 18 07    | 23 11    |
| 15  | 21 12       | 12 49    | 2 18    | 9 37   | 18 46   | 23 18   | 21 35   | 14 10   | 3 34   | 8 22    | 18 23    | 23 15    |
| 16  | 21 01       | 12 28    | 1 54    | 9 59   | 19 01   | 23 20   | 21 26   | 13 52   | 3 11   | 8 44    | 18 38    | 23 18    |
| 17  | 20 49       | 12 07    | 1 30    | 10 20  | 19 14   | 23 22   | 21 16   | 13 33   | 2 48   | 9 06    | 18 53    | 23 20    |
| 18  | 20 37       | 11 46    | 1 07    | 10 41  | 19 28   | 23 24   | 21 06   | 13 13   | 2 24   | 9 28    | 19 08    | 23 23    |
| 19  | 20 25       | 11 25    | 0 43    | 11 02  | 19 41   | 23 25   | 20 55   | 12 54   | 2 01   | 9 50    | 19 22    | 23 24    |
| 20  | 20 12       | 11 04    | - 0 19  | 11 23  | 19 54   | 23 26   | 20 44   | 12 34   | 1 38   | 10 12   | 19 36    | 23 25    |
| 21  | 19 59       | 10 42    | +0 05   | 11 43  | 20 06   | 23 26   | 20 33   | 12 15   | 1 15   | 10 33   | 19 49    | 23 26    |
| 22  | 19 46       | 10 20    | 0 28    | 12 04  | 20 18   | 23 26   | 20 21   | 11 55   | 0 52   | 10 55   | 20 03    | 23 26    |
| 23  | 19 32       | 9 58     | 0 52    | 12 24  | 20 30   | 23 26   | 20 09   | 11 35   | 0 28   | 11 16   | 20 16    | 23 26    |
| 24  | 19 18       | 9 36     | 1 16    | 12 44  | 20 42   | 23 25   | 19 57   | 11 14   | 0 05   | 11 37   | 20 28    | 23 25    |
| 25  | 19 03       | 9 14     | 1 39    | 13 04  | 20 53   | 23 24   | 19 44   | 10 54   | - 0 17 | 11 58   | 20 40    | 23 24    |
| 26  | 18 49       | 8 52     | 2 03    | 13 23  | 21 03   | 23 22   | 19 31   | 10 33   | - 0 42 | 12 18   | 20 52    | 23 23    |
| 27  | 18 33       | 8 30     | 2 26    | 13 42  | 21 14   | 23 20   | 19 18   | 10 12   | 1 05   | 12 39   | 21 03    | 23 21    |
| 28  | 18 18       | 8 07     | 2 50    | 14 02  | 21 24   | 23 18   | 19 04   | 9 51    | 1 29   | 12 59   | 21 14    | 23 18    |
| 29  | 18 02       |          | 3 13    | 14 20  | 21 33   | 23 15   | 18 51   | 9 30    | 1 52   | 13 19   | 21 25    | 23 15    |
| 30  | 17 46       | -        | 3 37    | 14 39  | 21 43   | 23 12   | 18 36   | 9 09    | 2 15   | 13 39   | 21 35    | 23 12    |
| 31  | 17 29       | -        | 4 00    | -      | 21 51   | -       | 18 22   | 8 47    | 2 39   | 13 59   | -        | 23 08    |

Провівши розрахунки, які внесені в таблицю 2.14, видно, що мінімальна висота сонця на плоскому даху становить 17°.

Таблиця 2.14 - Положення Сонця над горизонтом у місті Рівне (широта 50°35')

| Місяць (15 числа) | h       |
|-------------------|---------|
| січень            | 18° 53' |
| лютий             | 27°16'  |
| березень          | 37°47'  |
| квітень           | 49°,02' |
| травень           | 58°11'  |
| червень           | 62°83'  |
| липень            | 61°00'  |
| серпень           | 53°75'  |
| вересень          | 42°,99' |
| жовтень           | 31°43'  |
| листопад          | 21°42'  |
| грудень           | 16°50'  |

Основна частина активності сонячної енергії, отриманої PVT колектором, згідно з таблицею 2.1.6 припадає на вісім місяців з лютого по вересень і становить 80-85% від можливої річної теплопродуктивності. Тому розрахунок продуктивної роботи колекторів планується в цей період. Знаючи мінімальну висоту Сонця над горизонтом  $27^{\circ}16'$  і кут нахилу колектора  $45^{\circ}$ , південне розташування горизонтальних колекторів, які мають розміри  $1096 \times 1899$  мм, визначимо за формулою 2.17 відстань між рядами колекторів, для уникнення затінення [6].

$$S = L \cdot \frac{\sin \alpha}{\tan \beta}, \quad (2.17)$$

де  $S$  – відстань між рядами колекторів;

$L$  – довжина або ширина колектора;

$\sin \alpha$  – кут встановлення колектора;

$\tan \beta$  – висота Сонця.

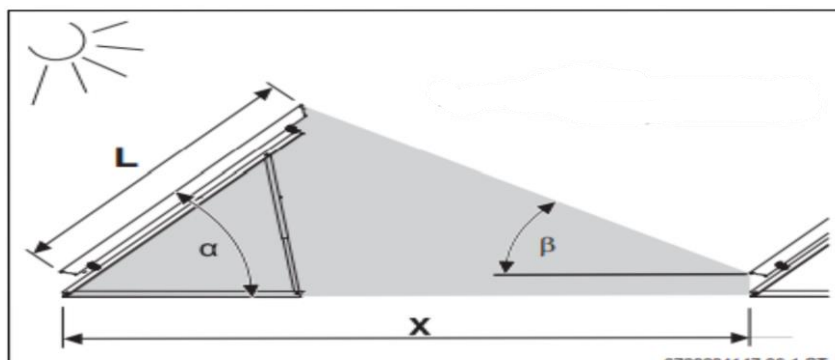


Рис. 2.6 - Схематичне зображення використання формули 2.17

Залежно від вибору осьового монтажу:

– відстань між рядами PVT колекторів по горизонталі

$$S = 1096 \cdot \frac{45^{\circ}}{27^{\circ}} = 1826 \text{ мм};$$

– відстань між рядами PVT колекторів по вертикалі

$$S = 1096 \cdot \frac{45^{\circ}}{27^{\circ}} = 3165 \text{ мм}.$$

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 80  |

Для гідравлічного з'єднання колекторів «DualSun SPRING» між собою використовують гнучкі шланги, які кріпляться в тильній частині, тому мінімальна відстань між колекторами становить 20 мм.

Враховуючи відстані до відступів даху та дахових зламів, можна порахувати те, скільки колекторів можна розмістити на трьох секторах даної площі, та на скільки % система здатна забезпечувати потребу в гарячій воді.

Дотримуючись рекомендацій та розрахунків з оптимального розташування колекторів по секторах, отримали такі дані.

З вертикальним розміщенням колекторів:

I сектор – 36 шт.

II сектор – 15 шт.

III сектор – 10 шт.

З горизонтальним розміщенням колекторів:

I сектор – 33 шт.

II сектор – 15 шт.

III сектор – 15 шт.

Підсумок.

Різниця з розміщення колекторів у двох вище наведених розрахунках складає дві одиниці. Зважаючи на заходи безпеки, для того, щоб зменшити вітрове навантаження на конструкцію, для подальших розрахунків обрано варіант з горизонтальним розміщенням колекторів у кількості 63 одиниці із загальною корисною площею 131,1 м<sup>2</sup>.

## 2.10 Розрахунок теплової частини системи гібридних сонячних колекторів

Мешканцям в об'єкті дослідження (будинку) для підігрівання 10,95 м<sup>3</sup> на добу санітарної гарячої води, з урахуванням тепловтрат у трубах на рециркуляцію, потрібні витрати теплової енергії у розмірі 4,29 кВт·год/добу на одного користувача.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 81  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



Для розрахунку необхідної площі гібридних сонячних колекторів на одну людину слід скористатися формулою 2.18.

$$S = \frac{Q}{N \cdot n}, \text{ м}^2, \quad (2.18.)$$

де  $Q$  — необхідна кількість тепла на місяць, кВт·год/міс.;

$N$  — середня кількість тепла, що надходить на 1 м<sup>2</sup> площі сонячного колектора у найбільш сонячний місяць, кВт·год/міс.;

$n$  — середній ККД PVT колектора (за технічною документацією 0,7).

$$S = \frac{128,7}{(145 \cdot (\text{к}30^\circ = 1,1)) \cdot 0,7} = 1,26 \text{ м}^2.$$

З розрахунку випливає, що в рівненському регіоні необхідна корисна площа гібридних сонячних колекторів складає 1,26 м<sup>2</sup> для однієї людини, що дорівнює середнім витратам гарячої води на добу 75 л на людину.

Враховуючи середньомісячні надходження сумарної сонячної радіації на квадратний метр ( $E$ ) в місті Рівне, кількість теплоти ( $Q$ ), яку споживають мешканці будинку, та площі колекторного поля ( $S$ ), рахуємо за формулою 2.19 забезпечення потреб в гарячій воді ( $M$ ) по кожному місяцю.

$$M = \frac{S \cdot E}{Q} \cdot 100\%, \quad (2.19.)$$

$$\text{січень} = \frac{131,04 \cdot 35 \cdot 1,1}{624 \cdot 31} \cdot 100\% = 26\%,$$

$$\text{лютий} = \frac{131,04 \cdot 87 \cdot 1,1}{624 \cdot 28} \cdot 100\% = 67\%,$$

$$\text{березень} = \frac{131,04 \cdot 90 \cdot 1,1}{624 \cdot 31} \cdot 100\% = 69\%,$$

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 82  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

$$\text{квітень} = \frac{131,04 \cdot 111 \cdot 1,1}{624 \cdot 30} \cdot 100\% = 85\%,$$

$$\text{травень} = \frac{131,04 \cdot 138 \cdot 1,1}{624 \cdot 31} \cdot 100\% = 103\%,$$

$$\text{червень} = \frac{131,04 \cdot 145 \cdot 1,1}{624 \cdot 30} \cdot 100\% = 112\%,$$

$$\text{липень} = \frac{131,04 \cdot 141 \cdot 1,1}{624 \cdot 31} \cdot 100\% = 105\%,$$

$$\text{серпень} = \frac{131,04 \cdot 136 \cdot 1,1}{624 \cdot 31} \cdot 100\% = 101\%,$$

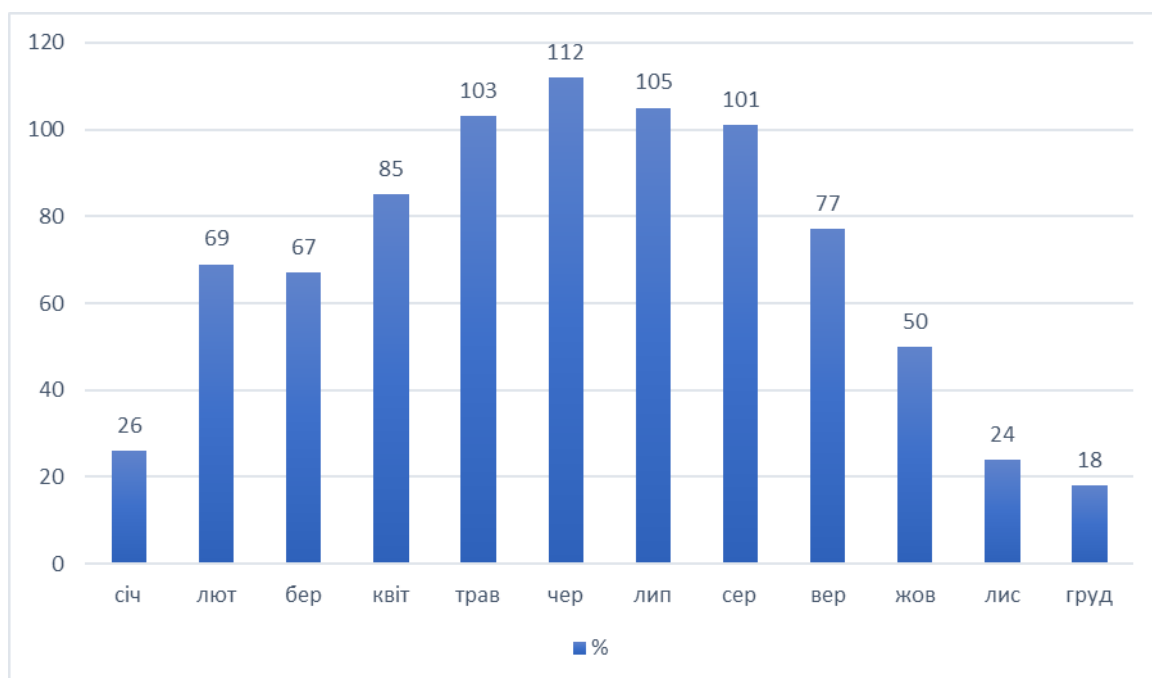
$$\text{вересень} = \frac{131,04 \cdot 100 \cdot 1,1}{624 \cdot 30} \cdot 100\% = 77\%,$$

$$\text{жовтень} = \frac{131,04 \cdot 67 \cdot 1,1}{624 \cdot 31} \cdot 100\% = 50\%,$$

$$\text{листопад} = \frac{131,04 \cdot 31 \cdot 1,1}{624 \cdot 30} \cdot 100\% = 24\%,$$

$$\text{грудень} = \frac{131,04 \cdot 24 \cdot 1,1}{624 \cdot 31} \cdot 100\% = 18\%.$$

На графіку 2.5 відображена загальна картина по забезпеченню потреб у ГВП від гібридних сонячних колекторів.



Графік 2.5 - Покриття потреб на ГВП будинку за рік у (%)

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 83  |

## Висновок

Таким чином, сонячне поле на покрівлі для зазначених параметрів здатне забезпечити в середньому 89% з лютого по вересень, 69% за цілий рік на потреби у гарячій воді. У літню пору система здатна забезпечити 100% гарячої води, при цьому надлишок становить не більше 12% у червні.

При подальшому збільшенні кількості колекторів на покрівлі другої та третьої секції немає рентабельності, бо відсоток покриття зростає незначним чином, а надлишкове тепло збільшуватиметься набагато сильніше. При збільшенні надлишкового тепла зменшується ефективність усієї гібридної сонячної установки.

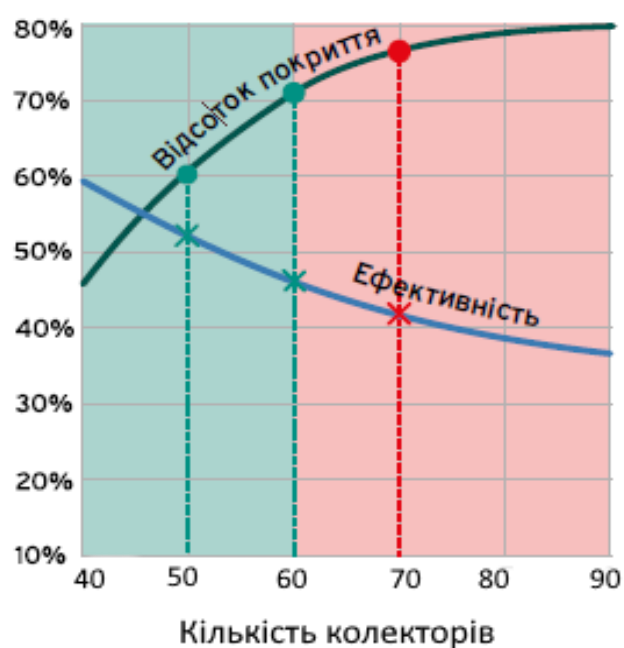


Рис. 2.7 Забезпечення оптимального поєднання економії та ефективності

Це відбувається через те, що водонагрівач і теплоносії у сонячних колекторах працюють на більш високих температурах, отже, збільшуються теплові втрати, що призводить до зниження ККД всієї сонячної системи. Таким чином, оптимальний відсоток покриття для сонячних установок гарячого водопостачання рекомендується вибирати в межах 70–80%. Такий підбір сонячних колекторів забезпечить оптимальне поєднання економії та ефективності сонячної установки.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 84  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

## 2.11 Розрахунок фотоелектричної частини системи гібридних сонячних колекторів

Дані колектори, частина яких відповідає за отримання електроенергії, відносяться до монокристалічного типу, який зроблений на основі десятків силіконових модулів та склопластикового корпусу, що захищає від пилу та вологи. Вони є одними з найефективніших пристроїв у своєму класі з ККД до 22%.

Їхні переваги:

- високе співвідношення потужності до займаної корисної площі;
- низька швидкість фізичного зношування (деградації) - щорічне зниження потужності близько 0,5%;
- довговічність - виробляють електрику 30 і більше років;
- низький температурний коефіцієнт – при нагріванні панелі відбувається незначна втрата потужності.

Об'єднані колектори «Spring 425 Shingle Black» за електричними характеристиками можна сміливо називати *міні сонячною електростанцією* (надалі МСЕС).

Основна ціль МСЕС – це резервне живлення дахової котельні та бойлерної для забезпечення безперебійної роботи електрообладнання. Також її можна використовувати для економії споживання електроенергії у всьому будинку. Тому задум полягає у встановленні саме гібридних сонячних колекторів, а не звичайних геліоколекторів.

Отже, порахуємо за формулою 2.20, яку потужність видають 63 гібридні сонячні колектори протягом року помісячно.

$$W = E \cdot P \cdot (Sd + Hd \cdot e\%), \text{ кВт}, \quad (2.20)$$

де  $E$  - сонячна інсоляція, кВт·год/м<sup>2</sup>/день;

$P$  - номінальна потужність фотоелектричної частини колектора;

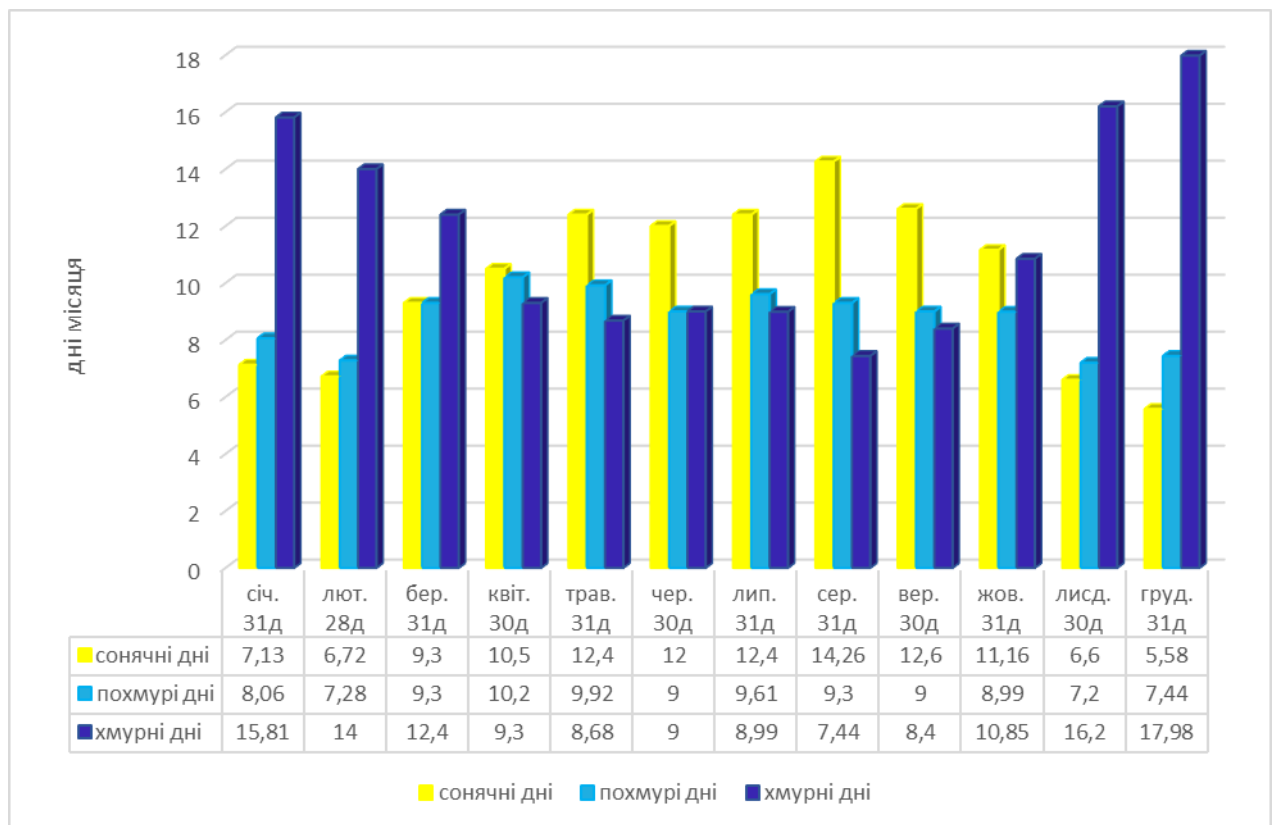
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 85  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Sd - кількість сонячних днів на місяць;

Hd - кількість хмарних і похмурих днів;

e% - відсоток ефективності фотоелементів у хмарні та похмурі дні (як правило, під час легкої хмарності вони працюють на 60-80% від максимальних можливостей, у похмуру погоду – на 20-30%). Ми візьмемо середнє постійне значення в 50%.

Спочатку за даними з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 зробимо розрахунок щодо кількості сонячних та хмарних днів за дванадцять місяців. Для візуалізації отримані результати відображаються на графіку 2.6.



Графік 2.6 - кількості сонячних та хмарних днів у місті Рівне

Використовуючи отримані дані, здійснюємо розрахунок за формулою 2.20.

Січень  $W = 1,24 \cdot 26,7 \cdot (7,13 + 23,87 \cdot 50\%) = 633,9$  кВт,

лютий  $W = 3,41 \cdot 26,7 \cdot (6,72 + 21,28 \cdot 50\%) = 1588,6$  кВт,

березень  $W = 3,19 \cdot 26,7 \cdot (9,3 + 21,7 \cdot 50\%) = 1722,9$  кВт,

квітень  $W = 4,07 \cdot 26,7 \cdot (10,5 + 19,5 \cdot 50\%) = 2206,7$  кВт,  
 травень  $W = 4,89 \cdot 26,7 \cdot (12,4 + 18,6 \cdot 50\%) = 2845,1$  кВт,  
 червень  $W = 5,31 \cdot 26,7 \cdot (12 + 18 \cdot 50\%) = 2989,4$  кВт,  
 липень  $W = 5 \cdot 26,7 \cdot (12,4 + 18,6 \cdot 50\%) = 2906,9$  кВт,  
 серпень  $W = 4,82 \cdot 26,7 \cdot (14,26 + 16,74 \cdot 50\%) = 2924$  кВт,  
 вересень  $W = 3,66 \cdot 26,7 \cdot (12,6 + 17,4 \cdot 50\%) = 2091,1$  кВт,  
 жовтень  $W = 2,37 \cdot 26,7 \cdot (11,16 + 19,84 \cdot 50\%) = 1341,8$  кВт,  
 листопад  $W = 1,14 \cdot 26,7 \cdot (6,6 + 23,4 \cdot 50\%) = 538,9$  кВт,  
 грудень  $W = 0,86 \cdot 26,7 \cdot (5,58 + 25,42 \cdot 50\%) = 417$  кВт.

Тепер потрібно просумувати потужності споживання електроенергії електрообладнанням, яке живить бойлерну та котельню. В таблиці 2.15 вказане усе обладнання, яке потребує живлення у 220 В. Обчислення проводяться з урахуванням середнього навантаження електроприводів та перемінної роботи циркуляційних насосів опалення і ГВП за даними в налаштуваннях блока управління.

Таблиця 2.15 - обладнання, яке потребує живлення у 220 В

| Найменування обладнання                        | Кількість електроприводів, од. | Потужність одного електроприводу, кВт (мін. – макс.) | Години роботи | Витрата, (кВт·год) |
|------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------|---------------|--------------------|
| Vaillant газовий конденсаційний котел, 120 кВт | 5 (в середньому працюють 3)    | 0,07 - 0,12                                          | 24            | 2,28               |
| VR 70 Модуль розширення для VRC 700/4          | 1                              | 0,004                                                | 24            | 0,096              |
| VR 32/3 Комутатор для котлів із шиною ebus     | 5                              | 0,002                                                | 24            | 0,24               |
| Клапан електромагнітний                        | 1                              | 0,008                                                | 1             | 0,008              |

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 87  |

Продовження таблиці 2.15

|                                                              |                       |                                      |     |       |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----|-------|
| Grundfos 65-120<br>насос циркуляцій-<br>ний<br>Q=27 м³/год   | 2 (один<br>резервний) | 0,029 – 0,76                         | 12  | 4,73  |
| Grundfos 25-80<br>насос циркуляцій-<br>ний<br>Q=3 м³/год     | 2 (один<br>резервний) | 0,1 - 0,16                           | 12  | 1,56  |
| Grundfos 20-30<br>насос рециркуля-<br>ційний<br>Q=0,3 м³/год | 1                     | 0,035                                | 24  | 0,84  |
| AMV 435 Елек-<br>тропривод                                   | 1                     | 0,002                                | 24  | 0,048 |
| Wilo Гідроджет з<br>мембранним баком<br>25л                  | 2                     | 0,8 в момент за-<br>повнення системи | 0   | 0     |
| Лампа світлодіодна<br>Basis                                  | 7                     | 0,008                                | 0,3 | 0,016 |
| Разом на добу                                                |                       |                                      |     | 9,83  |
| Разом на місяць                                              |                       |                                      |     | 304,5 |

## Висновок

За результатами підрахунку ми отримали найменше вироблення електроенергії від колекторів у грудні (417 кВт), але і його вистачає, оскільки потреби електроенергії становлять 304,5 кВт. Ми визначили, що необхідний рівень електропостачання від гібридних сонячних колекторів для даного об'єкта дослідження - це «комфорт», що забезпечує повністю бойлерну та дахову котельню, а інший залишок, особливо у літні місяці, можна використовувати на потреби будинку (наприклад: освітлення прибудинкової території, внутрішніх приміщень та навіть на живлення водопровідної насосної станції).

На рисунку 2.8. показана принципова схема власної електростанції будинку без під'єднання до «зеленого тарифу», але в час, коли недостатньо «сонячної енергії», то різниця, в момент потреби, буде автоматично надходити із загальної мережі.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 88  |



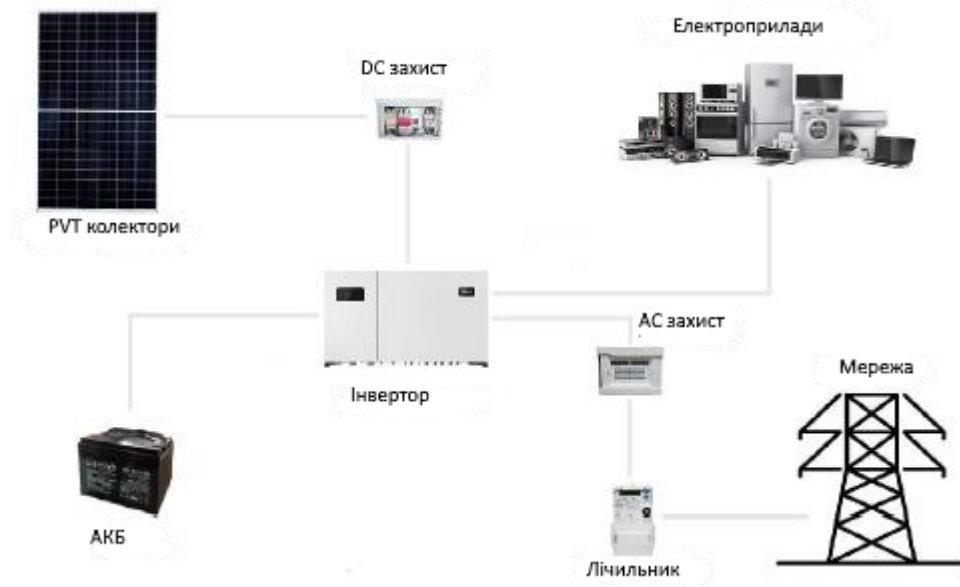


Рис. 2.8 Принципова схема роботи МСЕС на власні потреби

Сонячні електростанції для власного споживання вигідні ще й тим, що не вимагають виконання проєктів на приєднання й отримання ліцензії. А з довгого переліку дозвільної документації вимагається лише узгодження з ДАБІ. У підсумку, термін реалізації подібного проєкту становить 1-2 місяці, а економія електроенергії розпочинається вже з першої хвилини запуску станції.

## 2.12 Підбір обладнання для підключення гібридних сонячних колекторів

Правильність вибору обладнання впливає на ефективність, економічність і довговічність всієї системи, а також і на безпечність роботи.

I. До основних компонентів теплової частини системи колекторів входить:

1. Бак-акумулятор.

Об'єм бака-акумулятора закритого типу, в нашому випадку, був порахований за формулою 2.4 і становить **3,7 м³**.

2. Теплообмінники пластинчасті.

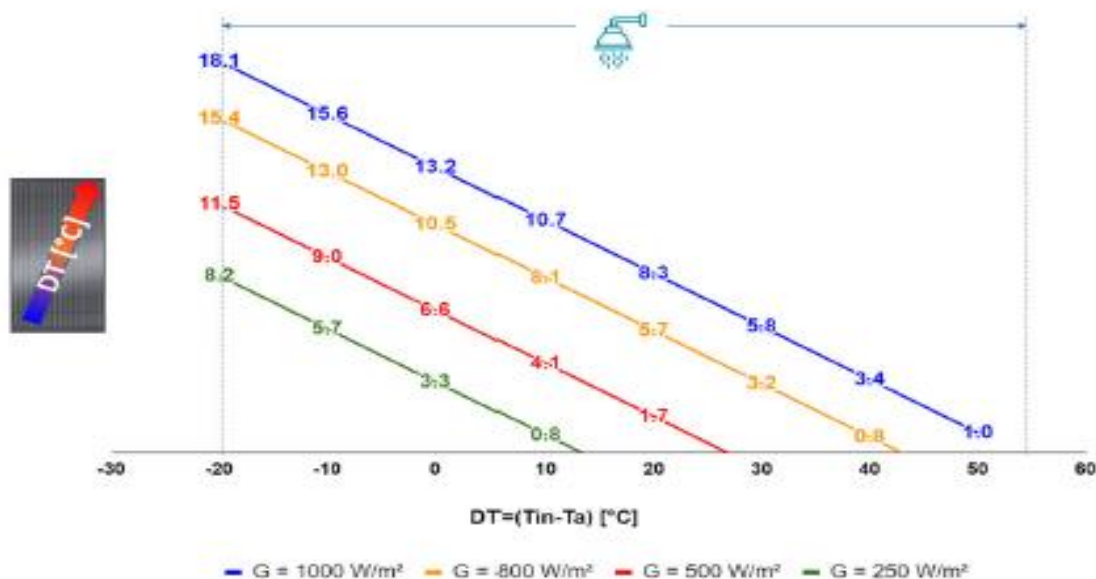
Оскільки за нашою схемою контур гібридних сонячних колекторів відокремлюється від контуру гарячого водопостачання за допомогою проміжного

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 89  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

контур з буферним баком-акумулятором, то в інтегровану систему необхідно включити два швидкісні теплообмінники [7].

Теплове навантаження ( $Q$ ) на теплообмінник від контуру ГВП пораховане у розділі «Розрахунок та перевірка підбору баків-акумуляторів теплообмінника» за формулою 2.5 та складає 135 кВт. За цією ж формулою обчислюємо теплообмінник для контуру PVT колекторів.

З інструкції з монтажу, експлуатації та обслуговування «DualSun SPRING» для оптимізації теплообміну на потреби ГВП рекомендована номінальна витрата на одну панель - 60 л/год. Також, із цієї ж інструкції, за графіком 2.7 ми знаємо найбільший градієнт по температурі.



Графік 2.7 – градієнт температури теплоносія

Теплоносій в даному контурі пропиленгліколь: 40% ( $C_p = 3800$  Дж/(кг·К),  $\rho = 1000$  кг/м³).

$$\text{Отже: } Q_{\text{теп.к.п.}} = (0,017 \cdot 63) \cdot 3800 \cdot 11,5 = 47 \text{ кВт.}$$

### 3. Розширювальні баки.

Потрібно два розширювальні баки, один для колекторного поля, інший для буферної ємності.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 90  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

За формулою 2.21 визначимо об'єми експанзоматів ( $V_{\text{поля}}^{\text{р,б.}}$ ) – контуру колекторного поля та ( $V_{\text{буфера}}^{\text{р,б.}}$ ) – контуру з буферною ємністю.

$$V = \frac{vl \cdot e}{d}, \quad (2.21)$$

де  $vl$  - загальна ємність теплової системи, що включає обсяг колекторів, всіх теплових акумуляторів (конвекторів, радіаторів і не тільки), а також місткість трубопроводів;

$e$  - коефіцієнт розширення використовуваної робочої рідини (при нагріванні до 90°C вода збільшується в об'ємі на 4%, якщо у воді кількість етиленгліколю становить 40%, тоді:  $4\% \cdot 1,4$ );

$d$  - ефективність розширювального бака (мембранного типу).

При цьому остання величина залежить від двох параметрів:

$p_v$  - максимального робочого тиску в системі;

$p_s$  - тиску зарядки мембранного бака (статичний тиск);

$$d = (p_v - p_s) / (p_v + 1).$$

( $V_{\text{поля}}^{\text{р,б.}}$ ) – контур колекторного поля

$$vl = (63 \text{ колектори} \cdot 5 \text{ літрів}) + (56 \text{ м. п.} \cdot \text{труба Ду 50 з внутрішнім об'ємом в } 1 \text{ м. п.} - 1,96 \text{ літра}) + (1 \text{ теплообмінник} \cdot 2,87 \text{ літра}) = 428 \text{ літрів.}$$

$$e = 0,056 \text{ (етиленгліколь 40\%).}$$

$$d = (1,5 - 0,3) / (1,5 + 1) = 0,48.$$

$$V_{\text{поля}}^{\text{р,б.}} = \frac{428 \cdot 0,056}{0,48} = 49,9 \text{ літрів.}$$

( $V_{\text{буфера}}^{\text{р,б.}}$ ) – контур з буферною ємністю:

$$vl = (\text{буфер } 3,7 \text{ м}^3) + (48 \text{ м.п.} \cdot \text{труба Ду 50 з внутрішнім об'ємом в } 1 \text{ м.п.} - 1,96 \text{ літра}) + (2 \text{ теплообмінник} \cdot 8,61 \text{ літра}) = 3802 \text{ літри.}$$

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 91  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

$e = 0,04$  (вода).

$d = (2,8-1,5) / (2,8+1) = 0,34$ .

$$V_{\text{буфера}}^{\text{р,б}} = \frac{3802 \cdot 0,04}{0,34} = 447 \text{ літрів.}$$

#### 4. Контролер.

Регулятор DualSun SLL або CS/PLUS, спеціально налаштований для колекторів «DualSun» у програмі сонячного водонагрівача та має функціональні можливості керування тепловим насосом, котлом або резервним резисторним типом для оптимізації виробництва сонячної енергії. Він також дає можливість керувати резервуарами, наприклад, басейнами, і залишається сумісним із комунікаційним модулем T-Box DualSun KM2 (модуль віддаленого керування).

У контролер входять:

- попередньо зібраний запобіжний клапан 3 бар x1;
- насос Wilo PARA ST15(25) / 7-50 (даний вбудований агрегат, має градієнт швидкостей і підходить для різних компонувань, див. таблиця 2.16);
- зонд термогільзи PT1000 / FRP6 x1.

Таблиця 2.16 – підбору труби та діаметрів для різної кількості колекторів

|                    |                      |       |       |       |       |        |
|--------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Багатошарові труби | Кількість колекторів | 1-9   | 10-16 | 17-30 | 31-54 | 55-102 |
|                    | Діаметр труби        | DN 20 | DN 26 | DN 32 | DN 40 | DN 50  |
| Мідні труби        | Кількість колекторів | 5-9   | 10-16 | 17-30 | 31-54 | 55-90  |
|                    | Діаметр труби        | DN 18 | DN 22 | DN 28 | DN 32 | DN 42  |
| Нержавіючі труби   | Кількість колекторів | 5-8   | 9-16  | 17-30 | 31-44 | 45-90  |
|                    | Діаметр труби        | DN 15 | DN 20 | DN 25 | DN 32 | DN 40  |

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 92  |

## 5. Мережні насоси.

Потрібно ще підібрати насоси для контуру, які будуть прокачувати теплоносії від теплообмінника до буферної ємності та від цієї буферної ємності до іншого теплообмінника, де безпосередньо нагрівається мережна холодна вода в гарячу. Кількість мережних насосів приймають не менше двох, один з яких є резервним [15].

Розрахунок насоса проводиться за такими параметрами: продуктивність і величина напору.

Розрахунок напору (H) проводиться за формулою 2.22:

$$H = \frac{R \cdot L \cdot ZF}{10000}, \text{ м}, \quad (2.22)$$

де R – питомий опір трубопроводу, Па/м (труба Ду 50, швидкість руху теплоносія 0,55 м/с, R = 107 Па/м);

L – протяжність найдовшої ділянки трубопроводу (48 м);

ZF – коефіцієнт запасу (2,2 для систем опалення, 2,6 для гарячого водопостачання);

10 000 - коефіцієнт для перетворення метрів водяного стовпа в Па.

$$H = \frac{107 \cdot 48 \cdot 2,6}{10000} = 1,4 \text{ м}.$$

Розрахунок продуктивності (P) проводиться за формулою 2.23.

$$P = \frac{3,6 \cdot Q}{c_b \cdot \Delta t}, \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (2.23)$$

де Q – теплова потужність (у цьому разі йдеться про необхідне теплове навантаження на теплообмінник);

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 93  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

$c_v$  – питома теплоємність води, яка в розрахунках приймається рівною 4.187 кДж/(кг\*°C);

$\Delta t$  – різниця температур теплоносія.

$$P = \frac{3,6 \cdot 136}{4,176 \cdot 20} = 5,86 \text{ м}^3/\text{год}$$

II. Згідно із законодавством максимально допустима потужність домашніх сонячних станцій може складати 30 кВт. Номінальна потужність підбраної та розрахованої фотоелектричної частини колектора становить 27 кВт. Тому підбір обладнання проводиться саме за цими параметрами.

До основних компонентів електричної частини системи колекторів входить:

### 1. Інвертор.

Основні особливості при підборі мережного сонячного інвертора це:

- трифазна підтримка потужності від 10 до 60 кВт;
- відповідність дотримання номінальної потужності електричному полю з 30% запасом при перевантаженні;
- можливість моніторингу роботи системи дистанційно;
- високий показник ККД інвертора.

2. Комплект захисту DC (по постійному струму) та AC (по змінному струму) теж мають відповідати номінальній потужності. Також до цієї системи захисту МСЕС має ще обов'язково входити контур заземлення.

### 3. Акумуляторна батарея (АКБ).

Агрегати, в яких накопичується енергія, для сонячної електростанції - один із найважливіших компонентів автономних та гібридних систем.

Розрахунок АКБ для МСЕС виконується, виходячи з її потужності, характеристик навантаження і зовнішніх чинників.

За формулою 2.24, порахуємо ємність акумулятора для зберігання сонячної енергії.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 94  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

$$O_a = \frac{P \cdot nd}{E_v \cdot R_a \cdot Uh} \cdot A \cdot \text{год}, \quad (2.24)$$

де  $P$  – сумарне добове споживання електроенергії, (Вт·год/день);

$nd$  – кількість днів;

$E_v$  – внутрішні втрати в системі, (%);

$R_a$  – відсоток розряду АКБ;

$Uh$  – номінальна напруга, (В).

Виконаємо розрахунок акумулятора з такими параметрами, які забезпечать щодобове електропостачання обладнання для потреби живлення (9823 Вт·год/день) у бойлерній та котельні протягом одного дня:

номінальна напруга - 48 Вольт (для даного випадку акумулятори 12 В не підходять, оскільки струм, який буде протікати через клеми акумуляторів, буде дуже високий. Але, якщо вибір зупиниться на гелевих АКБ, які є лише 12 В, тоді для збільшення напруги потрібно послідовно з'єднати чотири такі одиниці);

внутрішні втрати - 10%;

глибина розряду - гелеві та agm-акумулятори для сонячних батарей допускають розряд до 50-60%, літій-іонні - в межах 80-90%.

Гелеві та AGM:

$$O_a = \frac{9823 \cdot 1}{0,9 \cdot 0,55 \cdot 48} = 413 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Літій – іонні:

$$O_a = \frac{9823 \cdot 1}{0,9 \cdot 0,85 \cdot 48} = 268 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Виходячи з отриманого результату, можна визначити, скільки потрібно акумуляторів для сонячних батарей.

Гелевих свинцево-кислотних приладів типу Jarrett GEL 12V 250Ah необхідно:  $413/250 \approx 1,68 = 2 \text{ шт.} \cdot 4 = 8 \text{ шт.}$

Для літєвих накопичувачів типу Sunlight 48V 180AH (2 PzS 250) необхідно:  $268/180 = 1,48 \approx 2 \text{ шт.}$

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 95  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



## Висновок

Найбільш рекомендовані саме гелеві (GEL) накопичувачі для сонячної електростанції, вони мають позитивні характеристики. Їх резервуари наповнені гелевим електролітом, що знаходиться в желеподібному стані. При пошкодженні корпусу електролітна речовина не витікає. Під час зарядки накопичувачі не виділяють отруйної пари.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 96  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

## РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

### 3 Розрахунок техніко-економічної доцільності використання гібридних сонячних колекторів

В магістерській роботі в систему гарячого водопостачання будинку пропонується інтегрувати гібридні сонячні колектори для підвищення продуктивності та ефективності системи автономного тепlopостачання житлового будинку, а також вирішить питання енергетичної незалежності котельні. Для перевірки доцільності встановлених PVT колекторів визначаємо техніко-економічні показники та показники ефективності запропонованого варіанту.

#### 3.1 Розрахунок капітальних інвестицій

В нашому випадку капітальні витрати придбаних PVT колекторів, які будуть використані для покращення результатів діяльності об'єкта дослідження (житлового будинку) у майбутньому. Згідно з ДСТУ Б Д.1.1-1:2013, за формулою 3.1 визначимо проєктні капіталовкладення.

$$K_{\text{ін.}} = K_{\text{об.}} (\sum_{i=1}^k c_i) + B_{\text{т}} + B_{\text{з}} + B_{\text{мн}} + B_{\text{і}}, \text{ грн}, \quad (3.1)$$

де  $K_{\text{об.}} (\sum_{i=1}^k c_i)$  – сумарна вартість комплектуючих елементів необхідних, для впровадження прийнятого технічного рішення, які представлені в таблицях 3.1 і 3.2;

$B_{\text{т}}$  – витрати транспортні,  $B_{\text{т}} = K_{\text{об.}} \cdot 3\%$ , грн;

$B_{\text{з}}$  – витрати заготівельно-складські,  $B_{\text{з}} = (K_{\text{об.}} + B_{\text{т}}) \cdot 0,9\%$ , грн;

$B_{\text{мн}}$  – витрати монтажньо-налагоджувальні,  $B_{\text{мн.}} = K_{\text{об.}} \cdot 10\%$ , грн;

$B_{\text{і}}$  – інші одноразові вкладення грошових коштів,  $B_{\text{і}} = B_{\text{мн.}} \cdot 3\%$ , грн .

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                            |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного<br>тепlopостачання житлового будинку від дахової котельні<br>шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                            | 97  |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                            |     |

Таблиця 3.1 - Капітальні витрати для підключення теплової частини PVT колекторів

| № п/п | Найменування технічного обладнання                  | Ціна за одиницю (роздріб), eur | Кількість, шт. | Загальна вартість, eur |
|-------|-----------------------------------------------------|--------------------------------|----------------|------------------------|
| 1     | Колектор SPRING 425 Shingle Black                   | 202,5                          | 63             | 12757,5                |
| 2     | DualSun Essential Kit (включаючи зонд 5,4 мм)       | 79                             | 1              | 79                     |
| 3     | DN26 - Пружинний гнучкий шланговий з'єднувач        | 2,4                            | 108            | 259,2                  |
| 4     | Комплект вхідних / вихідних фітінгів SPRING – 1"*2" | 12                             | 9              | 108                    |
| 5     | Контролер DualSun SLL з вбудованим насосом          | 1281                           | 1              | 1281                   |
| 6     | Триходовий клапан з електроприводом Tervix DN40     | 178,2                          | 1              | 178,2                  |
| 7     | Бак-акумулятор для ГВП 4м <sup>3</sup>              | 1502                           | 1              | 1502                   |
| 8     | Пластинчастий теплообмінник SWEP 50 кВт             | 138                            | 1              | 138                    |
| 9     | Пластинчастий теплообмінник SWEP 135 кВт            | 354                            | 1              | 354                    |
| 10    | Мережні насоси Wilo PARA (25) / 7-50                | 128                            | 2              | 256                    |
| 11    | Розширювальний бак Krakow 50 л                      | 44,5                           | 1              | 44,5                   |

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 98  |

Продовження таблиці 3.1

|                                                      |                                              |       |     |           |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------|-----|-----------|
| 12                                                   | Розширювальний бак<br>Reflex N 500 л         | 482,4 | 1   | 482,4     |
| 13                                                   | Труба багатошарова DN<br>50 Fischer          | 7,3   | 104 | 759,2     |
| 14                                                   | Ізоляція каучукова<br>K-FLEX ST 19x054       | 3,7   | 104 | 384,8     |
| 15                                                   | Розбірна запірна арматура<br>2"              | 48    | 12  | 576       |
| 16                                                   | Етиленгліколь 40%                            | 1,7   | 428 | 727,6     |
| 17                                                   | Кріплення для 7- ми со-<br>нячних колекторів | 126   | 9   | 1134      |
| Всього еур:                                          |                                              |       |     | 21021,4   |
| Всього грн ( по курсу 1 еур = 38,57 грн на 11.11.23) |                                              |       |     | 810731,99 |

Таблиця 3.2 - Капітальні витрати для підключення електричної частини PVT колекторів

| №<br>п/п | Найменування технічно-<br>го обладнання         | Ціна за одиницю<br>(роздріб), еур | Кількість,<br>шт. | Загальна<br>вартість, еур |
|----------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|---------------------------|
| 1        | Мережний сонячний ін-<br>вертор Solis 30кВт     | 1662,9                            | 1                 | 1662,9                    |
| 2        | Комплект захисту DC та<br>АС 30 кВт             | 154,6                             | 1                 | 154,6                     |
| 3        | Акумулятор Jarrett GEL<br>12V 250Ah             | 324                               | 8                 | 2592                      |
| 4        | Кабель для сонячних па-<br>нелей KBE Solar 6 мм | 1,6                               | 60                | 96                        |

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                            |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного<br>теплопостачання житлового будинку від дахової котельні<br>шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                            | 99  |

## Продовження таблиці 3.2

|                                                      |                        |     |    |           |
|------------------------------------------------------|------------------------|-----|----|-----------|
| 5                                                    | Гофротруба вулична d16 | 0,1 | 60 | 6         |
| Всього еур.:                                         |                        |     |    | 4511,5    |
| Всього грн ( по курсу 1 еур = 38,57 грн на 11.11.23) |                        |     |    | 173994,95 |

Отже капітальні інвестиції складають:

$$K_{\text{ін.}} = 984726,94 + 29541,8 + 9128,42 + 98472,69 + 2954,18 = 1124824,04 \text{ грн.}$$

### 3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати визначаються за формулою 3.2:

$$E_{\text{в}}^{\text{р}} = C_{\text{а}} + C_{\text{т}} + C_{\text{з}} + C_{\text{е}}, \text{ грн}, \quad (3.2)$$

де  $C_{\text{а}}$  – амортизаційні відрахування, грн;

$C_{\text{т}}$  - витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання і мереж, грн;

$C_{\text{з}}$  - заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн (для даного варіанта обслуговування проводиться за договором про технічне обслуговування, і величина заробітної плати входить в  $C_{\text{т}}$ );

$C_{\text{е}}$  – витрати на електроенергію, грн (електроенергія в даному проєкті самокомпенсується, тому і не буде рахуватися) [17].

#### 3.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Гарантія на гібридні сонячні колектори складає 10 років та 30-річна лінійна гарантія, яка передбачає строк корисного використання. Додаткове обладнання для

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 100 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

інтеграції колекторів має строк корисного використання – 5 років (дорівнює мінімально допустимому строку, установленому пп. 138.3.3 ПКУ).

Розрахунок проводиться за прямолінійним методом, згідно з яким річна сума амортизації визначається шляхом розподілу амортизованої вартості на строк корисного використання. Згідно з п. 4 П(С)БО 7 амортизованою вартістю об'єкта є первісна або переоцінена вартість активів [16].

За формулою 3.3, рахуються річні амортизаційні відрахування.

$$C_a = \frac{P_v \cdot A_n}{100\%}, \text{ грн} \quad (3.3)$$

де  $P_v$  - первісна вартість об'єкта основних активів, грн;

$A_n$  – норма амортизації, %.

Сама норма амортизації розраховується за такою формулою:

$$A = \frac{100\%}{S}, \% \quad (3.4)$$

де  $S$  – Термін корисного використання об'єкта основних фондів.

Тоді, норма амортизації для гібридних сонячних колекторів складає:

$$A_k = \frac{100}{30} = 3,3 \%$$

Норма амортизації для додаткового обладнання:

$$A_{до} = \frac{100}{5} = 20 \%$$

Річні амортизаційні відрахування для гібридних сонячних колекторів:

$$C_a^k = \frac{3,3 \cdot 611904,3}{100} = 20192,8 \text{ грн.}$$

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 101 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Річні амортизаційні відрахування для додаткового обладнання:

$$C_a^{\text{до}} = \frac{20 \cdot 512919,7}{100} = 102583,9 \text{ грн.}$$

Отримані дані внесені в таблицю 3.3 для порівняння з капітальними витратами.

Таблиця 3.3 – амортизаційні та капітальні витрати

| №<br>п/п | Найменування            | Капітальні<br>вкладення<br>(грн) | Норма<br>амортизації<br>(%) | Амортизаційні<br>відрахування<br>(грн) |
|----------|-------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| 1        | PVT колектори           | 611904,3                         | 3,3                         | 20192,8                                |
| 2        | Додаткове<br>обладнання | 512919,7                         | 20                          | 102583,9                               |

### 3.2.2 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Сервісне обслуговування гібридних сонячних колекторів проводять від фірми продавця, сервіс партнери. Виконання робіт проводиться на постійній основі за договором. Вартість договору включено в експлуатаційні вкладення, в якому пропонується під ключ повний пакет сервісу, який передбачає виконання наступних заходів:

- системний віддалений моніторинг роботи станції 24/7;
- проведення регламентних робіт для забезпечення максимальної продуктивності;
- інспекція станції для виявлення несправностей/дефектів. Інспекція у разі виявлення зниження планових показників електрогенерації;
- оперативне усунення аварійних ситуацій при експлуатації;
- заміна пошкодженого обладнання для максимально швидкого відновлення роботи станції;

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 102 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

- ремонт обладнання;
- ручне або технічне очищення модулів від забруднень;
- проведення монтажних та пусконаладжувальних робіт.

Середня вартість обслуговування PVT колекторів становить 7,44 єв (287 грн по курсу на 11.11.23) на рік за одиницю.

$$\text{Отже: } C_T = 287 \cdot 63 \text{ шт.} = 18081 \text{ грн}$$

Отримавши дані, рахуємо за формулою 3.6 річні експлуатаційні витрати:

$$E_P = 20192,8 + 102583,9 + 18081 = 140857,8 \text{ грн.}$$

### 3.3 Визначення річної економії від впровадження PVT колекторів

Для визначення річної економії по об'єкту дослідження потрібно знати:

1. Кількість виробленої гібридними сонячними колекторами електроенергії;
2. Кількість зекономленого природного газу при нагріві потрібного об'єму

гарячої води.

1. Потужність, яку видають 63 гібридні сонячні колектори протягом року, пораховано у розділі «Розрахунок фотоелектричної частини системи гібридних сонячних колекторів» за формулою 3.0 та складає 22207 кВт. За формулою 3.5, порахуємо число коштів, які заощаджуються при виробленні електроенергії.

$$E_{el.} = T_f \cdot W, \text{ грн,} \quad (3.5)$$

де  $T_f$  – тариф за 1 кВт електроенергії для населення (2,64 грн/кВт·год).

$$E_{el.} = 2,64 \cdot 22207 = 58626,48 \text{ грн.}$$

2. Для початку варто зазначити, що кількість газу, необхідного для підігрівання води, залежить від кількох чинників, таких як початкова температура води, бажана кінцева температура та загальна кількість води, яку потрібно нагріти. Розрахунок спожитого природного газу на підігрівання 1 м<sup>3</sup> холодної води обчислюють за формулою 3.6:

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 103 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



$$W = \frac{c_v \cdot V(t_r - t_x)}{T_3}, \text{ м}^3, \quad (3.6)$$

де  $c_v$  – питома теплоємність води, яка в розрахунках приймається рівною 4,187 кДж/(кг·°C);

$V$  – кількість нагрітої води;

$t_r$  – температура, до якої нагрівається вода;

$t_x$  – температура холодної води;

$T_3$  – питома теплота згоряння газу за ДСТУ ISO 15971:2014 - 31,8 МДж/м<sup>3</sup> (7600 ккал/м<sup>3</sup>).

В опалювальний період (182 доби):

$$W = \frac{4,187 \cdot 10,95 \cdot (65 - 5)}{31,8} \cdot 182 = 15744 \text{ м}^3.$$

В неопалювальний період (168 діб):

$$W = \frac{4,187 \cdot 10,95 \cdot (65 - 15)}{31,8} \cdot 168 = 12111 \text{ м}^3.$$

За формулою 3.7, порахуємо число коштів, які заощаджуються, коли природний газ не спалюється.

$$E_{gas.} = (T_g + T_{dg}) \cdot W, \text{ грн.} \quad (3.7)$$

де  $T_g$  – тариф за 1 м<sup>3</sup> газу для населення в Рівненській області (7,99 грн);

$T_{dg}$  – тариф за доставку 1 м<sup>3</sup> газу для населення в Рівненській області (1,848 грн).

$$E_{gas.} = (7,99 + 1,848) \cdot 27855 = 274033,65 \text{ грн.}$$

Розрахуємо за формулою 4.2 економічний ефект від впроваджених заходів.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 104 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

$$E_{\text{річ.з.}} = E_{\text{el.}} + E_{\text{gas.}} - E_{\text{в.}}^{\text{р}}, \text{ грн}, \quad (4.2)$$

$$E_{\text{річ.з.}} = 58626,48 + 274033,65 - 140857,8 = 191802,3 \text{ грн.}$$

### 3.4 Розрахунок терміну окупності капітальних витрат

Простий період окупності проєкту визначаємо за формулою 3.8

$$P_{\text{ок.}} = \frac{K_{\text{ін.}}}{E_{\text{річ.з.}}}, \text{ років.} \quad (3.8)$$

$$P_{\text{ок.}} = \frac{1124824,04}{191802,3} = 5,8 \text{ років.}$$

### 3.5 Розрахунок зменшення шкідливих викидів при використанні колекторів

Шкідливі викиди – позиціонуються антропогенним забрудненням, а саме хімічними речовинами, твердими частинками і біологічними матеріалами, здатними викликати шкоду для людини та інших живих організмів.

Для розрахунку того, на скільки зменшуються шкідливі викиди від газових конденсаційних котлів в атмосферне повітря за рахунок економії палива при інтеграції гібридних сонячних колекторів, скористаємось формулою 3.9

$$B = C_i \cdot W, \quad (3.9)$$

де  $C_i$  – питомі викиди шкідливих компонентів, які внесені в таблицю 3.4;

$W$  – кількість спаленого газу протягом одного року.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 105 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Таблиця 3.4 - Питомі показники викидів в атмосферу шкідливих компонентів у складі природного газу

| Теплота згоряння газу, кДж/кг | CO <sub>2</sub> , г/м <sup>3</sup> | SO <sub>2</sub> , г/м <sup>3</sup> | CH <sub>4</sub> , г/м <sup>3</sup> | NO <sub>x</sub> , г/м <sup>3</sup> | CO, г/м <sup>3</sup> | Органічні сполуки, г/м <sup>3</sup> | Тверді частинки, г/м <sup>3</sup> |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 31800                         | 1880                               | незначні                           | 0,17                               | 1,66                               | 1,68                 | 0,17                                | 0,12                              |

CO<sub>2</sub> - диоксид вуглецю:

$$B = 1880 \cdot 27855 = 52,36 \text{ т/рік.}$$

SO<sub>2</sub> - оксид сірки:

Показники викидів незначні, тому до уваги не беруться,

CH<sub>4</sub> – метан:

$$B = 0,17 \cdot 27855 = 4,74 \text{ кг/рік.}$$

NO<sub>x</sub> - оксиди азоту:

$$B = 1,66 \cdot 27855 = 46,2 \text{ кг/рік.}$$

CO - монооксид вуглецю:

$$B = 1,68 \cdot 27855 = 46,8 \text{ кг/рік.}$$

Органічні сполуки:

$$B = 0,17 \cdot 27855 = 4,74 \text{ кг/рік.}$$

Тверді частинки:

$$B = 0,12 \cdot 27855 = 3,34 \text{ кг/рік.}$$

#### Висновок

Повна вартість інтеграції PVT колекторів складає 1124824 грн. При цьому окупність складає 5,7 років, при умові, що вартість газу та електрики будуть незмінними протягом цих років, а при зростанні тарифів окупність буде швидшою. Економічно доцільний період окупності становить 10 років, це говорить про позитивну ефективність їх впровадження в системи ГВП будинку.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 106 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Також обмеження спалювання природного газу призведе до меншого викиду перерахованих вище шкідливих речовин, що в свою чергу зменшить загальні накопичення в атмосфері, які призводять до: парникового ефекту, озонових дір, погіршення стану води, зміни клімату, погіршення здоров'я населення та інших витікаючих із цього негативних чинників.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 107 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Гібридні сонячні колектори використовуються у якості установки для нагріву гарячої води та отримання електроенергії за допомогою сонячного випромінювання. Тому, вся сонячна установка повинна бути встановлена та експлуатуватися відповідно до визначених технічних правил.

#### 4.1 Загальні стандарти та закони, яких необхідно дотримуватися

Щоб забезпечити безпечну, екологічну та економічну роботу вибраного обладнання, необхідно дотримуватися всіх відповідних регіональних і національних стандартів, законів, правил і директив, зокрема таких:

ДСТУ EN 61215-1-2:2022 Наземні фотоелектричні (PV) модулі. Атестація конструкції та схвалення типу. Частина 1-2;

ДСТУ EN IEC 61730-1-2:2018 Визначення безпеки фотоелектричних модулів. Частина 1-2;

ДСТУ EN 12975-1-2001 Системи теплові сонячні та їхні компоненти. Колектори сонячні. Частина 1-2;

EN 12976-1-1-2:2019 Системи теплові сонячні та їх складові. Промислове виробництво. Частина 1-2;

ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах;

конституція України;

кодекс законів про працю;

закон України «Про охорону праці»;

закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 108 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

втрату працездатності»;

наказ «Про затвердження Правил охорони праці та безпечної експлуатації технологічних трубопроводів»;

наказ «Про затвердження Правил технічної експлуатації електроустановок»;

наказ "Про затвердження Інструкції з гасіння пожеж на енергетичних об'єктах України".

## 4.2 Безпека праці при застосуванні електричної енергії

I.) Небезпека електротравматизму полягає у тому, що електричний струм людина не може виявити ні за зовнішнім виглядом, ні за звуком, ні за запахом. Ураження струмом виникає з такою швидкістю, що людина не спроможна самотійно звільнити себе від дротів або деталей, що знаходяться під напругою, бо при цьому має місце невідповідність швидкості дії струму та швидкості рефлексів організму.

II.) Ураження неізолюваної від землі людини електричним струмом може виникати тоді, коли вона:

- торкнулася до однієї або до двох фаз електроустановки, що знаходиться під напругою;
- наблизилась на небезпечну відстань до неізолюваних струмопровідних частин електроустановки під напругою;
- торкнулася до металевих корпусів електрообладнання, що перебуває під напругою внаслідок пошкодження електроізоляції;
- потрапила під дію “крокової напруги”, що виникла у місцях розтікання струму по землі;
- торкнулася до накопичувачів електричної енергії, відключених від мережі (батареї конденсаторів, кабельні чи повітряні ЛЕП і ін.);
- потрапила під дію атмосферного струму під час грозових розрядів блискавки та ін.

III.) До основних причин електротравматизму належать:

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного тепlopостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 109 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

- порушення правил безпеки при експлуатації електричного устаткування;
- незадовільне огороження струмопровідних частин установки від випадкового до них торкання;
- незадовільна ізоляція струмоведучих частин та їх заземлення;
- невідповідність машин, апаратів, кабелів і провідників умовам їх експлуатації;
- робота машин без дотримання заходів безпеки біля ЛЕП, що перебувають під напругою, та експлуатація переносного ручного електроінструменту з порушенням правил безпеки;
- низький рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу, незадовільний нагляд і контроль за виконанням робіт під напругою без засобів захисту, низький рівень технологічної дисципліни і ін.

#### IV.) Способи захисту людей від ураження електричним струмом.

Основними способами захисту людей від небезпечного наближення або дотику до струмоведучих частин є надійна електрична ізоляція струмоведучих частин, влаштування неізольованих струмоведучих частин на недоступній висоті, застосування захисних огорож та автоматичної сигналізації при небезпечному наближенні до проводів, що знаходяться під напругою, блокування, попереджувальні написи, знаки та плакати, ізольовані захисні засоби захисту і т. ін. Жоден з цих засобів не є універсальним, а має свої переваги і недоліки. Тому, для забезпечення електробезпеки людей необхідно застосовувати не один, а кілька способів одночасно.

### 4.3 Безпека праці при експлуатації трубопроводів

I.) Безпечна експлуатація трубопроводів залежить від середовища, в якому вони працюють, від величини тиску та температури гарячої води. Аварії трубопроводів пари і гарячої води виникають через низьку якість металу, незадовільне виконання монтажних і зварювальних робіт, фланцевого кріплення або несправність арматури, контрольно - вимірювальних приладів, низьку

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 110 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

кваліфікацію обслуговуючого персоналу і т. ін. Проєкт трубопроводів має передбачувати можливість виконання всіх видів контролю, якого вимагають правила улаштування і безпечної експлуатації трубопроводів гарячої води. Вказані правила і нормативи визначають вимоги до улаштування, виготовлення, монтажу, експлуатації й огляду трубопроводів, що транспортують гарячу воду з температурою понад 115 С°.

II.) Монтаж трубопроводів, як правило, здійснюється окремими вузлами, які збираються в блоки за монтажними й аксонометричними схемами. Перед початком монтажу лінії трубопроводів комплектують вузлами, елементами та деталями, арматурою і допоміжними матеріалами.

Арматуру розташовують у місцях, зручних для обслуговування і ремонту. Засувки і вентиля, що вимагають великих зусиль при відкриванні, забезпечуються механічним або електричним приводом. Трубопроводи, а також металеві несучі конструкції мають надійно захищатися від корозії.

Усі елементи трубопроводів з температурою поверхні стінок понад 45°С, які доступні обслуговуючому персоналу, покривають тепловою ізоляцією, температура якої не повинна перевищувати 45°С. Горизонтальні ділянки паропроводів прокладають так, щоб вони мали нахил не менше 0,002 з улаштуванням дренажу. Відповідальність за якість монтажних робіт і його відповідність правилам несе монтажна організація.

III.) Міцність і щільність трубопроводів перевіряють гідравлічним випробуванням.

Гідравлічному випробуванню підлягають:

- всі елементи та деталі трубопроводів;
- блоки трубопроводів;
- трубопроводи всіх категорій із всіма їх елементами і арматурою після виконання монтажних робіт.

Арматура і фасонні деталі трубопроводів підлягають гідравлічному випробуванню пробним тиском відповідно до ДБН.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного тепlopостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 111 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



Для гідравлічного випробування вода повинна мати температуру не нижче  $+5^{\circ}\text{C}$ , тиск підніматися поступово, а час витримки під пробним тиском має бути не менше 5 хв. Після зниження пробного тиску до робочого трубопровід ретельно оглядають по всій його довжині. Трубопровід і його елементи вважаються такими, що витримали гідравлічне випробування, якщо не було виявлено:

- ознак розриву;
- течії, сльозин і потіння у зварних з'єднаннях і в основному металі;
- видимих залишкових деформацій.

Дефекти, що виявлені у процесі гідравлічного випробування, мають бути усунені, після чого здійснюють повторне випробування відремонтованих ділянок.

IV.) За справний стан і безпечну експлуатацію відповідальність несе власник трубопроводу. Він має забезпечувати належну організацію умов його обслуговування, ремонту, нагляду у відповідності до вимог, встановлених Правилами. Керівник призначає особу, що відповідає за справний стан і безпечну експлуатацію трубопроводу.

#### 4.4 Пожежна безпека

Залежно від виду матеріалів і речовин, що горять, пожежі поділяють на класи: А, В, С, Д та Е. Гібридні сонячні колектори відносяться до класу пожежної небезпеки Е – пожежа електроустаткування під напругою.

Основними причинами пожеж в сонячних колекторах можуть бути: займання сміття під панелями, коротке замкнення, операції по технічному обслуговуванню, фізичні пошкодження або перегрів колекторів.

На об'єкті, де використовуються гібридні сонячні колектори, має бути документація з пожежної безпеки:

- положення з інструктажу по перевірці знань пожежної безпеки та протипожежних тренувань;

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 112 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

- інструкція про порядок дій персоналу на випадок появи сигналів про пожежу або про несправність в системах протипожежного захисту;
- журнал контролю стану системи протипожежного водопостачання та реєстрації результатів перевірок пожежних насосів;
- сертифікат відповідності та паспорт на кожний вогнегасник;
- загальна документація з інструкціями про заходи пожежної безпеки для кожного приміщення об'єкта, враховуючи всі вибухо- та пожежонебезпечні приміщення;
- план оперативного пожежогасіння на МСЕС (міні сонячна електростанція) до прибуття пожежників.

Під час гасіння пожеж на електроустановках під напругою використовують вогнегасники з наповненням таких типів, як порошкові вогнегасники: ВП-5, ОП-6, ОП-8, ВП-9, ВП-50, ВП-100, а також вуглекислотні вогнегасники з хладоном: ручні ОУ-2 (ВВК-1,4), ОУ-3 (ВВК-2), ОУ-5 (ВВК-3,5) та пересувні ОУ-7 (ВВК-5), ОУ-25 (ВВК-18), ОУ-40 (ВВК-28), ОУ-80 (ВВК-56).

Для забезпечення безпечної й тривалої експлуатації електрообладнання необхідно, щоб їх конструкція відповідала виробничим умовам і характеру технологічного процесу. Гібридні сонячні колектори потрібно обладнувати захистом автоматичного відключення. Сутність його полягає у знятті напруги зі струмоведучих частин при руйнуванні захисних елементів, що дає можливість уникати вибухонебезпечних ситуацій.

#### 4.5 Заземлення та блискавкозахист

Оцінку та проектування системи заземлення та блискавкозахисту гібридних сонячних колекторів має виконувати навчений та кваліфікований персонал. Для дотримання конкретних вимог обов'язково потрібно ознайомитися з чинними місцевими правилами.

Модулі DualSun повинні бути заземлені за допомогою зубців, наконечників або інших відповідних засобів. Заземлення можна здійснити через отвори, зроблені

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 113 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

для цього в складі кожного модуля. Ці отвори дозволяють приєднати кабель заземлення та підключити його до системи зрівнювання потенціалів. Рама колекторів поставляється з двома отворами для заземлення в кожному куті рами.

Потрібно контролювати, що заземлення виконано за допомогою відповідних з'єднань (нержавіюча сталь), щоб уникнути анодування або окислення рами модуля в отворі, передбаченому для заземлення. Пристрій заземлення повинен добре контактувати з алюмінієвою рамою модуля.

Потрібно уникати прямого контакту між алюмінієм і міддю, використовуючи проміжний метал, наприклад, нержавіючу сталь або олово.

Установка також повинна бути захищена від непрямих ударів блискавки. Драйвери системи можуть стати індуктивними, якщо блискавка спалахне поблизу установки. Щоб запобігти цьому явищу, слід уникати петель електричного кабелю, а поверхня між кабелями має бути якомога меншою, як показано на рис. 4.1 нижче:

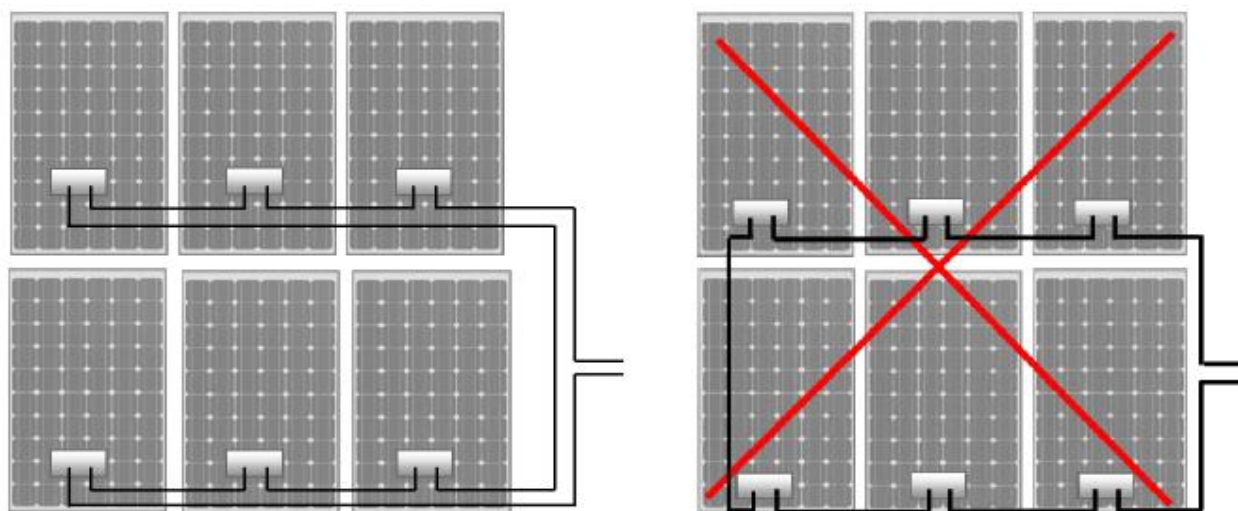


Рис. 4.1 - уникнення петель при підключенні кабелю до PVT колекторів

#### 4.6 Розрахунок товщини ізоляції трубопроводу для запобігання опікам

Розраховуємо необхідну товщину теплоізоляції труб колекторного поля, які знаходяться назовні, та для трубопроводу систем гарячого водопостачання, контур якого змонтований в приміщенні, для запобігання опікам. Необхідна товщина ізоляції розраховується за формулою 4.1:

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      | 114 |

$$\delta_{is} = \frac{d}{2} \cdot (B - 1), \text{ м}, \quad (4.1)$$

де  $d$  – зовнішній діаметр об'єкта ізоляції;

$B$  - відношення зовнішнього діаметра шару ізоляції до зовнішнього діаметра об'єкта ізоляції.

Величину « $B$ » розраховуємо за формулою 4.2:

$$B \ln B = \frac{2 \cdot \lambda_k \cdot (t_v - t_b)}{a_e \cdot d \cdot (t_b - t_z)}, \quad (4.2)$$

де  $\lambda_k$  – теплопровідність ізоляційного шару (каучукова ізоляція),  
0,038 Вт/(м·°C);

$t_v$  – температура середовища, що транспортується, або теплоносія, °C;

$t_b$  – бажана температура на поверхні ізоляції для захисту від опіків, °C;

$t_z$  – температура оточуючого середовища, °C;

$d$  – зовнішній діаметр об'єкта ізоляції, м;

$a_e$  – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляції (прийнятий за додатком 9 ДСТУ Б А.2.4-9:2009 Теплова ізоляція обладнання та трубопроводів, Вт/м·°C).

Отже, рахуємо величину « $B$ » у закритому приміщенні:

$$B \ln B = \frac{2 \cdot 0,038 \cdot (90 - 40)}{6 \cdot 0,054 \cdot (40 - 20)} = 0,58$$

Звідси  $B = 1,8$ .

Величину « $B$ », на відкритому повітрі:

$$B \ln B = \frac{2 \cdot 0,038 \cdot (90 - 40)}{6 \cdot 0,054 \cdot (40 - 7,3)} = 0,36$$

Звідси  $B = 1,4$ .

Тоді розрахункова товщина шару ізоляції у закритому приміщенні:

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 115 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

$$\delta_{із} = \frac{0,054}{2} \cdot (1,8 - 1) = 0,033 \text{ м.}$$

Тоді розрахункова товщина шару на відкритому повітрі:

$$\delta_{із} = \frac{0,054}{2} \cdot (1,4 - 1) = 0,067 \text{ м.}$$

Для дотримання безпечної температури на поверхні труби у 40°C, і при температурі гарячої води в трубі 90°C, товщина ізоляції повинна бути не менша ніж 33 мм в приміщенні та 67 мм на відкритому повітрі.

#### 4.7 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Надзвичайні ситуації (надалі НС) - порушення нормальних умов життя і діяльності людей, які можуть призвести або призводять до загибелі людей або до значних матеріальних втрат. До надзвичайних ситуацій, як правило, призводять аварії, катастрофи, стихійні лиха та інші події, такі як епідемії, терористичні акти, збройні конфлікти тощо. Розглянемо безпеку НС на об'єкті в ситуації з непередбачуваними аваріями та війною.

Аварії поділяються на дві категорії. Наш об'єкт належить до І категорії, внаслідок якої можливе руйнування будівлі, споруди чи основних конструкцій інженерного обладнання об'єкта, що створило загрозу для життя і здоров'я мешканців (з чисельністю проживаючих до 100 осіб).

Випадки порушення технологічних процесів, роботи устаткування обладнання системи ГВП, тимчасової зупинки в результаті спрацювання автоматичних захисних блокувань та інші локальні порушення у роботі об'єкта, а також падіння тиску в системі та обрив дротів ліній електропередачі, не належать до аварій, що мають категорії.

При визначенні НС звертають увагу перш за все на рівень кількості жертв та ступінь впливу на навколишнє життєве середовище. Жителі цього будинку належать до рівня макроколективу, хоча на визначення остаточного рівня впливає саме масштаб НС. Чим більша площа поширення катастрофи, тим

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 116 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

страждає більша кількість людей. Через це в основу існуючих класифікацій надзвичайних ситуацій за їх масштабом найчастіше враховують територію, за якою надзвичайні ситуації поділяють на локальні, об'єктові, місцеві, регіональні, загальнодержавні, континентальні та глобальні. Щодо даного будинку, то НС рахується суто об'єктового рівня, через те, що може розгортатися на території об'єкта або на самому об'єкті, і наслідки якої не виходитимуть за межі об'єкта або його санітарно-захисної зони.

Надзвичайні ситуації класифікуються за характером походження подій, котрі зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій на території України. Поговоримо про ті, які можуть стосуватися безпосередньо об'єкта дослідження. Це НС техногенного характеру, які охоплюють пожежі, неспровоковані вибухи чи їх загрозу, раптове руйнування споруд та будівель, аварії на інженерних мережах. А також НС воєнного характеру, коли ситуації пов'язані з наслідками застосування зброї звичайних засобів ураження, під час яких виникають вторинні фактори ураження мешканців внаслідок зруйнування будівлі та інженерних комунікацій.

У разі, виникнення аварії її можна розглядати та відносити до різних галузей або конкретних видів НС, остаточне рішення щодо її класифікації приймає комісія з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій на тому рівні, до якого належить ситуація.

#### 4.7.1 Розрахунок страхового внеску

Страховий внесок є невід'ємною частиною обов'язкового цивільного страхування, для суб'єктів громадського господарювання через ймовірну шкоду, яка може бути заподіяна пожежами та аварійними ситуаціями.

Мешканцям даного будинку та управлінській компанії пропонується застрахувати потенційно придбане майно в розмірі 60% від балансової вартості (ціна РVT колекторів без додаткового обладнання), яке на день закупівлі складає 810731,99 грн. Середня тарифна ставка зі страхування майна становить 4 % зі 100 грн. Також візьмемо страхову суму за додаткову відповідальність - 2 %. Тепер за

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного тепlopостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 117 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

формулами 4.3 та 4.4 визначимо страхову суму та загальний розмір страхового платежу.

Страхова сума:

$$C_c = B_v \cdot \%,$$

(4.3)

де  $B_v$  – закуплена балансова вартість;  
 % – відсоток суми від балансової вартості.

$$C_c = 810731,99 \cdot 60\% = 486439,2 \text{ грн.}$$

Страховий платіж:

$$C_{\pi} = \frac{C_c}{T_c} \cdot 100,$$

(4.4)

де  $T_c$  – тарифна ставка.

Страховий платіж за страхування майна:

$$C_{\pi} = \frac{486439,2}{100} \cdot 4\% = 19457,6 \text{ грн.}$$

Страховий платіж за додаткову відповідальність:

$$C_{\pi} = \frac{486439,2}{100} \cdot 2\% = 9728,7 \text{ грн.}$$

Загальний страховий платіж:

$$C_{\pi} = 19457,6 + 9728,7 = 29186,3 \text{ грн.}$$

Страховий платіж (страховий внесок, страхова премія) складає 29186,3 грн – це та сума, яку страхувальник зобов'язаний внести страховику згідно з договором страхування, який складатиметься при угоді.



#### 4.7.2 Ліквідація наслідків надзвичайної ситуації після вибуху при аварійній ситуації, а також під час війни в моменти бомбування

Внаслідок вибуху можливе руйнування будівлі та прилеглих споруд, утворення окремих завалів, виникнення нових вибухів і масових пожеж, також можливе замикання в електричних мережах і розгерметизація систем опалення та ГВП при високій температурі під тиском, при цьому можливе ураження людей та тварин. Під час таких аварій обстановка характеризується за такими параметрами, як:

- площа пожежі та зона теплової дії;
- ураження мешканців об'єкта і загроза мешканцям найближчих житлових будинків при вибухах від вогню і задимленні;
- руйнування будинків, споруд і виникнення завалів;
- пошкодження зовнішнього і внутрішнього протипожежного водопостачання та стаціонарних систем пожежогасіння;
- пошкодження технологічного обладнання тощо.

План дій включає, у першу чергу, проведення розвідувальних дій, як в будинку, так і на прилеглий до нього території. При організації розвідки особлива увага звертається на наявність постраждалих при вибуху на об'єкті, ступінь руйнування будинку, місця виникнення завалів, наявність та справність зовнішнього протипожежного водопостачання, стаціонарних систем пожежогасіння тощо.

У ході проведення розвідувальних дій встановлюються:

- райони пожеж і їх характер, визначаються основні напрямки вводу сил та засобів для проведення рятувальних робіт та гасіння пожеж, напрямок і швидкість поширення вогню, зони загазованості і наявність загрози населенню;
- межі району локалізації та гасіння пожеж;
- місцезнаходження потерпілих;
- наявність ділянок сильного задимлення, характер руйнування резервуарів і трубопроводів;

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 119 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



- місця можливого витоку газу;
- наявність справних джерел водопостачання, запасів спеціальних вогнегасних речовин та стан під'їзних шляхів.

На основі даних розвідки проводиться оцінка обстановки та визначаються:

- заходи з організації рятування людей, порядку надання допомоги постраждалим та залучення для цього необхідних засобів;
- основні тактичні прийоми з ліквідації надзвичайної ситуації;
- рубежі локалізації і гасіння пожеж;
- напрями і шляхи відходу групи людей, що залучені до ліквідації, у разі загрози для їх життя при вибуху газу;
- організація зовнішнього протипожежного водопостачання.

Найважливішим завданням є пошук і деблокування постраждалих із зруйнованих будівель. Роботи в цьому напрямку за технологічним принципом розділяються на три основні види:

- деблокування постраждалих, які знаходяться під уламками будівельної конструкції;
- деблокування постраждалих із замкнутих приміщень;
- рятування людей з верхніх поверхів зруйнованих будівель. Виконання робіт з деблокування постраждалих здійснюється такими способами:
- послідовне розбирання завалів;
- влаштування лазів;
- вироблення галереї в ґрунті під завалом;
- пробивання отворів у стінах та перекриттях.

Під час виконання робіт, пов'язаних з ліквідацією аварії внаслідок вибуху, проводяться заходи для захисту людей і техніки від ураження вибуховою хвилею, осколками й уламками конструкцій, що розлітаються, теплового впливу та ураження органів дихання продуктами горіння. Одночасно здійснюються заходи щодо рятування людей з палаючих, зруйнованих будинків і зон задимлення, надання їм медичної допомоги і евакуації в лікарні та спеціалізовані лікувальні

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 120 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

заклади охорони здоров'я. Першу невідкладну медичну допомогу на місці ураження надають рятувальники та медичні працівники, або самі постраждалі в порядку само- та взаємної допомоги. Після надання першої невідкладної медичної допомоги на місці ураження постраждалого транспортують до пункту надання медичної допомоги.

Висновок

Для безпечної та безаварійної роботи системного обладнання необхідно дотримуватися правил та вимог з охорони праці та пам'ятати, що порушення даних видів норм можуть призвести до пошкодження обладнання, руйнування будівлі та отримання травм, які спричиняють порушення життєво важливих органів чи, навіть, призводять до смерті людей.

## РОЗДІЛ 5 ОЦІНКА ВПЛИВУ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВПРОВАДЖЕННЯ PVT КОЛЕКТОРІВ

Скорочення викидів парникових газів стає однією з найважливіших цілей Європейського Союзу, пов'язаних із захистом навколишнього середовища. На початку грудня 2021 року Єврокомісія представила масштабну програму з боротьби зі зміною клімату «Fit for 55», яка передбачає впровадження механізму Carbon Border Adjustment з 2023 року. Реалізація програми покликана сприяти скороченню викидів CO<sub>2</sub> на території ЄС на 55% до 2030 року для досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. Одним зі шляхів досягнення цієї мети є збільшення використання відновлюваної енергії.

Гібридні PVT колектори відносяться до нових зелених технологій у виробництві тепла та енергії. Це екологічно безпечний вибір і конкретна допомога навколишньому середовищу.

У техніко-економічному розділі ми визначили перелік та кількість забруднюючих речовин, які не будуть викидатися в атмосферу в результаті згоряння природного газу від конденсаційних котлів протягом року:

- CO<sub>2</sub> (діоксид вуглецю) – 52,36 т/рік;
- CH<sub>4</sub> (метан) – 4,74 кг/рік;
- NO<sub>x</sub> (оксиди азоту) – 46,2 кг/рік;
- CO (монооксид вуглецю) – 46,8 кг/рік;
- органічні сполуки – 4,74 кг/рік;
- тверді частинки – 3,34 кг/рік.

Протягом року при роботі 63 сонячних гібридних колекторів споживання природного газу в будинку знизиться у 1,5 рази, що дорівнює 27 855 м<sup>3</sup>, або скорочення викидів перерахованих забруднюючих речовин на 69 %. Таким чином, можна узагальнити, що обрана система зменшить негативний вплив на навколишнє середовище.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного тепlopостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 122 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Згідно з даними виробника термін служби гібридних сонячних колекторів становить 30 років. Хоча перероблення сонячних панелей ще не стала серйозною проблемою, в найближчі десятиліття вона стане серйозною, оскільки сонячні колектори необхідно замінити. В даний час їх можна утилізувати разом з іншими стандартними електронними відходами. Та світова спільнота зацікавлена в масовому переробленні та утилізації модулів, тому вже на сьогодні створюють екологічні організації типу «Soren» (перша в світі розробила схему повернення та переробки відходів фотоелектричних модулів). Ця галузь вже готова, як технічно, так і фінансово. Вартість переробки включена в початкову вартість модулів, як вартість «екоучасті». Самі колектори після завершення терміну їх експлуатації підлягають переробленню на 94,7% (дані взяті з інформації виробника).

### Висновок

Сонячна енергія не ідеальна, але в цілому вона робить позитивний «чистий» вплив на навколишнє середовище і фінансові наслідки. Зниження викидів від використання сонячної енергії в порівнянні з будь-яким викопним паливом робить цю технологію надзвичайно вигідною.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 123 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

## ВИСНОВОК

При роботі над рядом проблем, які виявилися в об'єкті, який досліджується, моєю основною метою було передусім підібрати таку систему, яка в першу чергу буде надійною та охопить усі аспекти комплексу проблем. В результаті цього, було обрано гібридні сонячні колектори зі значним терміном окупності – майже 6 років, але вони зможуть задовольнити потреби будинку в електроенергії для забезпечення автономності дахової котельні та бойлерної та потреби в нагріванні води для ГВП, а також значно знизять викиди CO<sub>2</sub>.

Розміщення PVT колекторів на покрівлі не вимагає ніяких дозволів, тому процес від проєктування до встановлення складає короткий термін. Самі гібридні сонячні колектори виробляють більше енергії на одиницю площі поверхні, ніж фотоелектричні модулі та сонячні теплові колектори, що стоять поруч. Тому вони особливо підходять для нашого випадку там, де площа поверхні обмежена.

В результаті проведеної роботи встановлено, що застосування гібридних сонячних колекторів для потреб гарячого водопостачання у тепловій схемі дахової котельні житлового будинку, що знаходиться в м. Рівне, Рівненської обл., є доцільним, як з економічної, так і з екологічної точки зору. По результатах розрахунків визначено, що система може працювати протягом року з ефективністю не менше 69% для забезпечення потреб гарячого водопостачання, що дозволить заощадити близько 28 тис. м<sup>3</sup> природного газу на рік, а також забезпечити повністю електрикою бойлерну та дахову котельню. Вироблений надлишок електроенергії, особливо у літні місяці, можна використовувати на інші потреби будинку.

На противагу плюсам даної системи є виражений недолік, що пов'язаний з відсутністю стабільного теплоспоживання теплоносія у сонячному колекторі, і він може закипати. Цей процес називається «стагнацією».

Під час стагнації відбувається руйнування структури теплоносія. Це призводить до пошкодження компонентів PVT колекторів і може вивести їх з

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного тепlopостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 124 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

ладу. До того ж виникнення стагнації зменшує продуктивність колекторів, оскільки система не працює, поки пара, що утворилася в колекторі, не сконденсується назад у рідину.

Інженери різних компаній розробляють захист від закипання даних систем, і дехто з них досягли успіху, зокрема:

- Viessmann з технологією ThermProtect. На основі нового абсорбера, який складається з багатьох шарів. Один з цих шарів це оксид ванадію ( $\text{VO}_2$ ). При температурах вище  $+75^\circ\text{C}$  оксид ванадію починає змінювати свої оптичні властивості. При розігріванні значно збільшується його теплове випромінювання, і завдяки цьому зменшується температура колектора. І чим вище буде температура абсорбера, тим вище буде його теплове випромінювання. Особливо сильно цей ефект проявляється при температурах абсорбера від  $+100^\circ\text{C}$ . При температурі  $+150^\circ\text{C}$  він повністю випромінює тепло, що попадає на нього з сонячними променями.

- Vaillant з унікальною технологією самозливу autoSTEP. У випадку, коли буферні ємності прогріті, а сонячне випромінювання й надалі діє на абсорбер сонячного колектора, насос вимикається. При цьому рідина зливається в змійовик водонагрівача, і закипання не відбувається.

Традиційні джерела енергії здають позиції перед пріоритетним та стрімким розвитком нетрадиційних джерел енергії, де список очолює сонячна енергія, вважаю доцільним впровадження PVT колекторів в об'єкт, який досліджується.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 125 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

- 1.) Гільorme Т. В., Накашидзе Л. В., Мітіков Ю. О., Накашидзе І. С. Системи енергозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії: технічні, економічні та наукові аспекти побудови: навч. посіб. Дніпро : ДНУ, 2018. 184 с.
- 2.) ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід і каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Зі Зміною № 1. [Чинні від 2018-25-09]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2018. 134 с.
- 3.) ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціювання. [Чинні від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 174 с.
- 4.) ДБН А.3.2-2-2009 Охорона праці і промислова безпека в будівництві. . [Чинний від 2010-06-04]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. 126 с.
- 5.) ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту зі зміною 1. [Чинні від 2019-11-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 132 с.
- 6.) ДБН А.2.2-3-2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. [Чинні від 2014-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 36 с
- 7.) ДБН В.2.5-39:2008. Теплові мережі. [Чинні від 2009-01-07] Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 56с.
- 8.) ДСТУ Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 136 с.
- 9.) ДСТУ-Н Б В.2.5-43:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Настанова з улаштування систем сонячного теплопостачання в будинках житлового і громадського призначення. [Чинний від 2013-03-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 32 с.
- 10.) ДСТУ Б В.2.5-31:2007 Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Трубопроводи попередньо теплоізовані спіненим поліуретаном для мереж гарячого водопостачання та теплових мереж. Труби, фасонні вироби та арматура. Технічні умови. [Чинні від 2007-05-02]. Вид. офіц. Київ : Мінбуд України, 2007. 88 с.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 126 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

11.) ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. [Чинний від 2017-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ, 2015. 32 с.

12.) ДСТУ Б А.2.4-8:2009. Національний Стандарт України. Умовні графічні зображення і позначки елементів санітарно-технічних систем. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ: 2009. 15 с.

13.) ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT). [Чинний від 2013-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2012. 71 с.

14.) ДСТУ Б А.2.4 - 7:2009. Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. 75 с.

15.) Кравченко В.С., Проценко С.Б., Кравченко Н.В. Розрахунок систем інженерного обладнання будівель. Навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2016. 495 с.

16.) КНУ. Настанова з визначення вартості будівництва. З урахуванням Змін № 1, № 2, № 3 [Чинний від 2021-11-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2023. 57 с.

17.) Ольховик О.І., Яковець П.П., Білецький А.А. Коштористна вартість будівництва. Рівне, НУВГП, 2007. С. 261

18.) Титко Р., Калініченко В.М. Відновлювальні Джерела Енергії : навч. посіб. / Варшава: OWG, 2010. 530 с.

19.) Трус І. М., Радовенчик Я. В., Гомеля М. Д. Екологічні аспекти керування якістю навколишнього середовища. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2020. 208 с.

20.) Єрохов В.Ю. Альтернативна енергетика з використанням сонячних елементів: навч. вид. / Львів. Політехніка. Львів : Смолоскип, 2015. 116 с.

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 127 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |



21.) Шульга К. С., Астапова Ю. О., Астапов А. Е. Гібридні сонячні колектори. Міжнародний науковий журнал «Молодий вчений». 2016. № 17. С.101–105.

22.) Deepika Chauhan S. A. Photovoltaic Thermal System and Their Various Aspects : international journal of scientific & technology research. Brussels, 9 SEPTEMBER 2013. Vol. 2. P 79-88

23.) Saffa B. A review on hybrid photovoltaic/thermal collectors and systems / Saffa B., Erdem C. // International Journal of Low-Carbon Technologies. September 2011, Volume 6, Issue 3. P. 212–241

24.) Sajan P. Water and phase change material based photovoltaic thermal management systems: renewable and Sustainable Energy Reviews. February 2018 Vol. 85, No 1. P. 98–108.

25.) Evidence gathering - Hybrid solar photovoltaic thermal panels (PVT) : веб-сайт. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/evidence-gathering-hybrid-solar-photovoltaic-thermal-panels-pvt> (дата звернення: 20.09.2023).

26.) Optimizing limited solar roof access by exergy analysis of solar thermal, photovoltaic, and hybrid photovoltaic thermal systems : веб-сайт. URL: [https://www.appropedia.org/Optimizing\\_limited\\_solar\\_roof\\_access\\_by\\_exergy\\_analysis\\_of\\_solar\\_thermal,\\_photovoltaic,\\_and\\_hybrid\\_photovoltaic\\_thermal\\_systems/Literature\\_review\\_part\\_II](https://www.appropedia.org/Optimizing_limited_solar_roof_access_by_exergy_analysis_of_solar_thermal,_photovoltaic,_and_hybrid_photovoltaic_thermal_systems/Literature_review_part_II) (дата звернення: 22.09.2023).

27.) Review of research, development and application of photovoltaic/thermal water systems: веб-сайт.URL: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/phys-2020-0213/html> (дата звернення: 18.09.2023).

28.) Review on recent approaches for hybrid PV/T solar technology : веб-сайт. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/er.3567> (дата звернення: 22.09.2023).

29.) Innovative photovoltaic thermal hybrid solar collector, also known as PVTsystems:вебсайт.URL:

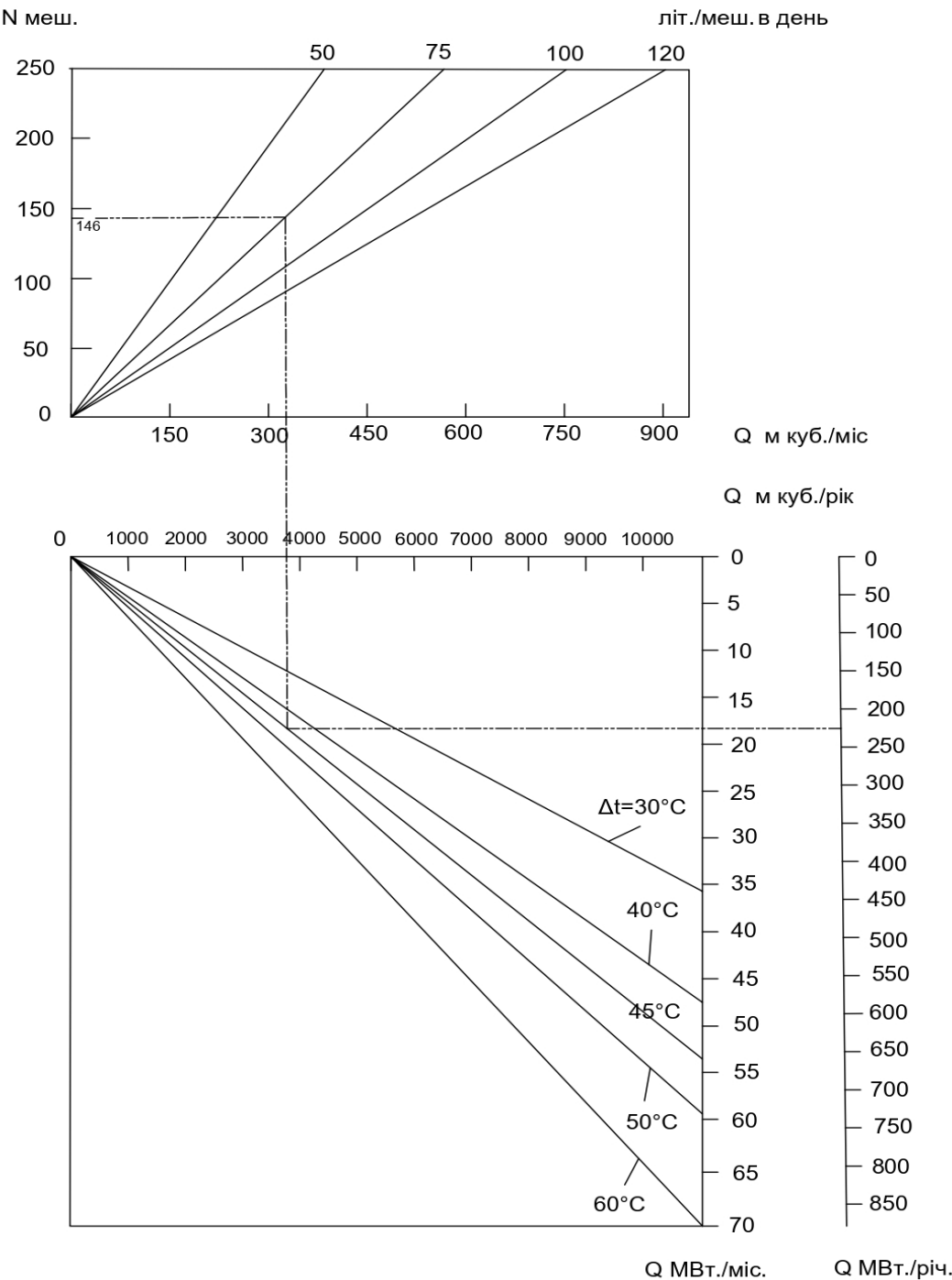
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного тепlopостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 128 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/photovoltaic-thermal-hybrid-solar-collector> (дата звернення: 22.08.2023).

30.) Technical documents DualSun SPRING: веб-сайт. URL: <https://dualsun.com/en/professionals/technical-documents/#spring-shingle> (дата звернення: 10.11.2023).

|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      |     |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     |      |          |        |      | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів | Арк |
|     |      |          |        |      |                                                                                                                                                      | 129 |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                                                      |     |

Номограма для визначення витрати гарячої води, м³, та теплоти, Вт



|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № Докум. | Підпис | Дата |

Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів

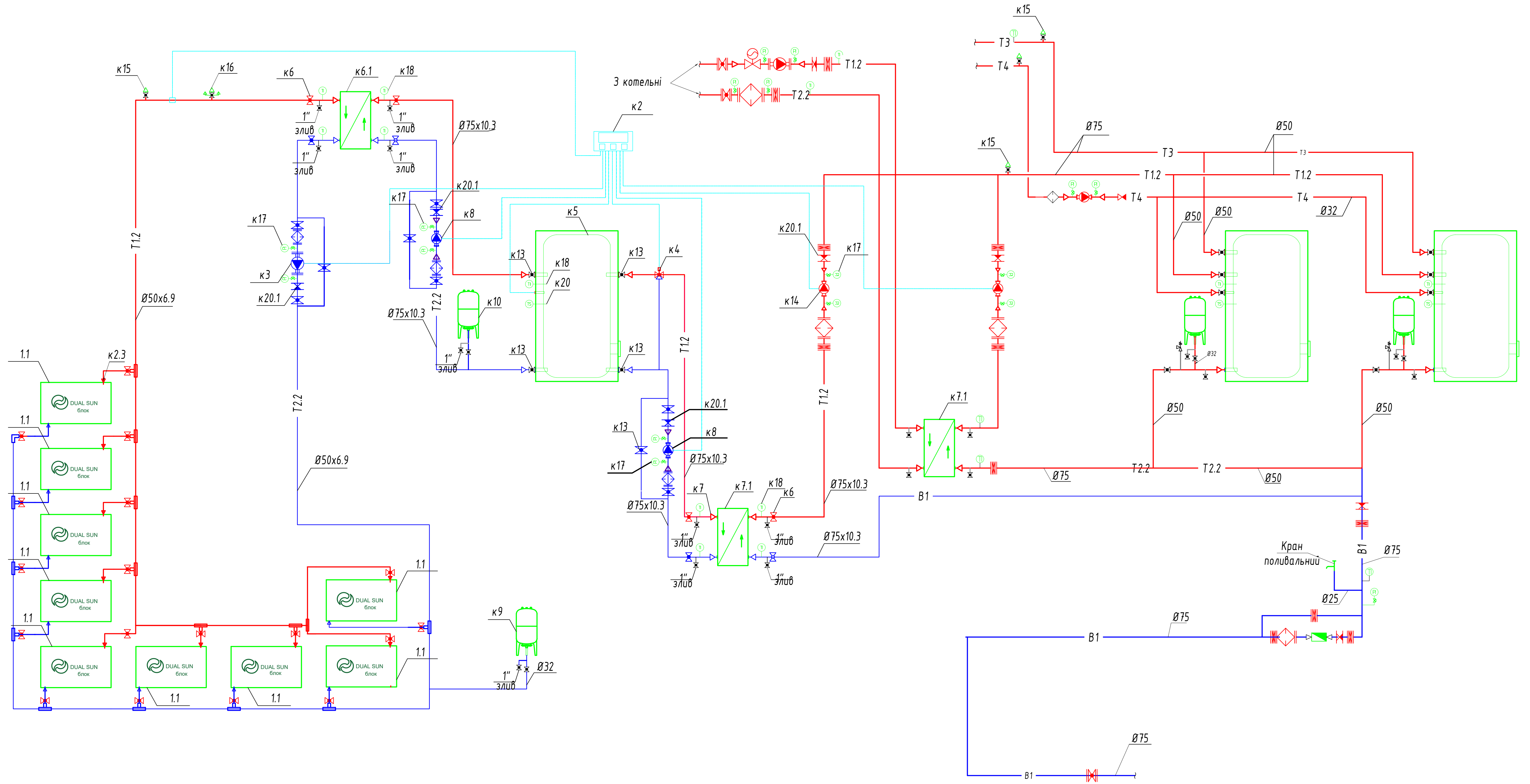
Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Актуальність теми   | Зростаючий інтерес у всьому світі до нетрадиційних джерел енергії. Підвищення ефективності системи ГВП шляхом впровадження PVT колекторів для зниження матеріальних і трудових затрат. Принцип енерго-заощадження та раціонального використання енергоресурсів.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Мета роботи         | Визначити рентабельність впровадження PVT колекторів в систему гарячого водопостачання об'єкта, що досліджується, порахувати економію природних та енергетичних ресурсів, зменшення негативного впливу на екологію, окупності запропонованих колекторів з обладнанням та продуктивності у порівнянні з конденсаційними газовими котлами.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Завдання            | Вивчити науково - технічну літературу, статті та методики впровадження по PVT колекторах; провести обстеження і діагностику жилого будинку та виявити існуючу проблему пов'язану з ГВП; при вивченні об'єкта проаналізувати, провести розрахунки та підібрати комплексне вирішення виявлених проблем; змодельувати, розрахувати та впровадити гібридні сонячні колектори у систему ГВП будинку; виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованого рішення для інтеграції PVT колекторів; відобразити на схемах приєднання гібридних сонячних колекторів до системи ГВП будинку; провести аналіз отриманих результатів в ході роботи та зробити обґрунтовану оцінку. |
| Об'єкт дослідження  | Гібридні сонячні колектори                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Предмет дослідження | Запровадження гібридних сонячних колекторів для нагріву води на потреби гарячого водопостачання та енергетичної автономності дахової котельні у житловому будинку.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Наукова новизна     | Полягає в аналізі експлуатаційно - економічних параметрів, методики розрахунку та інтеграція PVT колекторів в систему ГВП жилого будинку.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Практична цінність  | Робота PVT колекторів полягає в тому, що розробка і впровадження запропонованої системи у житловий будинок дозволить підвищити його енергоефективність.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Економічний ефект   | Інтеграція та застосування PVT колекторів у будинку знизить витрати газу на потреби ГВП та забезпечить енергетичну автономність дахової котельні та бойлерної у порівнянні з традиційними системами.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Соціальний ефект    | Створення та впровадження гібридних сонячних систем можуть забезпечувати дешевою гарячою водою та зеленою енергетикою не тільки конкретний житловий будинок, а і великі соціальні об'єкти.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Методи дослідження  | Статистичний аналіз для збирання, обробки та аналізу інформації. Системний аналіз для встановлення зв'язків між елементами дослідження та вивчення теплофізичних параметрів. Ексергентний аналіз для порівняльної роботи тепловикористовуючих установок в будинку і тих що впроваджуються. Математичне моделювання для прогнозування результатів за різних умов роботи системи. Дедукція як метод виведення підсумку.                                                                                                                                                                                                                                                       |

|             |        |                |       |        |       |                                                                                                                                                      |                             |       |         |
|-------------|--------|----------------|-------|--------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------|---------|
|             |        |                |       |        |       | НУВГП ННІБА ТГВ 03-02-14142482 МР                                                                                                                    |                             |       |         |
|             |        |                |       |        |       | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів |                             |       |         |
| Зм.         | Кільк. | Арк.           | № док | Підпис | Дата  | Актуальність, мета, завдання та методика проведення досліджень                                                                                       | Стадія                      | Аркуш | Аркушів |
| Керівник    |        | Проценко С.Б.  |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      | Н                           | 1     | 11      |
| Консультант |        | Проценко С.Б.  |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |                             |       |         |
| Рецензент   |        | Кравченко Н.В. |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |                             |       |         |
| Студент     |        | Малий В.П.     |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |                             |       |         |
| Н.контр     |        | Проценко С.Б.  |       |        | 12.23 | Процеси наукового дослідження                                                                                                                        | НУВГП ННІБА ТГВ<br>м. Рівне |       |         |
|             |        |                |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |                             |       |         |



### Схема інтеграції PVT колекторів в систему автономного теплопостачання будинку



Специфікацію обладнання див. на аркуші № 9

|             |                |      |       |        |       |                                                                                                                                                    |                         |       |         |
|-------------|----------------|------|-------|--------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------|---------|
|             |                |      |       |        |       | НУВГП ННБА ТГВ 03-02-14142482 МР                                                                                                                   |                         |       |         |
|             |                |      |       |        |       | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування збірних сонячних колекторів |                         |       |         |
| Зм.         | Кільк.         | Арк. | № док | Підпис | Дата  |                                                                                                                                                    |                         |       |         |
| Керівник    | Проценко С.Б.  |      |       |        | 12.23 | Схема інтеграції РVT колекторів в систему автономного теплопостачання будинку                                                                      | Стадія                  | Аркуш | Аркушів |
| Консультант | Проценко С.Б.  |      |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                    | Н                       | 2     |         |
| Рецензент   | Кравченко Н.В. |      |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                    |                         |       |         |
| Спудент     | Малий В.П.     |      |       |        | 12.23 | Схема колекторного поля з трубопроводом, схема бойлерної з трубопроводом                                                                           | НУВГП ННБА ТГВ м. Рівне |       |         |
| Н.контр     | Проценко С.Б.  |      |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                    |                         |       |         |



План колекторного поля на покрівлі будинку



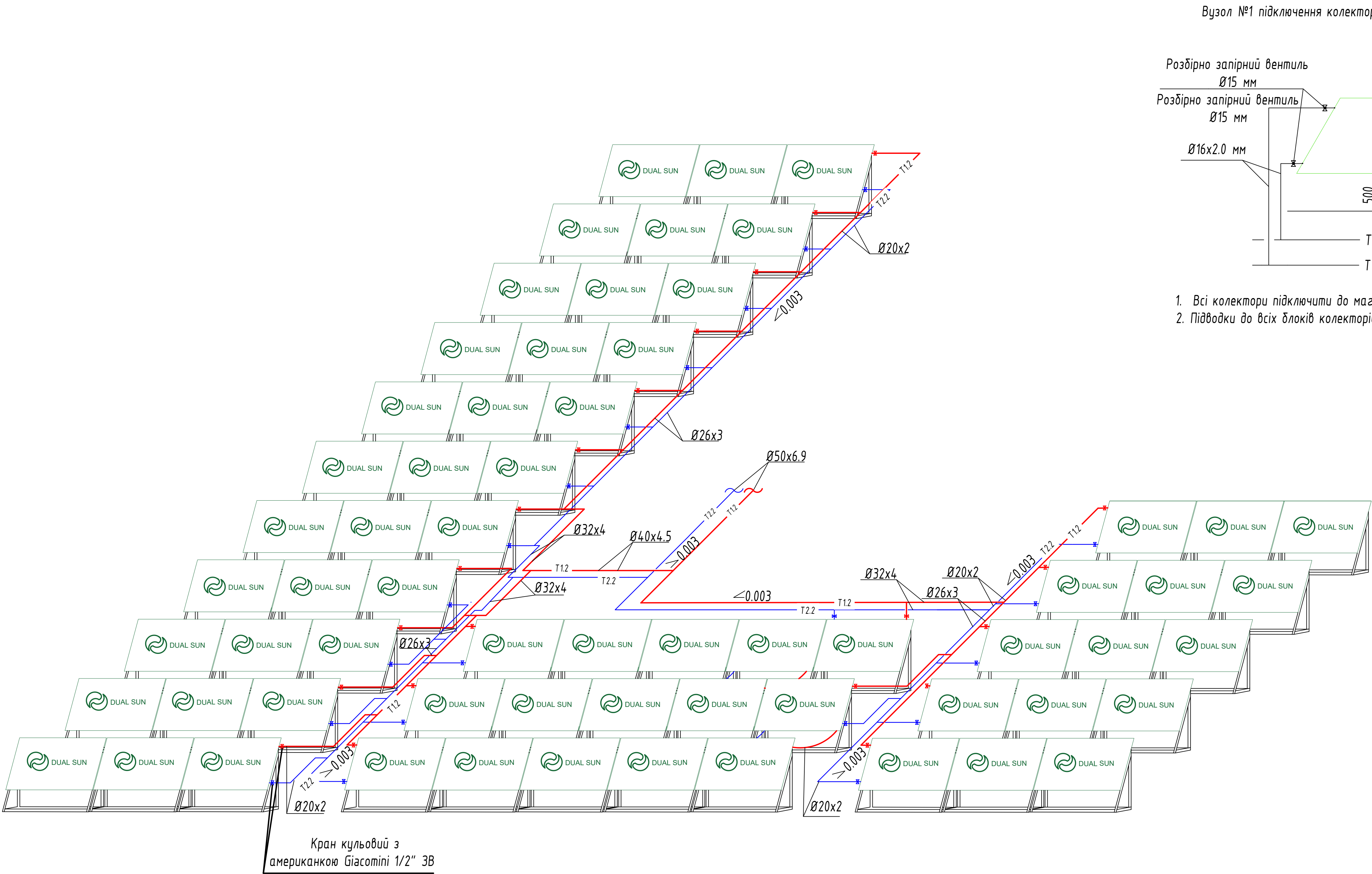
Таблиця розмірів PVT колектора

| Ескіз | Позначка | R, мм | A, мм | H, мм | T, мм | підключення | Кількість |
|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------------|-----------|
|       |          | 6     | 1899  | 1096  | 30    | 1/2"        | 63        |

|             |                |      |        |        |       |                                                                                                                                                      |                          |       |         |  |
|-------------|----------------|------|--------|--------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------|---------|--|
|             |                |      |        |        |       | НУВГП ННІБА ТГВ 03-02-14142482 МР                                                                                                                    |                          |       |         |  |
|             |                |      |        |        |       | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів |                          |       |         |  |
| Зм.         | Кільк.         | Арк. | № док. | Підпис | Дата  |                                                                                                                                                      | Стадія                   | Аркуш | Аркушів |  |
| Керівник    | Проценко С.Б.  |      |        |        | 12.23 | План колекторного поля на покрівлі будинку                                                                                                           | Н                        | 3     |         |  |
| Консультант | Проценко С.Б.  |      |        |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |                          |       |         |  |
| Рецензент   | Кравченко Н.В. |      |        |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |                          |       |         |  |
| Студент     | Малий В.П.     |      |        |        | 12.23 | Принципова схема підключення гібридних сонячних колекторів. М1: 50                                                                                   | НУВГП ННІБА ТГВ м. Рівне |       |         |  |
| Н.контр.    | Проценко С.Б.  |      |        |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |                          |       |         |  |
|             |                |      |        |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |                          |       |         |  |

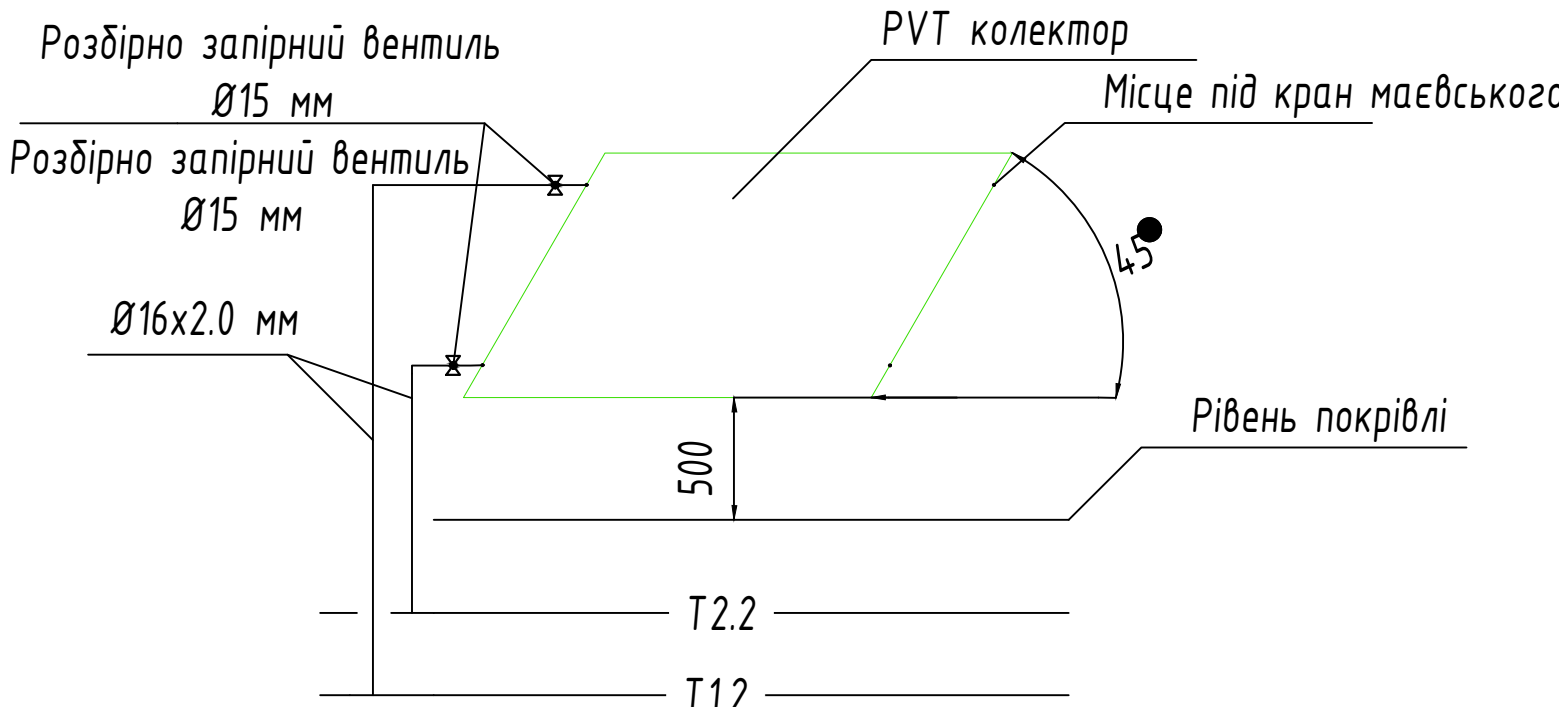


Схема колекторного поля на покрівлі будинку з вузлом підключення колектора до трубопроводів



Трубопроводы утеплить каучуковой изоляцией K-Flex відповідно до діаметрів

Вузол №1 підключення колектора та розподільчих трубопроводів



- 1. Всі колектори підключити до магістральних трубопроводів згідно з вузлом №1
- 2. Підводки до всіх блоків колекторів виконати із труб KAN-therm Ø 16x2.0 мм PE-RT

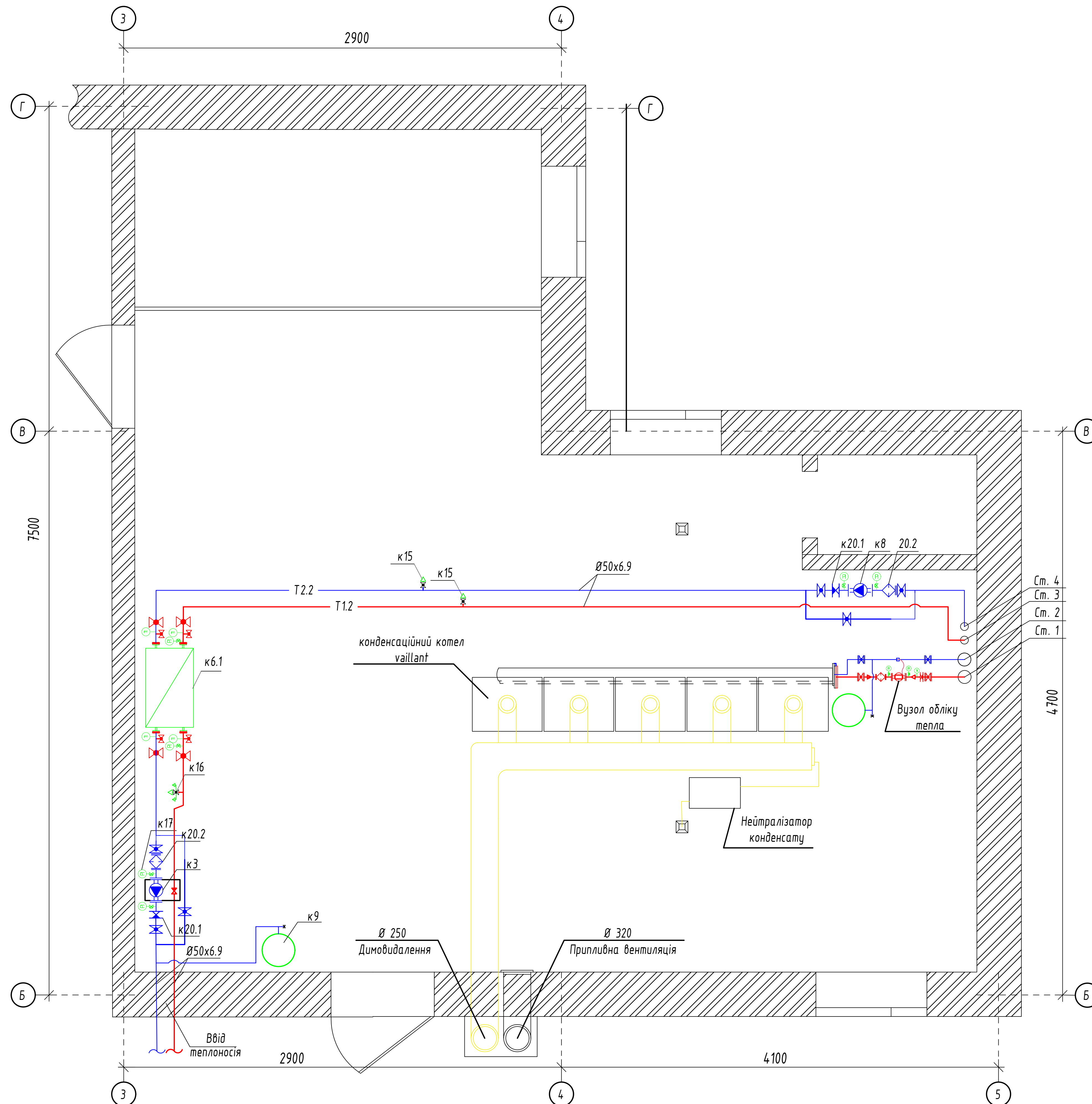
Умовні позначення:

- T 1.2 - Подавальний трубовід до джерела тепла
- T 2.2 - Зворотний трубовід від джерела тепла

|             |        |                |       |        |       |                                                                                                                                                      |                             |       |         |
|-------------|--------|----------------|-------|--------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------|---------|
|             |        |                |       |        |       | НУВГП ННІБА ТГВ 03-02-14142482 МР                                                                                                                    |                             |       |         |
|             |        |                |       |        |       | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів |                             |       |         |
| Зм.         | Кільк. | Арк.           | № док | Підпис | Дата  | Схема колекторного поля на покрівлі будинку з вузлом підключення колектора до трубопроводів                                                          | Стадія                      | Аркуш | Аркушів |
| Керівник    |        | Проценко С.Б.  |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      | Н                           | 4     |         |
| Консультант |        | Проценко С.Б.  |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |                             |       |         |
| Рецензент   |        | Кравченко Н.В. |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |                             |       |         |
| Студент     |        | Малий В.П.     |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |                             |       |         |
| Н.контр     |        | Проценко С.Б.  |       |        | 12.23 | Принципова схема підключення гібридних сонячних колекторів до розподільчих трубопроводів. М1 : 50                                                    | НУВГП ННІБА ТГВ<br>м. Рівне |       |         |



План підключення контуру РVT колекторів до системи ГВП будинку в котельні



Умовні позначення:

Т 1.2 - Подавальний трубопровід до джерела тепла

Т 2.2 - Зворотний трубопровід від джерела тепла

Ст. 1 - Стояк подавального трубопроводу від газового котла

Ст. 2 - Стояк обратного трубопроводу до газового котла

Ст. 3 - Стояк подавального трубопроводу від PVT колекторів

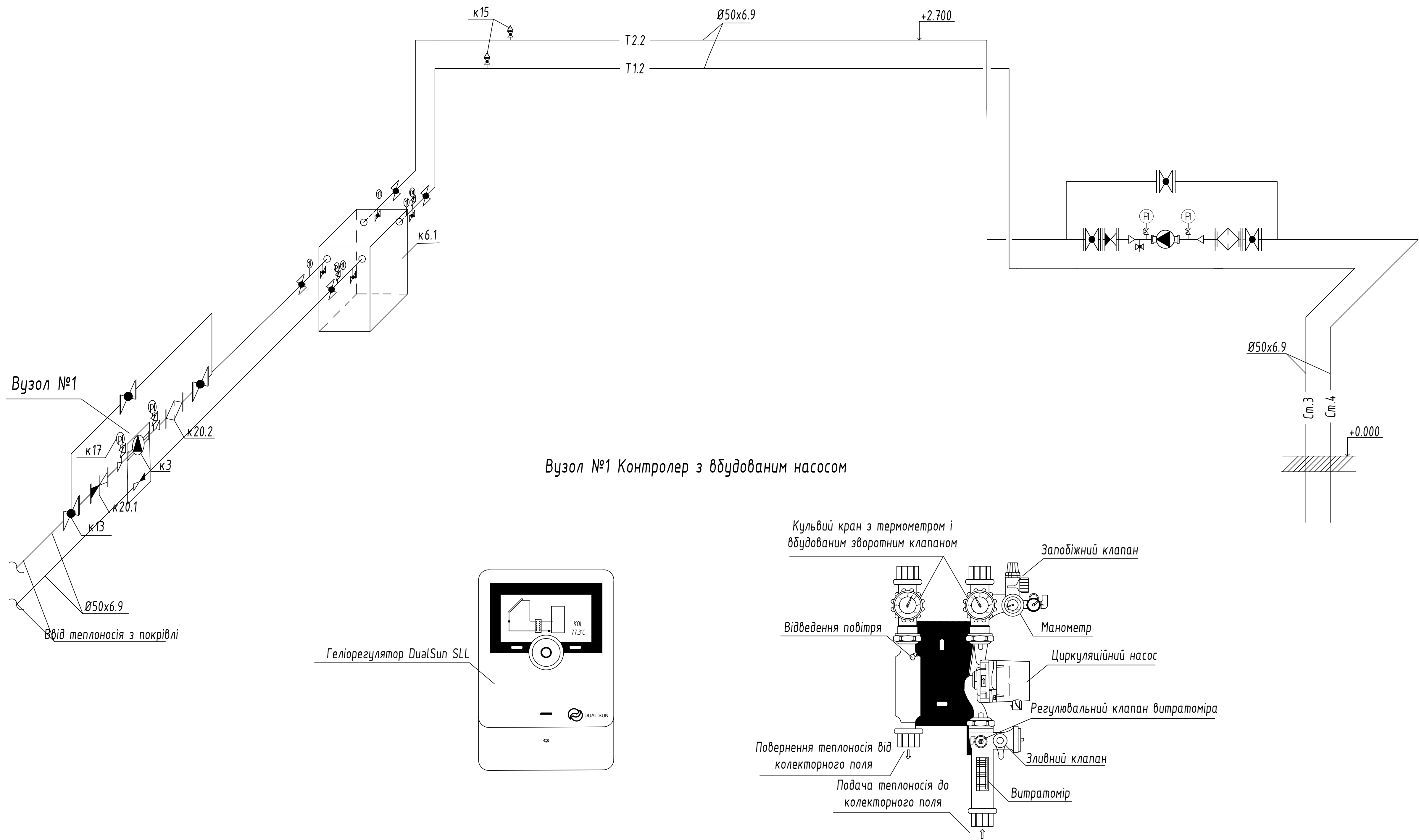
Ст. 4 - Стояк зворотного трубопроводу до PVT колекторів

Специфікацію обладнання див. на аркуші № 9

|             |               |      |       |        |                                                                              |                                                                                                                                                          |       |       |
|-------------|---------------|------|-------|--------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
|             |               |      |       |        |                                                                              | НУВГП ННБА ТГВ 03-02-14124282 МР                                                                                                                         |       |       |
|             |               |      |       |        |                                                                              | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання<br>житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування збірних<br>сонячних колекторів |       |       |
| Зм.         | Кільк.        | Арк. | № док | Підпис | Дата                                                                         |                                                                                                                                                          |       |       |
| Керівник    | Проценко С.Б. |      |       | 12.23  | План підключення контуру РVT колекторів<br>до системи ГВП будинку в котельні | Стадія                                                                                                                                                   | Архив | Архив |
| Консультант | Проценко С.Б. |      |       | 12.23  |                                                                              | Н                                                                                                                                                        | 5     |       |
| Рецензент   | Кравченко Н.В |      |       | 12.23  |                                                                              |                                                                                                                                                          |       |       |
| Студент     | Майл В.П.     |      |       | 12.23  | Прицільова схема комбінованого нагріву<br>гарячої води в будинку. М1 : 20    | НУВГП ННБА ТГВ<br>м. Рівне                                                                                                                               |       |       |
| Н.контр     | Проценко С.Б. |      |       | 12.23  |                                                                              |                                                                                                                                                          |       |       |
|             |               |      |       | 12.23  |                                                                              |                                                                                                                                                          |       |       |



Схема підключення контуру PVT колекторів до системи ГВП будинку в котельні з вузлом контролера з вбудованим насосом



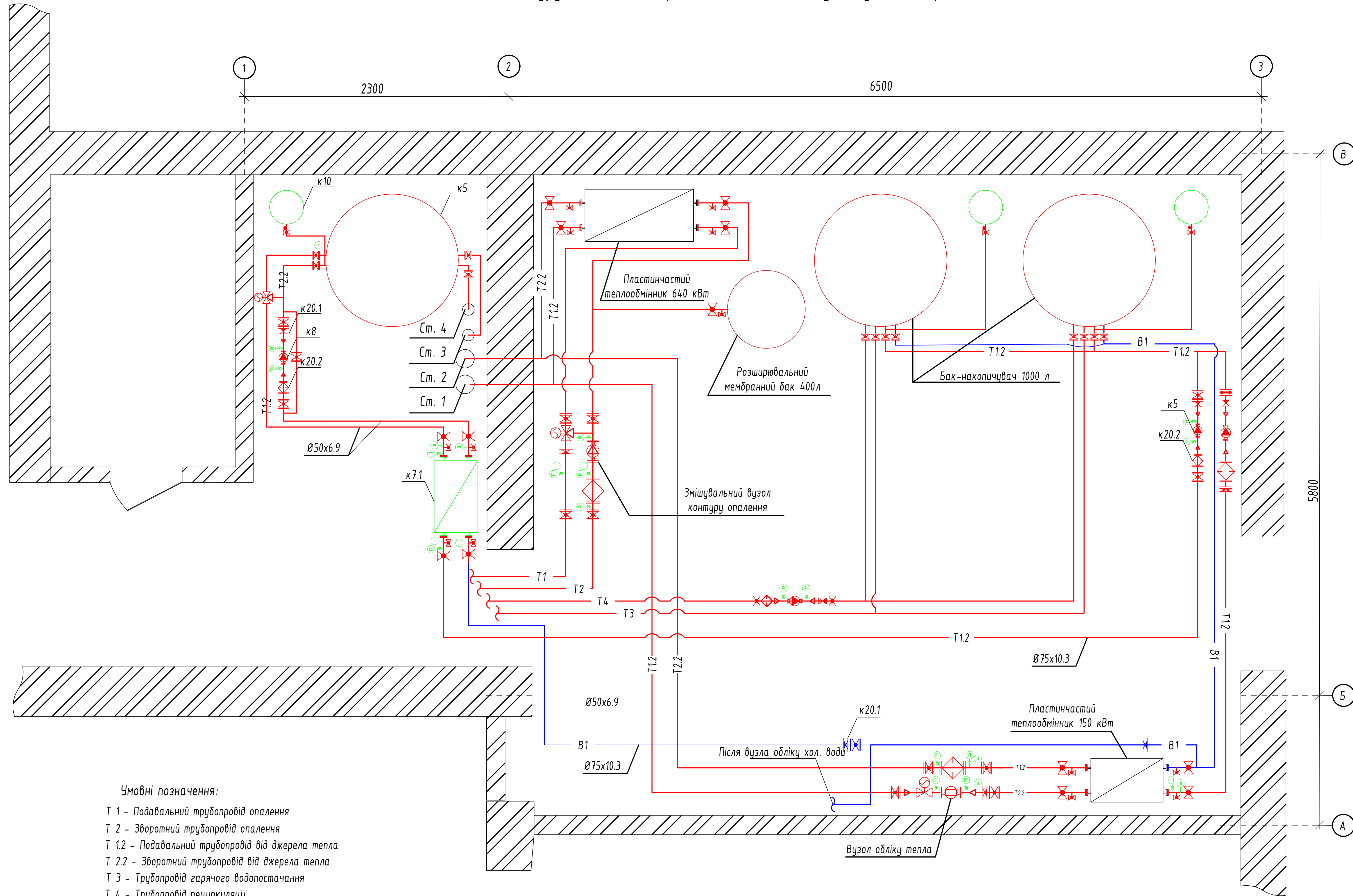
- Умовні позначення:
- Т 1.2 - Подавальний трубопровід до джерела тепла
  - Т 2.2 - Зворотний трубопровід від джерела тепла
  - Ст. 3 - Стояк подавального трубопроводу від PVT колекторів
  - Ст. 4 - Стояк зворотного трубопроводу від PVT колекторів

Специфікацію обладнання див. на аркуші № 9

|             |        |                |       |        |       |                                                                                                                                                      |                           |       |         |  |
|-------------|--------|----------------|-------|--------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------|---------|--|
|             |        |                |       |        |       | НУВГП ННБА ТГВ 03-02-14142482 МР                                                                                                                     |                           |       |         |  |
|             |        |                |       |        |       | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів |                           |       |         |  |
| Зм.         | Кільк. | Арк.           | № док | Підпис | Дата  |                                                                                                                                                      |                           |       |         |  |
| Керівник    |        | Проценко С.Б.  |       |        | 12.23 | Схема підключення контуру РVТ колекторів до системи ГВП будинку в котельні з вузлом контролера з вбудованим насосом                                  | Стадія                    | Аркуш | Аркушів |  |
| Консультант |        | Проценко С.Б.  |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      | Н                         | 6     |         |  |
| Рецензент   |        | Кравченко Н.В. |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |                           |       |         |  |
| Студент     |        | Малий В.П.     |       |        | 12.23 | Принципова схема комбінованого нагріву гарячої води в будинку. М1 : 20                                                                               |                           |       |         |  |
| Н.контр     |        | Проценко С.Б.  |       |        | 12.23 | Детальний вузол №1                                                                                                                                   |                           |       |         |  |
|             |        |                |       |        |       |                                                                                                                                                      | НУВГП ІПО ТГВ<br>м. Рівне |       |         |  |



План підключення контуру РVT колекторів до системи ГВП будинку в бойлерній



Умовні позначення:

- Т 1 - Подавальний трубовід опалення  
Т 2 - Зворотний трубовід опалення  
Т 1.2 - Подавальний трубовід від джерела тепла  
Т 2.2 - Зворотний трубовід від джерела тепла  
Т 3 - Трубовід гарячого водопостачання  
Т 4 - Трубовід рециркуляції  
В 1 - Трубовід холодного водопостачання  
Ст. 1 - Стояк подавального трубоводу від газового котла  
Ст. 2 - Стояк зворотного трубоводу від газового котла  
Ст. 3 - Стояк подавального трубоводу від РVT колекторів  
Ст. 4 - Стояк зворотного трубоводу від РVT колекторів

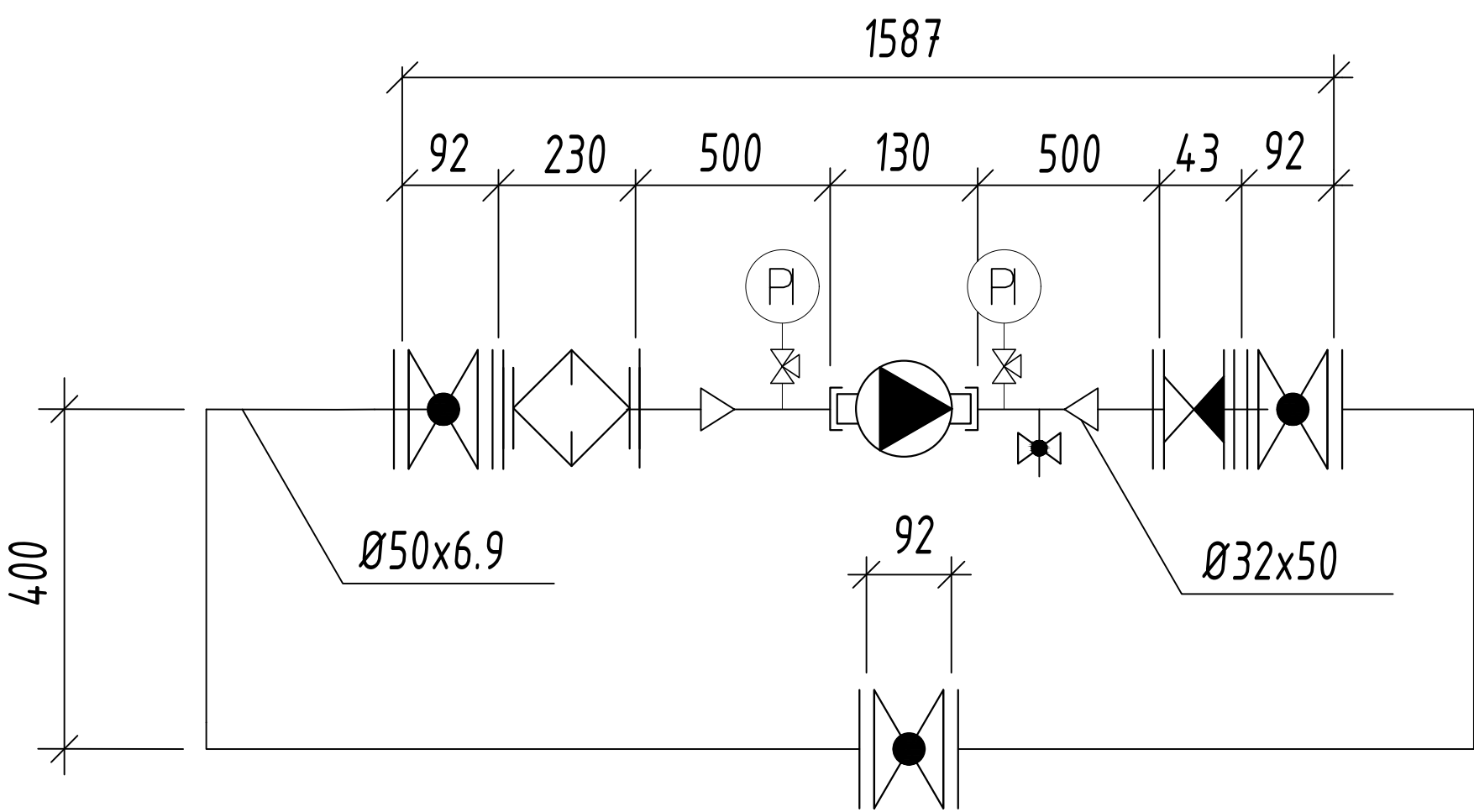
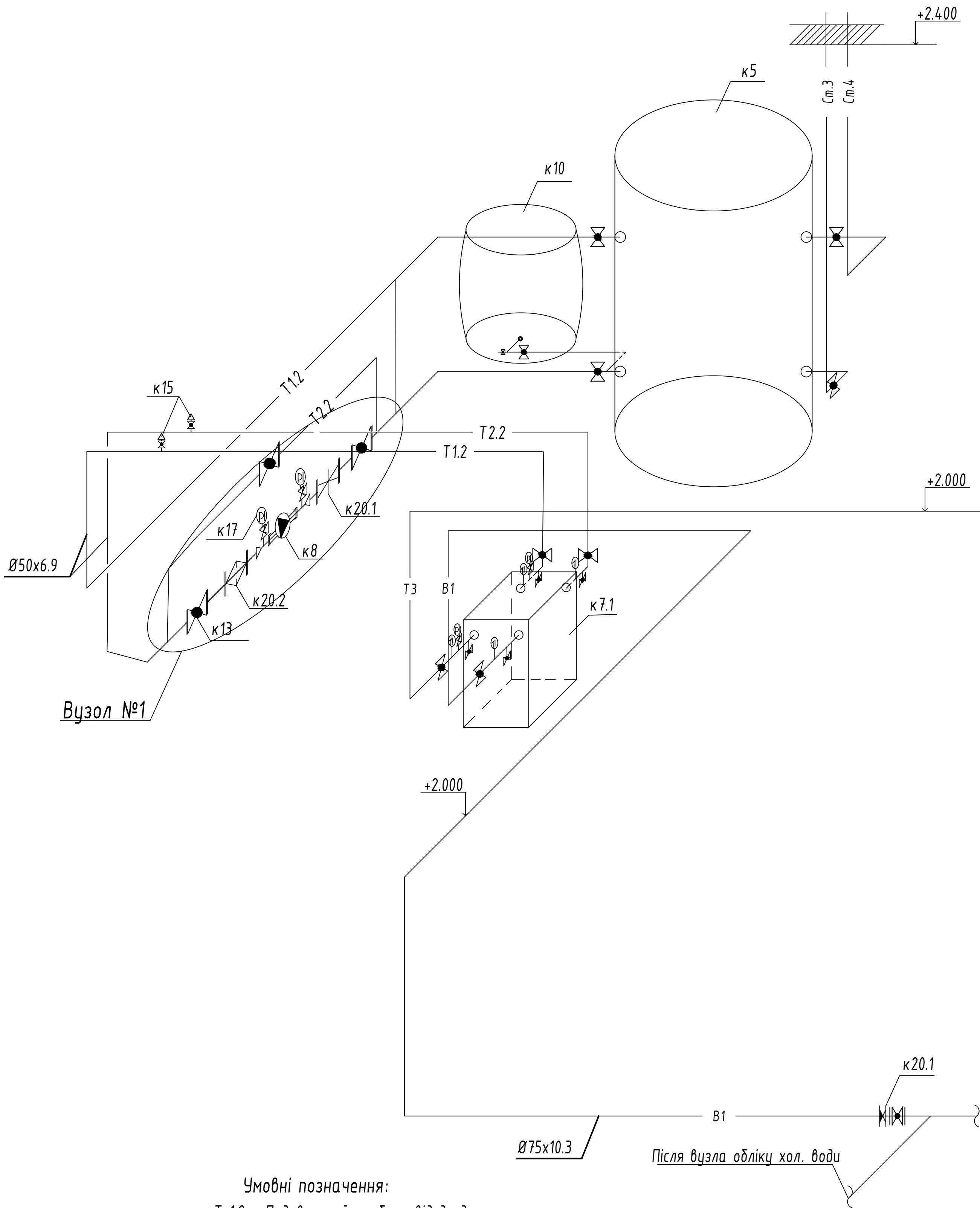
Специфікацію обладнання див. на аркуші № 9

|                                                                                                                                                      |                |      |        |                          |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------|--------|--------------------------|-------|
| НУВГП ННІБА ТГВ 03-02-14142482 МР                                                                                                                    |                |      |        |                          |       |
| Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів |                |      |        |                          |       |
| Зм.                                                                                                                                                  | Кільк.         | Арк. | № док. | Підпис                   | Дата  |
| Керівник                                                                                                                                             | Праченко С.Б.  |      |        |                          | 12.23 |
| Консультант                                                                                                                                          | Праченко С.Б.  |      |        |                          | 12.23 |
| Рецензент                                                                                                                                            | Кравченко Н.В. |      |        |                          | 12.23 |
| Студент                                                                                                                                              | Малий В.П.     |      |        |                          | 12.23 |
| Н.контр                                                                                                                                              | Праченко С.Б.  |      |        |                          | 12.23 |
| Схема підключення контуру РVT колекторів до системи ГВП будинку в бойлерній                                                                          |                |      |        | Стадія                   | Архив |
| Принципова схема комбінованого нагріву гарячої води в будинку. М1: 20                                                                                |                |      |        | Н                        | 7     |
|                                                                                                                                                      |                |      |        | НУВГП ННІБА ТГВ м. Рівне |       |

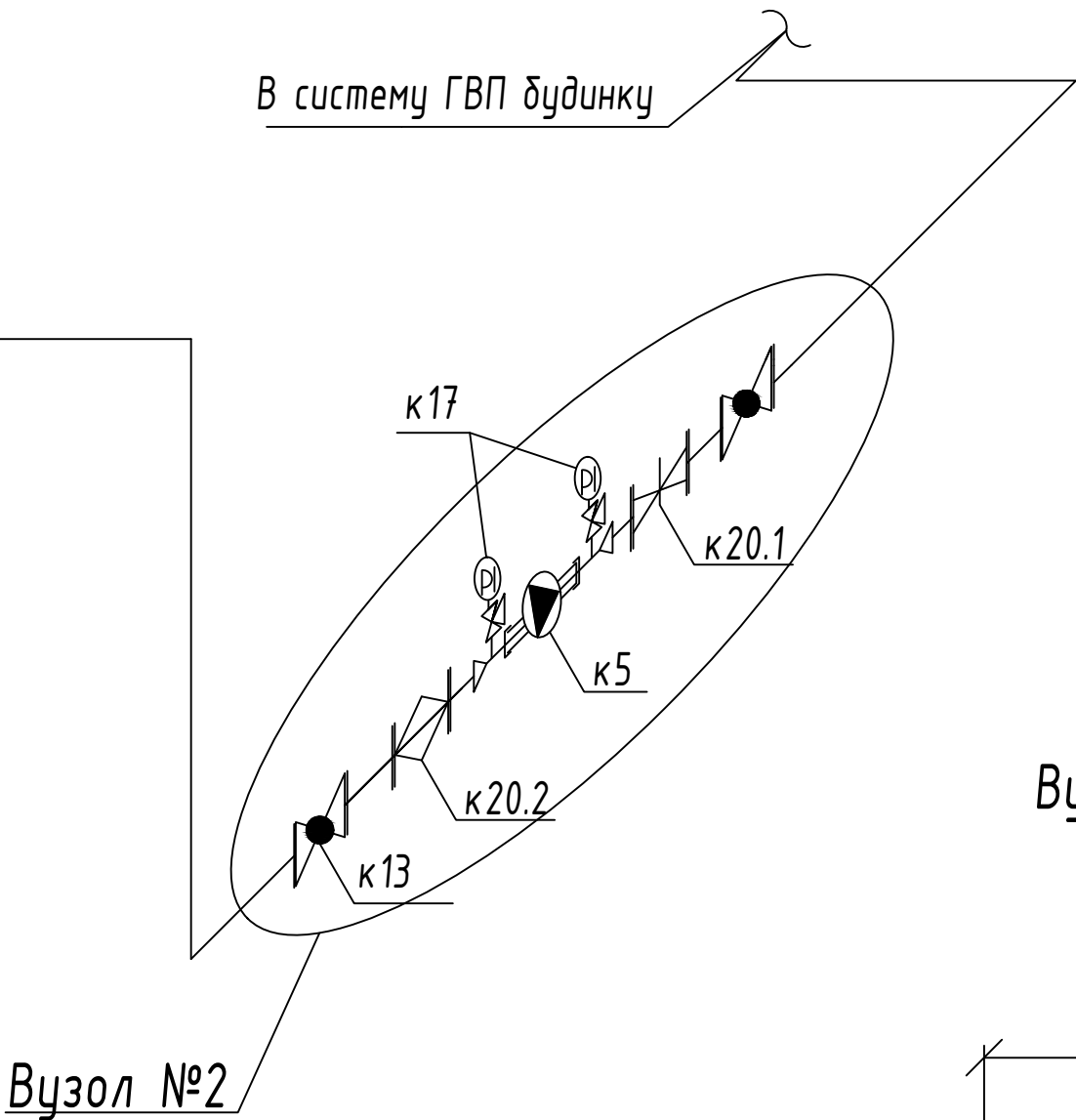


Схема підключення контуру PVT колекторів до системи ГВП будинку в бойлерній з вузлами насосних груп

Вузол №1 Циркуляційний вузол відокремленого контуру буферної ємності



Вузол №2 Подавальний вузол нагрітої води в буферні ємності контуру ГВП будинку



Умовні позначення:

- T 1.2 - Подавальний трубопровід до джерела тепла
- T 2.2 - Зворотний трубопровід від джерела тепла
- Ст. 3 - Стояк подавального трубопроводу від PVT колекторів
- Ст. 4 - Стояк зворотного трубопроводу від PVT колекторів
- В 1 - Трубопровід холодного водопостачання

Специфікацію обладнання див. на аркуші № 9

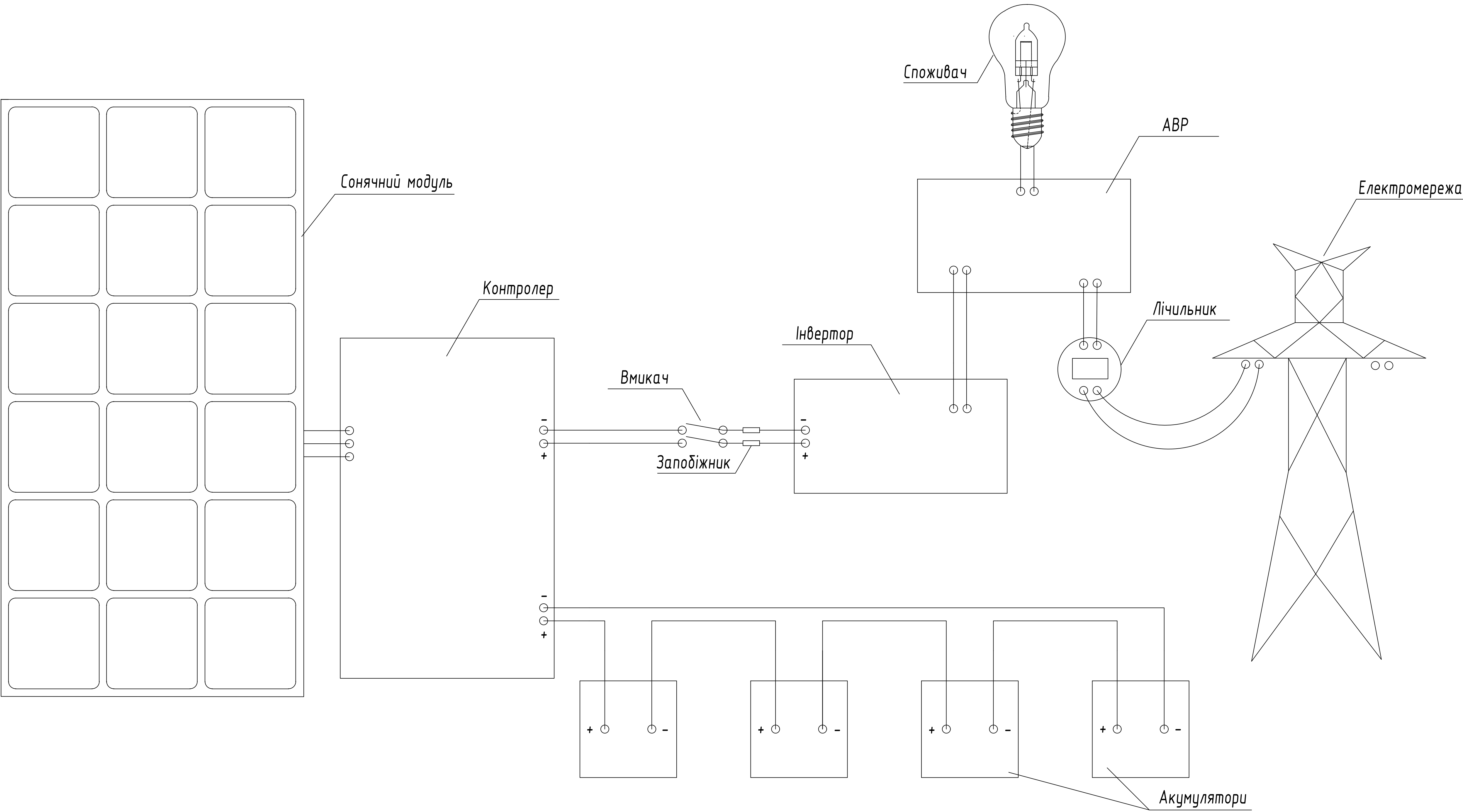
|             |        |                |        |        |       |                                                                                                     |                                                                                                                                                      |       |         |
|-------------|--------|----------------|--------|--------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|
|             |        |                |        |        |       |                                                                                                     | НУВГП ННІБА ТГВ 03-02-14142482 МР                                                                                                                    |       |         |
|             |        |                |        |        |       |                                                                                                     | Підвищення ефективності системи автономного тепlopостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів |       |         |
| Зм.         | Кільк. | Арк.           | № док. | Підпис | Дата  | Схема підключення контуру PVT колекторів до системи ГВП будинку в бойлерній з вузлами насосних груп | Стадія                                                                                                                                               | Аркуш | Аркушів |
| Керівник    |        | Проценко С.Б.  |        |        | 12.23 |                                                                                                     | Н                                                                                                                                                    | 8     |         |
| Консультант |        | Проценко С.Б.  |        |        | 12.23 |                                                                                                     |                                                                                                                                                      |       |         |
| Рецензент   |        | Кравченко Н.В. |        |        | 12.23 |                                                                                                     |                                                                                                                                                      |       |         |
| Студент     |        | Малий В.П.     |        |        | 12.23 | Принципова схема комбінованого нагріву гарячої води в будинку. М1 : 20                              | НУВГП ННІБА ТГВ м. Рівне                                                                                                                             |       |         |
| Н.контр.    |        | Проценко С.Б.  |        |        | 12.23 | Детальні вузли №1 та №2                                                                             |                                                                                                                                                      |       |         |







Принципова схема паралельної комутації електромережі з сонячними PVT колекторами



|             |        |                |       |        |       |                                                                                                                                                      |  |  |                          |       |         |
|-------------|--------|----------------|-------|--------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--------------------------|-------|---------|
|             |        |                |       |        |       | НУВГП ННІБА ТГВ 03-02-14142482 МР                                                                                                                    |  |  |                          |       |         |
|             |        |                |       |        |       | Підвищення ефективності системи автономного теплопостачання житлового будинку від дахової котельні шляхом застосування гібридних сонячних колекторів |  |  |                          |       |         |
| Зм.         | Кільк. | Арк.           | № док | Підпис | Дата  | Принципова схема паралельної комутації електромережі з сонячними РУТ колекторами                                                                     |  |  | Стадія                   | Аркуш | Аркушів |
| Керівник    |        | Проценко С.Б.  |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |  |  | Н                        | 10    |         |
| Консультант |        | Проценко С.Б.  |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |  |  |                          |       |         |
| Рецензент   |        | Кравченко Н.В. |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |  |  |                          |       |         |
| Студент     |        | Малий В.П.     |       |        | 12.23 | Гібридні сонячні колектори, обладнання, електромережа                                                                                                |  |  | НУВГП ННІБА ТГВ м. Рівне |       |         |
| Н.контр     |        | Проценко С.Б.  |       |        | 12.23 |                                                                                                                                                      |  |  |                          |       |         |



[illegible]