

Міністерство освіти і науки України  
 Національний технічний університет  
 «Дніпровська політехніка»  
 Електроенергетики  
 (інститут)  
 Електротехнічний  
 (факультет)  
 Кафедра Електроенергетики  
 (повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
 кваліфікаційної роботи ступеню магістра  
 (бакалавра, магістра)

студента Киви Сергія Миколайовича  
 (ПІБ)

академічної групи 141М-19-3  
 (шифр)

спеціальності 141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
 (код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
 (офіційна назва)

на тему Дослідження раціональної компоновки системи енергозабезпечення навчального корпусу №7 НТУ «Дніпровська політехніка»  
 (назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		Рейтин- говою	Інститу- ційною	
Кваліфікаційної роботи	Лисенко О.Г			
Розділів:				
Технологічний	Лисенко О.Г			
Спеціальний	Лисенко О.Г			
Економічний	Тимошенко Л.В			

<b>Рецензент</b>				
------------------	--	--	--	--

<b>Нормоконтролер</b>				
-----------------------	--	--	--	--

Дніпро  
 2020

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

Завідувач кафедри

електроенергетики

(повна назва)

Папайка Ю.А

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_

2020 року

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу

ступеню \_\_\_\_\_ магістра

(бакалавра, магістра)

студенту Киві С.М академічної групи 141М-19-3

(прізвище, ініціали)

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Дослідження раціональної компоновки системи енергозабезпеченнянавчального корпусу №7 НТУ «Дніпровська політехніка»затверджену наказом ректору НТУ «Дніпровська політехніка» від 20.11.20 № 965-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Технологічний	Огляд актуальності . Розрахунок теплових втрат корпусу	5.10.20-26.10.20
Спеціальний	Розрахунок компонентів енергоустановки	26.10.20-23.11.20
Економічний	Технологічно-економічні розрахунки доцільності використання установки	23.11.20-7.12.20

Завдання видано

(підпис керівника)

Лисенко О.Г

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

Дата подання до екзаменаційної комісії

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Кива С.М

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить: 88 сторінок, 8 рисунки, 15 таблиць та 4 креслення.

ГЕЛІОКОЛЕКТОР, ГРУНТОВИЙ АКУМУЛЯТОР, ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ОПАЛЮВАЛЬНА УСТАНОВКА, СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, ТЕПЛОВИЙ НАСОС.

Об'єкт розроблення — Дослідження раціональної компоновки системи енергозабезпечення навчального корпусу №7 НТУ «Дніпровська політехніка».

Мета роботи — Розрахувати теплопостачальну установку, яка буде повністю задовольняти потреби з електроенергії на освітлення, опаленням та гарячою водою у корпусі.

Результати — У ході розрахунку була досліджена установка на базі сонячної панелі, геліоколектора, ґрунтового акумулятора та теплового насосу.

Сфера застосування розробки — енергозабезпечення будівель.

Практична значимість кваліфікаційної роботи — підвищення надійності та економічності експлуатації енергоустановки.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	6
ВСТУП .....	9
1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	11
1.1 Актуальність використання відновлювальної енергії.....	12
1.2 Недоліки використання відновлювальної енергії.....	13
1.3 Відновлювальна енергетика в Україні.....	14
1.4 Теоретичні відомості енергоустановки .....	17
1.4.1 Сезонний акумулятор тепла.....	18
1.4.2 Геліоколектор .....	19
1.4.3 Тепловий насос.....	21
1.4.4 Сонячні панелі.....	25
1.5 Розрахунок теплових втрат корпусу .....	27
1.5.1 Теплові витрати через стіни.....	27
1.5.2 Теплові витрати через вікна та двері .....	28
1.5.3 Теплові витрати через стелю .....	30
1.5.4 Теплові витрати через підлогу.....	30
1.5.5 Витрати на гарячу воду в корпусі .....	30
1.5.6 Загальна потужність .....	31
2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ .....	32
2.1 Принципова схема енергоустановки та її опис.....	32
2.1.1 Принципова схема енергоустановки .....	32
2.1.2 Опис роботи енергоустановки за принциповою схемою .....	33
2.2 Розрахунок сезонного ґрунтового акумулятора .....	35
2.2.1 Розрахунок кількості теплоти для опалювального сезону. ....	35
2.2.2 Розрахунок параметрів сезонного акумулятора тепла.....	36
2.3 Розрахунок геліосистеми.....	40
2.3.1 Аналітичний розрахунок геліоколектора.....	40
2.3.2 Кліматичні характеристики регіону. Оптимальні кути встановлення геліоколектора.....	42
2.3.3 Визначення площі геліоколекторів.....	47

2.3.4	Визначення параметрів геліосистеми .....	48
2.4	Розрахунок насосу.....	51
2.4.2	Розрахунок теплообмінного апарату .....	51
2.4.3	Розрахунок компресору.....	55
2.4.4	Розрахунок випарника .....	57
2.5	Розрахунок сонячних панелей .....	59
2.5.1	Розрахунок продуктивності СЕУ .....	60
2.5.2	Орієнтація за сторонами світу .....	60
2.5.3	Вибір сонячної панелі та інвертора .....	61
2.5.4	Номінальні параметри ФЕС.....	63
2.5.5	Розрахунок кількості панелей на лінії інвертора.....	64
2.5.6	Розрахунок необхідної ємності акумуляторних батарей.....	65
2.5.7	Вироблення електроенергії СЕУ .....	65
3	ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	67
	Вступ.....	67
3.1.	Розрахунок капітальних витрат .....	68
3.2.	Розрахунок експлуатаційних витрат .....	69
3.2.1.	Розрахунок амортизаційних відрахувань .....	69
3.2.2.	Розрахунок річного фонду заробітної плати.....	71
3.2.3.	Розрахунок відрахувань на соціальні заходи.....	72
3.2.4.	Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт. ....	72
3.2.5.	Розрахунок вартості спожитої електроенергії .....	73
3.2.6.	Визначення інших витрат .....	73
3.3	Визначення річної економії від впровадження науково-технічного рішення.....	73
3.4	Визначення та аналіз показників економічної ефективності .....	74
3.5	Висновок .....	77
	ВИСНОВОК.....	78
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	79
	ДОДАТОК А.....	88

## АНОТАЦІЯ

У даній дипломній роботі проводиться розрахунок сонячної теплопостачальної установки на базі геліоколектора, сезонного акумулятора тепла, та теплового насосу для 7го корпусу Національного університету «Дніпровська політехніка».

Завданням дипломної роботи є розрахунок енергетичної установки для опалення в холодний період часу та гарячого водопостачання корпусу площею 10360 м<sup>2</sup>, у місті Дніпро. В опалювальний сезон установка повинна повністю задовольняти умови мікроклімату в корпусі з урахуванням метеоумов. Дана установка повинна постачати теплову енергію при відсутності сонячної інсоляції вночі, при використанні сезонного акумулятора тепла та теплового насосу. Також завдяки сонячним панелям, установка буде перекривати електричні витрати на освітлення в корпусі.

При проектуванні враховується аналіз кліматичної карти України та регіональні параметри клімату, а саме середньорічні показники вологості повітря, його температуру, швидкість вітру, та інтенсивність сонячної інсоляції. Саме клімат регіону буде впливати на потужність та вибір типів, колекторів та інших агрегатів установки.

У дипломній роботі проводиться розрахунок енергоустановки: розрахунок сонячних панелей, розрахунок геліосистеми, розрахунок ґрунтового сезонного акумулятора тепла, розрахунок теплового насосу. Також для визначення потужності усієї установки проводиться розрахунок тепловтрат корпусу для якого проектується установка.

При розрахунку сонячної теплопостачальної установки були визначені потужності агрегатів, оптимальні кути встановлення геліоколекторів, сонячних панелей, їх кількість та площа, для покриття витрат на електроенергію, тепловитрат корпусу та його опалення та постачання гарячою водою.

## АНОТАЦИЯ

В данной дипломной работе проводится расчет солнечной теплоснабжающей установки на базе гелеоколлектора, сезонного аккумулятора тепла, и теплового насоса для 7го корпуса Национального университета "Днепровская политехника".

Заданием дипломной работы является расчет энергетической установки для отопления в холодный период времени и горячего водоснабжения корпуса площадью 10360 м<sup>2</sup>, в городе Днепр. В отопительный сезон установка должна полностью удовлетворять условия микроклимата в корпусе с учетом метеоусловий. Данная установка должна поставлять тепловую энергию при отсутствии солнечной инсоляции ночью, при использовании сезонного аккумулятора тепла и теплового насоса. Также благодаря солнечным панелям, установка будет перекрывать электрические расходы на освещение в корпусе.

При проектировании учитывается анализ климатической карты Украины и региональные параметры климата, а именно среднегодовые показатели влажности воздуха, его температуру, скорость ветра, и интенсивность солнечной инсоляции. Именно климат региона будет влиять на мощность и выбор типов, коллекторов и других агрегате установки.

В дипломной работе проводится расчет теплоснабжающей установки, а именно таких ее агрегатов: расчет солнечных панелей, расчет гелеосистемы, расчет грунтового сезонного аккумулятора тепла, расчет теплового насоса. Также для определения мощности всей установки проводится расчет теплопотерь корпуса для которого проектируется установка.

При расчете солнечной теплоснабжающей установки были определены мощности агрегатов, оптимальные углы установления гелеоколлекторів, их количество и площадь, для покрытия потребления электроэнергии на освещение, тепловых расходов корпуса, его отопления и снабжение горячей водой.

## ANOTATION

In this thesis, the calculation of a solar heat supply installation based on a gel collector, a seasonal heat accumulator, and a heat pump for the 7th building of the National University "Dnipro Polytechnic" is carried out.

The task of the thesis is the calculation of a power plant for heating in a cold period and hot water supply for a building with an area of 10,360 m<sup>2</sup>, in the city of Dnipro. During the heating season, the unit must fully satisfy the microclimate conditions in the building, taking into account the weather conditions. This installation must supply heat energy in the absence of solar insolation at night, using a seasonal heat accumulator and a heat pump. Also thanks to solar panels, the installation will cover the electrical costs of lighting in the case.

The design takes into account the analysis of the climatic map of Ukraine and the regional parameters of the climate, namely the average annual air humidity, its temperature, wind speed, and the intensity of solar insolation. It is the climate of the region that will influence the power and choice of types, collectors and other unit of the installation.

In the thesis, the calculation of a heat supply installation is carried out, namely, of its such units: calculation of a solar system, calculation of a seasonal soil accumulator, calculation of a heat pump. Also, to determine the power of the entire installation, the heat loss of the housing for which the installation is designed is calculated.

When calculating a solar heat supply installation, there were certain capacities of the units, the optimal angles of the installation of gel collectors, their number and area, to cover the heat costs of the building, its heating and hot water supply.

## ВСТУП

Постійне зростання вартості нафтопродуктів, газу та відповідної сировини змушує уряд і багатьох жителів України все частіше звертати свою увагу на способи отримання так званої поновлюваної (альтернативної) енергії, яка, безсумнівно, є важливим кроком для набуття енергонезалежності України та заповнення нестачі традиційних видів палива. Україна має величезні перспективи для впровадження цього дуже важливого й життєво необхідного ресурсу на споживчий ринок як для приватних осіб, так і великих компаній, адже основними перевагами генерації енергії за рахунок відновлювальних джерел є абсолютна екологічність, простота в експлуатації, тривалий час роботи систем, мінімальне сервісне та технічне обслуговування.

Для України виробництво власних енергоресурсів має важливе значення, бо забезпеченість даними ресурсами не перевищує 39%. Для вирішення проблеми шкідливого впливу на навколишнє середовище та енергозабезпечення нашої країни, потрібно якнайбільше використовувати відновлювальні джерела енергії.

Згідно із Законом України від 16.10.2020 № 555-IV «Про альтернативні джерела енергії»: «Альтернативні джерела енергії - відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, гідротермальна, аеротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний гази, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів». [1]

В Україні основними джерелами енергії є вітрова енергія, енергія біомаси, гідроенергія та енергія сонця. Остінні роки, альтернативна енергетика стрімко розвивається в Україні, все це завдяки підтримки влади на законодавчому рівні. Закон України «Про внесення змін до деяких законів

України щодо встановлення "зеленого" тарифу», який прийнятий від 25.09.2008. "Зелений" тариф - спеціальний тариф, за яким закуповується електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідроенергії - вироблена лише малими гідроелектростанціями). Також закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії», який прийнятий від 21.07.2020. "Кабінет Міністрів України передбачає у державному бюджеті видатки на фінансову підтримку гарантованого покупця для оплати електричної енергії, виробленої з альтернативних джерел, відповідно до бюджетних запитів центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізацію державної політики в електроенергетичному комплексі, на підставі розрахунків, наданих Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, у розмірі не менше 20 відсотків прогнозованої виробітки товарної продукції електричної енергії з альтернативних джерел на відповідний рік". [1]

Для зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище потрібно збільшувати ефективність систем опалення та постачання гарячої води, як при їхньому створенні, так і в процесі експлуатації.

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

Поновлювані джерела енергії - це тема, яка останніми роками запам'ятовується не лише завдяки тому, що вона займає перше місце в багатьох політичних та соціальних розмовах у всьому світі, а тому, що це питання, через яке багато людей відчують пристрась.

Поновлювана енергія - це енергія, яка збирається з природних джерел, які неможливо виснажити, таких як сонячне світло, вітер та гідроенергетика. Оскільки ці природні джерела скоро нікуди не подінуться, використання їх для виробництва енергії є не тільки надійним, але й екологічним. До того ж, ці види альтернативної енергії зазвичай не виробляють жодних негативних побічних продуктів, таких як ті, що утворюються при спалюванні корисних копалин для отримання енергії, що завдає серйозної шкоди навколишньому середовищу.

Відновлювана енергія важлива для нашого майбутнього, а це важливо, тому що без цього у нас не вистачить способів керувати своїм світом. Хоча це може звучати дещо драматично, але насправді це правда. Якщо людство не почне замінювати нежиттєздатні методи, які ми зараз використовуємо для виробництва електроенергії, світ може зупинитись. У відкритому доступі є багато різних розрахунків, що в наступні 100 років можуть закінчитись корисні копалини, і спалення інших матеріалів для отримання енергії, таких як власне сміття та дерева.

Основну роль у цьому напрямку отримання енергії відіграють вітрова та сонячна. Вітрова енергія використовується у багатьох країнах, лідери з яких є: Китай (114 ГВт), США (65 ГВт), Німеччина (39 ГВт), Іспанія (22 ГВт) та Великобританія (12 ГВт). Найкраще те, що вітер завжди кудись дме, тому потужність вітру ніколи не закінчиться. І за допомогою вітряних електростанцій це стало одним із найпростіших способів використовувати та доставляти чисту енергію людям у всьому світі. Енергія вітру також зменшує

викиди вуглецю та економить воду. Через вітрові електростанції лише в 2019 році вдалося уникнути 103 мільярдів галонів води та 198 метричних мільйонів тонн CO<sub>2</sub>. І це велика справа.

Сонячна енергія також не відстає, ТОП-5 країн які її використовують: Німеччина (35 ГВт), Китай (20 ГВт), Італія (17 ГВт), Японія (13 ГВт) та США (12 ГВт). Як і енергія вітру, сонячна енергія важлива, оскільки вона не шкодить планеті, перетворюючись на енергію. І поки сонце буде світити, нам ніколи не доведеться турбуватися про те, що закінчиться сонячна енергія. І хоча вони можуть бути трохи дорожчими спереду, перевага панелей/геліоколекторів сонячної енергії полягає в тому, що їх можна встановлювати практично на будь-якій поверхні, яка повернена до сонця, що робить їх ідеальними для забезпечення енергією житлових та комерційних будівель або для безпосереднього надходження енергії до електромережі.

### **1.1 Актуальність використання відновлювальної енергії**

На думку експертів, до 2040 року ми повинні впоратись із наслідками зміни клімату, перш ніж буде заподіяна непоправна шкода. Ось чому:

Корисні копалини закінчаться - експерти вважають, що у нас є від 50 до 110 років до того, як невідновлюваних джерел буде недостатньо, і тому вони не зможуть жити наш світ.

Стійкі джерела енергії набагато доступніші - вони окупаються з часом (як у фінансовому, так і в екологічному плані), А це означає дешевшу електроенергію для споживача.

Інфраструктура відновлюваної енергетики створює робочі місця – у багатьох країнах лідерах, завдяки введення використання поновлювальної енергії, кількість робочих місць збільшується на декілька тисяч.

Крім того, чиста енергія зменшує ризик респіраторних захворювань, що дуже актуально у цей тяжкий час. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, забруднення навколишнього повітря спричинило 5 мільйонів

смертей у 2019 році у всьому світі. А близько 15% жертв COVID-19 по всьому світу, пов'язані саме із забрудненням повітря. Лівова частка цих смертей ставалась в країнах з низьким та середнім рівнем доходу. Ці та інші проблеми охорони здоров'я можна було б різко зменшити, якби ми більше покладались на джерела енергії, які не передбачали б спалювання корисних копалин.

Наш світ пошкоджується спалюванням викопного палива з тривожною швидкістю, і розвиток інфраструктури відновлюваних джерел енергії вимагає часу. А що ще гірше, викопне паливо вже закінчується. Годинник тікає на наші ресурси та нашу планету. Перш ніж ми це усвідомлюємо, викопне паливо закінчиться, і кожен день ми завдаємо непоправної шкоди нашій планеті. Зараз час чистої енергії!

## **1.2 Недоліки використання відновлювальної енергії**

На жаль, як і у всьому крім світлої сторони, це є темна. І альтернативна енергетика не виключення, тут також є свої недоліки, основні з яких:

### **- Обмеження зберігання**

Найбільша перевага природного газу перед відновлюваною енергією полягає в тому, що його можна легко зберігати та транспортувати.

В даний час існують деякі альтернативні технології зберігання енергії, але вони все ще перебувають у зародковому стані, а це означає, що вони або недостатньо ефективні, або дорогі. А ще гірше для крупно асштабних заводів.

Хоча мінусів, пов'язаних із зберіганням альтернативної енергетики, з кожним днем стає менше, зберігання природного газу залишатиметься більш ефективним протягом тривалого часу.

### **- Доступність**

Те, що є перевагою альтернативної енергетичної технології з однієї точки зору, може стати недоліком з іншої.

Чиста енергія є відновлюваною, але вона недоступна цілодобово. Вітер може дути в один день, а в інший - ні. Можливо, сьогодні сонячний день, а завтра хмурий.

- Висока вартість

Зелені енергетичні системи мають набагато більші початкові витрати, ніж традиційні системи, які використовують користи копалини. Ці витрати можуть стримати багатьох, оскільки інколи окупність відновлювальних установок проходить не роками, а лише десятиліттями.

Але гарною новиною для більшості країн є те, що держава зазвичай підтримує зелену енергетику та надає фінансові стимули, такі як податкові пільги чи фінансова підтримка.

### **1.3 Відновлювальна енергетика в Україні**

Відновлювана енергетика України - це енергетична галузь, що спеціалізується на отриманні та використанні енергії з відновлюваних джерел енергії. До поновлюваних джерел енергії належать періодичні або сталі потоки енергії, що розповсюджуються у природі й обмежені лише стабільністю Землі як космопланетарного елемента: променева енергія Сонця, вітер, гідроенергія, природна теплова енергія. В Україні дослідженнями проблем відновлюваної енергетики займається, зокрема, Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Міжгалузовий науково-технічний центр, Біоенергетична асоціація України інші науково-дослідні установи та приватні підприємства.

За оцінками дослідників, загальний економічно-доцільний потенціал відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії в Україні становить, приблизно 454,4 млрд кВт\*год або 59,2 млн тон умовного палива на рік.

Україна зробила неймовірне, вона піднялася відразу на 55 позицій в рейтингу привабливості країн, що розвиваються, з точки зору інвестицій у відновлювану енергетику в 2019 році. У звіті 2018 року наша країна займала скромне 63 місце, а в звіті 2019 року піднявся відразу на 8 місце. За минулий

рік відновлювальна енергетика України отримала 3,7 млрд євро інвестицій. Реалізовані проекти дозволили збільшити загальну потужність поновлювальної електроенергетики в Україні майже у 3 рази, а саме – до 6,8 ГВт. Також, завдяки проекту відновлюваної електроенергетики зменшуються шкідливі викиди в атмосферу.

Найбільшу практичну реалізацію в Україні серед усіх видів альтернативної енергії, отримала сонячна енергетика.

Сонячна енергія - це корисна енергія, вироблена від сонця у вигляді електричної або теплової енергії. Вона виловлюється різними способами, найпоширенішим з яких є фотоелектричні сонячні панелі, які перетворюють сонячні промені в корисну електроенергію. Окрім використання фотоелектрики для виробництва електроенергії, сонячна енергія використовується в теплових установках для обігріву приміщень. Будь який власник нерухомості може встановлювати сонячні системи, та проектувати свої споруди з урахуванням автономного опалення.

Наскільки ефективно працюватимуть сонячні прилади, залежить від кількості сонячного випромінювання, яке вони отримають. Цей обсяг сонячної радіації прийнято називати інсоляцією.

Рівень інсоляції - це кількість сонячної енергії, яка падає на одиницю площі в даній місцевості протягом року. Слід розуміти, що представлені карти інсоляції території України - це усереднені дані за певну кількість років, зазвичай для аналізу і усереднення беруть 10 років спостережень.

Сонячне опромінення в Україні розподілено нерівномірно, при цьому не можна говорити про те, що він залежить тільки від широти - чим південніше, тим він вищий. Свій вплив чинять Карпатські гори - в західних областях рівень опромінення нижче, ніж на такій же широті на сході. Інший приклад - в Дніпрі нижче, ніж у розташованого на півночі Києва.

У цілому рівень опромінення в Україні коливається від 1150 кВт\*ч/м<sup>2</sup>. в рік (західний регіон) до 1550 кВт\*ч/м<sup>2</sup> (причорноморський регіон). На 80%

площі України рівень інсоляції становить не менше 3 одиниць, це досить високий показник у порівнянні з іншими європейськими країнами. З найбільшою ефективністю сонячні панелі працюють в таких областях: Запорізька, Дніпропетровська, Херсонська, Миколаївська, Одеська, Вінницька.

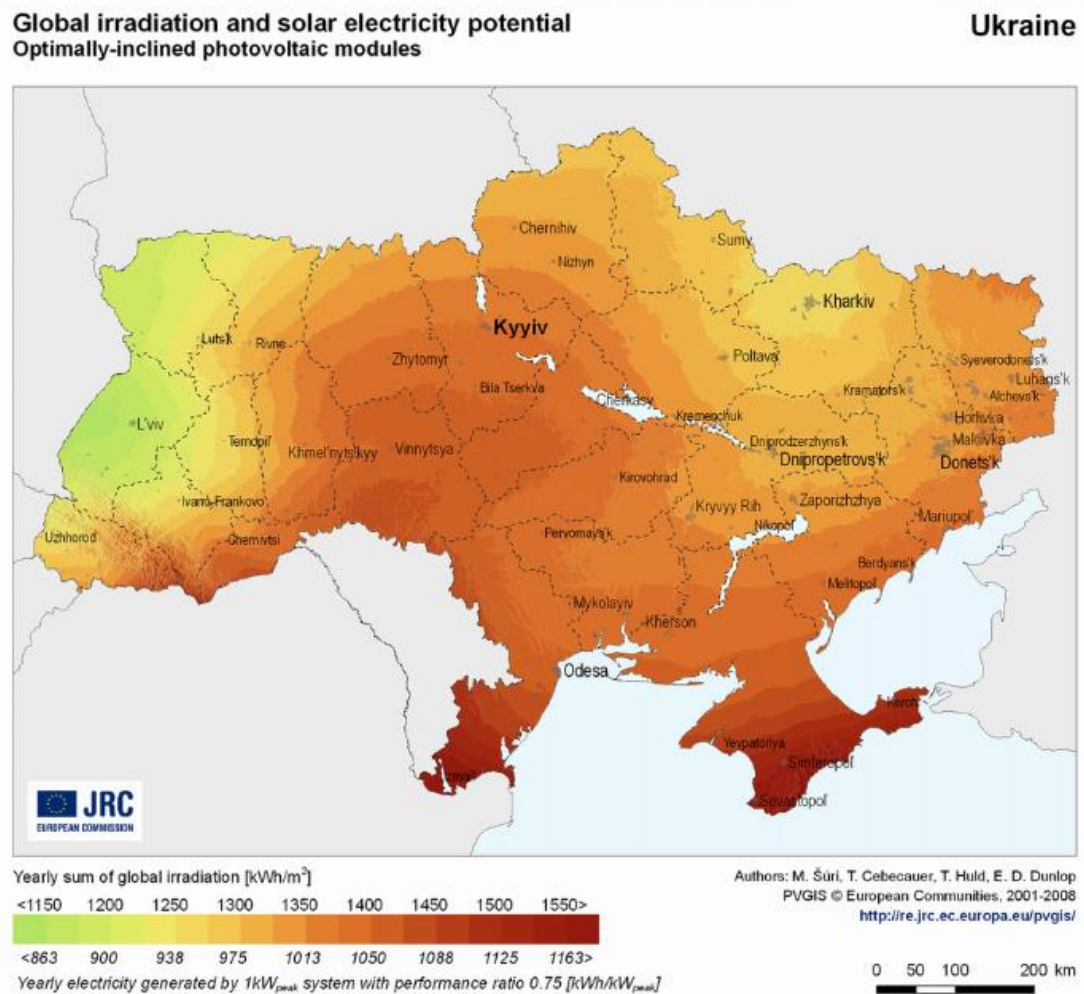


Рисунок 1.1 Глобальне опромінення та потенціал сонячної електроенергії на території України

Якщо порівнювати рівні інсоляції України та країн Північної Європи, таких як Польща, Німеччина або Данія, то українські умови значно сприятливіші, ніж в них. Але при цьому сонячні електростанції цих країн

генерують значно більше енергії, ніж в Україні - що говорить про великий потенціал сонячної енергетики в країні. [2]

Слід розуміти, що на продуктивність сонячної електростанції основний вплив робить кількість сонячної радіації, а не температура повітря. У зимовий час, при чистому небі, виробництво електрики вище, ніж в весняні похмурі дні. Додаткову надбавку генерації в зимовий час може забезпечити сніговий покрив за рахунок відбиття сонячного випромінювання. Ця надбавка особливо відчутна, якщо встановлені двосторонні сонячні батареї.

Ще однією перевагою України можна вважати той факт, що при досить високому рівні інсоляції, температурний режим досить помірний. Адже при занадто високих температурах обсяг генерації електрики знижується через нагрівання сонячної панелі. В середньому втрати потужності становлять близько 5% при нагріванні панелі на  $10\text{ C}^{\circ}$  (починаючи з  $20 - 25\text{ C}^{\circ}$ ). [2]

Якщо ж аналізувати ситуацію в цілому, то сонячні станції в Україні можуть ефективно і продуктивно функціонувати в будь-якому регіоні країни.

#### **1.4 Теоретичні відомості енергоустановки**

Енергозабезпечення 7го корпусу «Дніпровської політехніки» буде забезпечене завдяки енергетичній установці на базі сонячної панелі, сонячного колектору, сезонного акумулятора тепла, та теплового насосу.

Енергетична установка (енергоустановка) – комплекс взаємопов'язаного обладнання та споруд, безпосередньо призначеного для одержання, перетворення, транспортування і розподілу у відповідності з попитом на теплоту, а саме системи опалення, вентиляції та кондиціювання повітря, гарячого водопостачання.

### 1.4.1 Сезонний акумулятор тепла

За допомогою сезонного теплового акумулятора можна покрити понад 50% енергетичних витрат на опалення і гаряче водопостачання. Вже давно стали популярні сезонні акумулятори для зберігання теплової енергії сонця, накопиченої в теплу пору року, і її утилізації в холодну пору. Видів і типів сезонних акумуляторів тепла дуже багато, розглянемо найбільш популярний вид – ґрунтовий акумулятор. Для будівництва і успішної експлуатації ґрунтового акумулятора необхідно дотримання таких умов як: відповідний склад ґрунту і досить вільного простору.

Концепція даної системи полягає в зберіганні сонячної теплової енергії безпосередньо у ґрунті. Відповідними геологічними формаціями для її застосування можуть бути, наприклад, гірський скелястий ґрунт або водонасичений ґрунт. Зарядка і розрядка ґрунтового акумулятора здійснюється за допомогою вертикальних теплообмінників, поміщених в свердловини на глибину 30 – 100 м, або горизонтальних на глибину 5 – 15 м. На поверхні акумулятора знаходиться шар ізоляції, що запобігає втрати тепла в навколишнє середовище. Під час зарядки, тепловий потік спрямований з центру до периферії, щоб в результаті отримати більш високі температури в центрі і більш низькі на кордоні. Під час розрядки напрямок теплового потоку зворотній. Перевагою такої системи є модульна конструкція, яка дає можливість до розширення.

В кінці 2002 року в одному з житлових районів поблизу Стокгольма - Аннеберге була запущена в експлуатацію сонячна тепла система з сезонним ґрунтовим акумулятором без використання теплового насоса. Дана сонячна тепла система складається з 2 400 м<sup>2</sup> сонячних колекторів, розміщених на дахах 50-ти приватних будинків, ґрунтового акумулятора об'ємом 60 000 м<sup>3</sup>, 13 саб'юнітов з водними баками-акумуляторами для гарячого водопостачання, низькотемпературної системи опалення (тепла підлога) і додаткових електронагрівачів для опалення та гарячого водопостачання. Опалення

будинків забезпечується системою теплих підлог з розрахунковою температурою 27°C – 32°C. Загальна опалювальна площа – 5 444 м<sup>2</sup>. Щорічне споживання енергії для опалення – 565 МВт \* год. Дахи будинків зорієнтовані в південно-східному напрямку з кутами нахилу 15°, 31°, 37°. На дахах встановлені сонячні колектори з пропілен гліколем в якості теплоносія. Контур сонячних колекторів відділений від контуру теплового акумулятора і системи опалення за допомогою теплообмінників. Сонячна радіація є непостійною, тому для забезпечення цілорічного гарячого водопостачання та опалення необхідний сезонний акумулятор тепла. Відповідно, такий акумулятор був спроектований об'ємом 60 000 м<sup>3</sup> з 99 свердловинами глибиною 65 м і відстанню між ними 3 м. Близько 60% щорічного споживання енергії, що витрачається на опалення, забезпечується сонячною тепловою системою. [3]

#### 1.4.2 Геліоколектор

Геліоколектори для систем сонячного теплопостачання можна класифікувати на наступні основні типи:

- відкриті (не заklenі);
- плоскі;
- вакуумні;
- з концентраторами;

Усі принципи конструювання сонячних колекторів зводяться до забезпечення максимального поглинання сонячної енергії при максимальному зниженню теплових втрат.

Відкриті сонячні колектори - лише одна поглинаюча панель (без корпусу), яка за звичай виготовляється з пластику чи гуми, стійких до ультрафіолетового випромінювання, і закріплюється безпосередньо до даху. Ці колектори використовуються в одноконтурних системах для нагрівання

води в басейнах. Застосовуються, найчастіше, у країнах з теплим кліматом і великою кількістю ясних сонячних днів.

Переваги: можливий найвищий ККД системи; простота; надійність; легкий монтаж; мала вага

Недоліки: значне зниження ККД зі збільшенням різниці температур; велика залежність від погодних факторів (хмарності, вітру та ін.); обмежене застосування (використовується тільки для басейнів); велика чутливість до мінусових температур; малий ефективний термін експлуатації

Плоскі сонячні колектори – це найпоширеніший у світі тип геліоколекторів. Площа встановлених плоских колекторів значно перевищує сумарну встановлену площу всіх інших типів. Сучасні зразки плоских геліоколекторів практично досягли своїх максимальних теплотехнічних можливостей, і в даний момент мають найкраще співвідношення ціни, надійності й ефективності.

Переваги: універсальність; висока ефективність; висока надійність; невибагливість; можливість всесезонного ефективного використання; тривалий ефективний термін експлуатації.

Недоліки: зниження ККД (у порівнянні з вакуумними колекторами) зі збільшенням різниці температур у період з малою кількістю сонячного випромінювання.

Вакуумні геліоколектори є дуже цікавим видом даної техніки, тому що вакуум є найкращим теплоізолятором. Існує дві, кардинально різні конструкції цих колекторів: трубчасті й у виді плоских геліоколекторів. Головна проблема вакуумних колекторів – це підтримка вакууму на необхідному рівні протягом усього терміну експлуатації (у випадку з плоскими вакуумними колекторами встановлюють спеціальні насоси). Краще з цією проблемою справилися в трубчастих колекторах.

Переваги: висока ефективність протягом усього року; максимально можливий ККД у зимовий період; універсальність.

Недоліки: низький оптичний (максимальний) ККД; низька надійність: висока схильність градобобою, поступове зникнення вакууму в деяких з трубок; неефективна робота в районах з можливими мінусовими температурами (утворення інею, випадання снігу); більш велика вага і габаритні розміри при тій же площі поглинаючого елемента; малий ефективний термін експлуатації (періодична необхідність заміни окремих трубок). Через втрату вакууму в деяких трубках, ці колектори можуть працювати гірше плоских сонячних колекторів.

Геліоколектори з концентраторами мають підвищені експлуатаційні температури до 120-250 °C, що можливо шляхом введення в сонячні колектори концентраторів за допомогою параболо-циліндричних або інших типів відбивачів, прокладених під поглинаючими елементами. Для отримання більш високих експлуатаційних температур потрібні пристрої стеження за сонцем.

Переваги: високі робочі температури.

Недоліки: більш складна конструкція колектора; важкість монтажу на дахах будинків.

### **1.4.3 Тепловий насос**

Тепловий насос - пристрій для переносу теплової енергії від джерела низькопотенційної теплової енергії (з низькою температурою) до споживача (теплоносія) з більш високою температурою. Термодинамічний тепловий насос аналогічний холодильній машині. Однак якщо в холодильній машині основною метою є виробництво холоду шляхом відбору теплоти з будь-якого обсягу випарником, а конденсатор здійснює скидання теплоти в навколишнє середовище, то в тепловому насосі картина зворотна.

Внутрішній контур теплових насосів складається з таких компонентів:

Конденсатор – теплообмінний апарат, теплообмінник, в якому здійснюється процес конденсації, процес фазового переходу теплоносія з

пароподібного стану в рідкий за рахунок відведення тепла більш холодним теплоносієм;

Дросель – пристрій, який служить для зниження тиску, температури і, як наслідок, замикання теплофікаційного циклу в тепловому насосі;

Випарник – теплообмінник, в якому відбувається відбір тепла від низькотемпературного джерела до теплового насоса;

Компресор – пристрій, що підвищує тиск і температуру пари холодоагенту;

Холодоагент - робоча речовина холодильної машини, яка при кипінні або в процесі розширення забирає теплоту від охолоджуваного об'єкта і потім після стиснення передає її охолоджувальному середовищу (воді, повітрю тощо).

Принцип роботи теплового насоса був викладений ще Карно в 1824 р і Кельвіном в 1852 р. Однак практичне використання теплонасосної схеми стало можливим завдяки широкому застосуванню високопродуктивних фреонових холодильних машин. [6]

Принципова схема теплового насоса з вказівкою напрямку руху холодильного агента для опалення та охолодження будівлі наведена на рис 1. Зовнішній теплообмінник розташований у джерел тепла, внутрішній - в приміщенні, яке потрібно нагрівати взимку і охолоджувати влітку.

З нагнітальної лінії компресора гарячі пари холодоагенту надходять в чотирьох ходовий кран, який направляє їх до відповідного теплообмінника.

Якщо холодильна машина працює як тепловий насос для опалення будівлі, то гарячий холодоагент надходить у внутрішній теплообмінник, де конденсується, віддаючи тепло теплоносія (повітря або воді). Потім холодоагент, пройшовши регулюючий вентиль, надходить в зовнішній теплообмінник, де він кипить, забираючи тепло для свого кипіння від навколишнього середовища (повітря, води). Потім пари холодоагенту знову

проходять через чотирьох ходовий кран, який їх направляє у всмоктувальну лінію компресора, після чого процес починається знову.

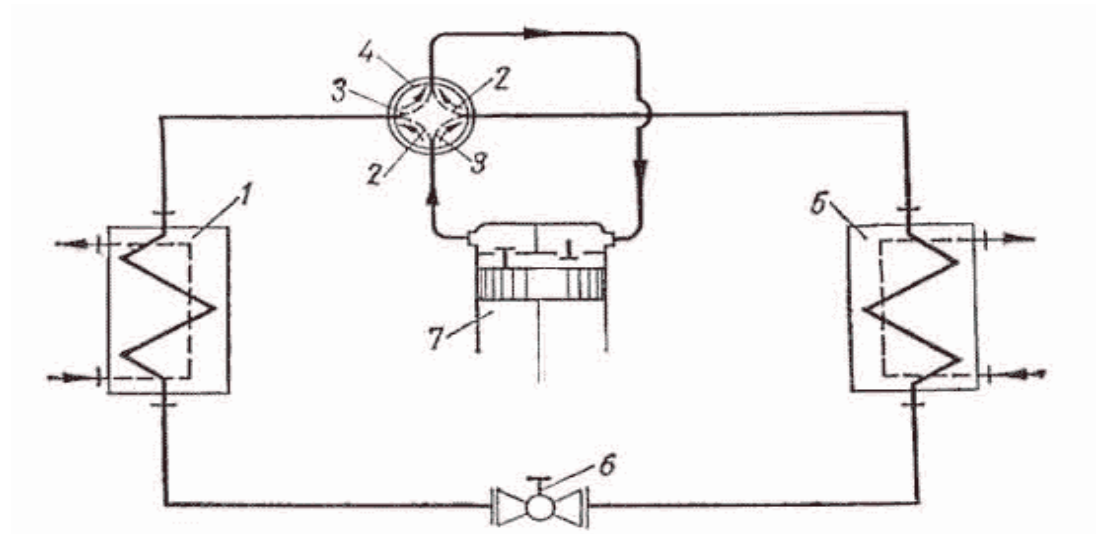


Рисунок 1.2 1 - зовнішній теплообмінник; 2 - напрямок руху холодоагенту при охолодженні приміщення; 3 - напрямок руху холодоагенту при опаленні приміщення; 4 - чотирьохходовий кран-перемикач; 5 - внутрішній теплообмінник; 6 - регулюючий вентиль; 7 - компресор.

Якщо холодильна машина використовується для охолодження будівлі, то гарячий холодоагент, пройшовши з компресора через чотирьох ходовий кран, надходить в зовнішній теплообмінник, де конденсується, віддаючи тепло середовищу, яке його охолоджує. Потім холодоагент, пройшовши регулюючий вентиль, надходить у внутрішній теплообмінник, де кипить, охолоджуючи навколишнє середовище (повітря, воду). Далі пари проходять знову через чотирьох ходовий кран, який направляє їх у всмоктувальну лінію компресора.

Отже, робота холодильної машини в системі кондиціонування повітря за схемою теплового насоса для опалення будівлі полягає в тому, що за

допомогою чотирьох ходового крана-перемикача режимів, змінюється напрямок циркуляції холодоагенту.

До переваг теплових насосів в першу чергу слід віднести економічність: для передачі в систему опалювання 1 кВт\*годин теплової енергії установці необхідно витратити всього 0,2-0,35 кВт\*годин електроенергії. Спрощуються вимоги до систем вентиляції приміщень і підвищується рівень пожежної безпеки. Усі системи функціонують з використанням замкнутих контурів і практично не вимагають експлуатаційних витрат, окрім вартості електроенергії, необхідної для роботи устаткування. Ще однією перевагою теплових насосів є можливість перемикання з режиму опалювання взимку на режим кондиціонування влітку.

Тепловий насос надійний, його роботою керує автоматика. В процесі експлуатації система не потребує спеціального обслуговування, можливі маніпуляції не вимагають особливих навичок і описані в інструкції.

Важливою особливістю системи є її суто індивідуальний характер для кожного споживача, який полягає в оптимальному виборі стабільного джерела низькопотенційної енергії, розрахунку коефіцієнта перетворення, окупності та іншого.

Тепловий насос компактний (його модуль за розмірами не перевищує звичайний холодильник) і практично безшумний.

Серед недоліків теплових насосів, які використовуються для опалення приміщень, можна віднести їх велику вартість, однак вкладені в установку цього обладнання кошти окупляться протягом 4-6 років. [5]

#### 1.4.4 Сонячні панелі

Системи сонячних панелей стали одним із найбільш швидкозростаючих джерел енергії у всьому світі, і в Україні також. За даними асоціації галузей сонячної енергетики, до 2023 року очікується подвоєння ринку сонячної енергії.

Сонячні батареї виготовляються з фотоелектричних елементів (саме тому виробництво електроенергії за допомогою сонячних панелей також називають сонячною фотоелектричною батареєю), які перетворюють сонячну енергію в електричну.

Фотоелектричні елементи затиснуті між шарами напівпровідних матеріалів, таких як силікон. Кожен шар має різні електронні властивості, які подають енергію при попаданні фотонів із сонячного світла, створюючи електричне поле. Це називається фотоелектричним ефектом - і саме він створює струм, необхідний для виробництва електроенергії.

Сонячні панелі генерують постійний струм електрики. Потім це пропускається через інвертор, щоб перетворити його в змінний струм, який потім може бути поданий в мережу або використаний будинком, до якого прикріплені сонячні панелі.



Рисунок 1.3 Принципова схема сонячної станції

Далі розглянемо переваги сонячних панелей

- Сонячні панелі дають вам гарантовану потужність, коли світить сонце забезпечуючи стабільну, стабільну форму генерації протягом дня.

- Панелі сонячних батарей не потребують стільки місця, як інші технології, що відновлюються, і їх можна встановлювати в широкому діапазоні місць. Від великих сільських ферм, які можуть підтримувати місцеве біорізноманіття, забезпечуючи безперешкодне середовище існування бджіл, метеликів та гніздових птахів, до панелей на даху в центрах міст, які можуть допомогти боротися з паливною бідністю.

- Після їх встановлення сонячні панелі майже не потребують технічного обслуговування, достатньо лише періодичне чищення, щоб уникнути бруду та сміття.

- Сонячні панелі не створюють шумового забруднення під час виробництва електроенергії.

- Сонячні батареї дуже безпечні. В основному вони виготовляються з кремнієвих листів, і немає загрози.

В використанні сонячних станцій є також і мінуси. Енергосистема України, повинна ретельно збалансовувати кількість енергії, що надходить до неї, та кількість енергії, яка використовується. Оскільки зараз енергосистема структурована навколо транспортування енергії з величезних електростанцій, які надають стабільно потрібну кількість енергії, то при підключенні станцій на відновлювальній енергії, збалансувати кількість енергії що надходить/використовується стає складніше.

Тому масштабне зберігання енергії є захоплюючою розвиваючою галуззю технологій, яка допоможе зберігати надлишок електроенергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії, для подальшого використання.

## 1.5 Розрахунок теплових втрат корпусу

Для розрахунку потужності теплопостачальної установки потрібно розрахувати теплові втрати 7го корпусу який будемо постачати теплом та гарячою водою.

Оскільки в завданні до дипломної роботи потрібно спроектувати опалювальну установку з використанням теплового насосу, геліоколектору та баку-акумулятора, тоді потрібно розрахувати загальну площу 7го корпусу. За кресленнями можна це порахувати, корпус складається з 14 поверхів з площею  $740 \text{ м}^2$ , загальна площа складає –  $10360 \text{ м}^2$ .

### 1.5.1 Теплові витрати через стіни

1) Перший слой - це залізобетон у якого коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 1.8 \text{ Вт}/(\text{м} * ^\circ\text{C})$ . Товщина слою  $H=0.8 \text{ м}$ .

$$R_{\text{пін}} = \frac{H}{\lambda} = \frac{0.8}{1.8} = 0.44 \left( \text{м}^2 * \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

2) Другий слой – пінопласт, де коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 0.037 \text{ Вт}/(\text{м} * ^\circ\text{C})$ . Товщина слою  $H=0.1$ .

$$R_{\text{п}} = \frac{H}{\lambda} = \frac{0.1}{0.037} = 2.7 \left( \text{м}^2 * \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

3) Третій слой – це штукатурка, де коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 0.76 \text{ Вт}/(\text{м} * ^\circ\text{C})$ . Товщина слою  $H=0.02$ .

$$R_{\text{ш}} = \frac{H}{\lambda} = \frac{0.02}{0.76} = 0.026 \left( \text{м}^2 * \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

Знайдемо суму всіх термічних опорів:

$$R = R_{\text{пін}} + R_{\text{п}} + R_{\text{ш}} = 0.44 + 2.7 + 0.026 = 3.166 \left( \text{м}^2 * \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

Загальний термічний опір :

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + R$$

(Де  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  коефіцієнти тепловіддачі на внутрішній  $\alpha_1 = 8.7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  та зовнішній  $\alpha_2 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$  поверхні конструкції )

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + R = \frac{1}{8.7} + \frac{1}{23} + 3.166 = 3.3 \left( \text{м}^2 \cdot \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

2) Знайдемо теплові витрати через стіни :

$Q_{\text{ст}} = \frac{S_{\text{ст}} \Delta T}{R_0}$ , де  $S_{\text{ст}}$  - площа стін,  $\Delta T$  - різниця температур,  $R_0$  - термічний опір.

$$S_{\text{вік}} = 14 * ((15 * 1.2 * 1.6) + (15 * 2.3 * 1.6)) = 1176 \text{ м}^2.$$

$$S_{\text{дв}} = 1.5 * 2.2 * 2 = 6.6 \text{ м}^2.$$

$$S_{\text{заг}} = 138 * 2.5 * 14 = 4830 \text{ м}^2.$$

$$S_{\text{ст}} = S_{\text{заг}} - S_{\text{вік}} - S_{\text{дв}} = 4830 - 1176 - 6.6 = 3647.4 \text{ м}^2.$$

$$\Delta T = t_1 - t_2 = 20 - (-25) = 45^\circ\text{C}.$$

Де  $t_1$  - температура в кімнаті,  $t_2$  - температура “за бортом”, з урахуванням теплового літа та холодної зими в нашому регіоні.

Отже отримаємо витрати через стіни:

$$Q_{\text{ст}} = \frac{S_{\text{ст}} \Delta T}{R_0} = \frac{3647 \cdot 45}{3.31} = 49737 \text{ Вт}.$$

### 1.5.2 Теплові витрати через вікна та двері

Обираємо площу вікон , вікно в заданому корпусі має різні розміри розміри, на одному поверсі 15 вікон з розміром 1.2x1.6, та 15 вікон – 2.3x1.6. Тоді маємо:

$$S_{\text{вік}} = 14 * ((15 * 1.2 * 1.6) + (15 * 2.3 * 1.6)) = 1176 \text{ м}^2.$$

14 - кількість поверхів у корпусі.

У корпусі встановлені два типи вікон: 1/3 частина – металопластикові, та 2/3 дерев'яні.

Термічний опір вікон, зазначений виробником:

$$R_{\text{вікон мп.}} = 0,52 \left( \text{м}^2 * \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

$$R_{\text{вікон д.}} = 0,44 \left( \text{м}^2 * \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

Знаючи площу вікон та їх термічний опір знайдемо теплові втрати:

$$Q_{\text{вікон мп.}} = \frac{S_{\text{вікон мп.}} \Delta T}{R_0} = \frac{392 * 45}{0.6} = 29400 \text{ Вт.}$$

$$Q_{\text{вікон д.}} = \frac{S_{\text{вікон д.}} \Delta T}{R_0} = \frac{784 * 45}{0.5} = 70560 \text{ Вт.}$$

Тоді сумарні витрати через вікна будуть складати:

$$Q_{\text{вікон}} = Q_{\text{вікон мп.}} + Q_{\text{вікон д.}} = 99960 \text{ Вт.}$$

Знайдемо теплові витрати через вхідні двері будинку .

Площа двері  $S_{\text{дв}} = 6,6 \text{ м}^2$ .

Термічний опір вікон, зазначений виробником:

$$R_{\text{дверей}} = 2 \left( \text{м}^2 * \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

Теплові витрати через двері будуть дорівнювати:

$$Q_{\text{дверей}} = \frac{S_{\text{дв}} \Delta T}{R_0} = \frac{6,6 * 45}{2} = 148,5 \text{ Вт.}$$

### 1.5.3 Теплові витрати через стелю

Термічний опір стелі  $R_{\text{стелі}}$ , зазначений при будівництві будівлі:

$$R_{\text{стелі}} = 2,5 \frac{\text{К}}{\text{Вт}}.$$

Теплові витрати через стелю будуть дорівнювати:

$$Q_{\text{стелі}} = \frac{S_{\text{стелі}} \Delta T}{R_0} = \frac{740 * 41}{2.5} = 12136 \text{ Вт}.$$

### 1.5.4 Теплові витрати через підлогу

Площа підлоги, так само як і стелі  $S_{\text{підлоги}} = 740 \text{ м}^2$ .

Фундамент під дім буде шаровим і виконаний послідовно ґрунт, щебінь, пінополістирол, та бетон.

Термічний опір такої підлоги буде дорівнювати:

$$R_{\text{підлоги}} = 1,5 \left( \text{м}^2 * \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} \right)$$

А це означає, що теплові витрати через підлогу будуть дорівнювати:

$$Q_{\text{підлогу}} = \frac{S_{\text{підлоги}} \Delta T}{R_0} = \frac{740 * 10}{1.5} = 4933 \text{ Вт}.$$

### 1.5.5 Витрати на гарячу воду в корпусі:

Розрахуємо середню кількість використання води та потужність, яка потрібна для обігріву на добу такої кількості води.

$$m_{\text{води}} = \rho * V = 1000 * 1.5 = 1500 \text{ кг}.$$

$$Q_{\text{води}} = c_p m_{\text{води}} \Delta T = 4200 * 1500 * 70 = 441 * 10^6 \text{ Дж}.$$

Знайдемо потрібна нам потужність на добу:

$$N_{\text{води}} = \frac{Q_{\text{води}}}{3600 * 24} = \frac{441 * 10^6}{3600 * 24} = 5104 \text{ Вт.}$$

### 1.5.6 Загальна потужність

Знайдемо повну потужність, повна потужність – це сума всіх теплових витрат корпусу, та потужностей на гарячу воду та циркуляцію повітря:

$$\begin{aligned} N_{\text{пов}} &= Q_{\text{ст}} + Q_{\text{вікон}} + Q_{\text{дверей}} + Q_{\text{стелі}} + Q_{\text{підлогу}} + N_{\text{води}} \\ &= 49737 + 99960 + 148,5 + 12136 + 4933 + 5104 = 172 \\ &= \text{кВт.} \end{aligned}$$

Для повноцінного функціонування системи та уникнення непередбачених ситуацій збільшимо потрібну потужність на 10%.

Отже загальна потужність яка потрібна для нашого будинку буде дорівнювати:

$$N_{\text{пов}} = 190 \text{ кВт.}$$

## 2 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Принципова схема енергоустановки та її опис

#### 2.1.1 Принципова схема енергоустановки

На рисунку представлена принципова схема роботи установки, яка буде забезпечувати теплом, та гарячою водою корпус №7 «Дніпровської політехніки».

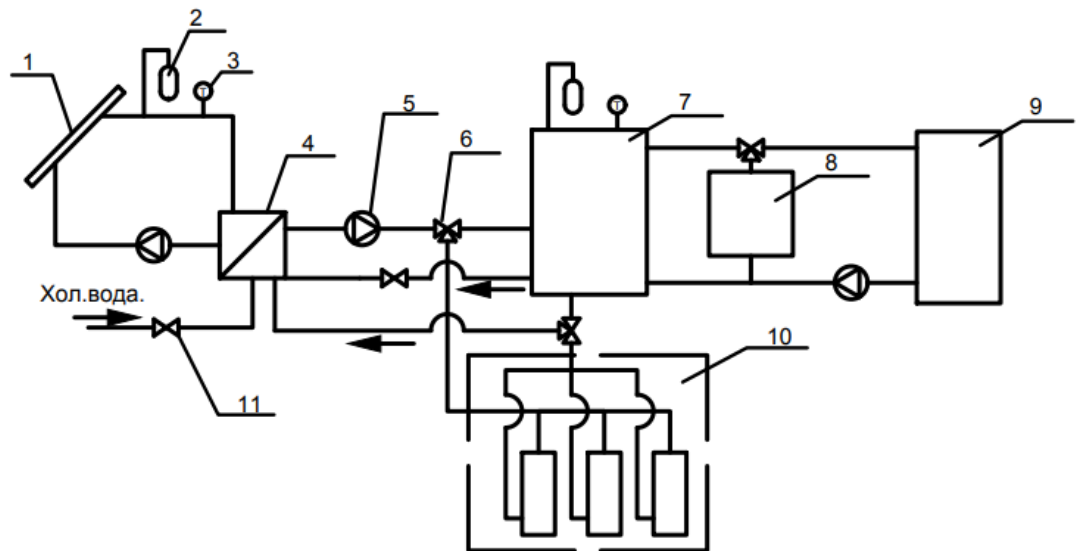


Рисунок 2.1 Принципова схема енергоустановки

1 — геліоколектор; 2 — розширювальний бак; 3 — датчик температури; 4 — теплообмінник; 5 — насос; 6 — трьох-ходовий клапан; 7 — оперативний бак; 8 — тепловий насос; 9 — корпус №7 університету «Дніпровська політехніка»; 10 — ґрунтовий акумулятор; 11 — двох-ходовий клапан;

### 2.1.2 Опис роботи енергоустановки за принциповою схемою

На рисунку зображена схема теплопостачальної установки, принцип її дії такий: геліоколектор [1], сприймає сонячну енергію яка передається теплоносію. Теплоносієм знаходиться у замкнутому контурі, і досягає необхідної температури, за декілька циклів проходження через сонячний колектор. Датчик температури [3] здійснює показання температури теплоносія в замкнутому контурі. При підвищенні температури теплоносія зростає тиск у контурі, який регулюється розширювальним баком [2]. Далі відбувається теплообмін теплоносія геліоколектора з водою яка постачається каналізацією, теплообмін відбувається у теплообміннику [4]. Потім вода качається насосом [5] і потрапляє через трьох ходовий клапан [6] до оперативного бака [7], він накопичує підігріту воду, яка може циркулюватися з теплообмінником [4] через двох ходовий клапан у випадку, якщо вода не догрілась до потрібної температури. До оперативного бака [7] підключені датчик температур та розширювальний бак. Такий процес виконується влітку, коли сонячна інсоляція велика і колектор зможе збирати велику кількість сонячної енергії і система опалювання не використовується. Також, у теплий період року відбувається акумулювання теплової енергії ґрунтовим сезонним акумулятором [10], до якого теплоносієм у вигляді води надходить через трьох ходовий клапан [6]. З ґрунтового акумулятора, вода може циркулюватися з теплообмінником [4] через трьох ходовий клапан на виході акумулятора тепла. У холодну пору року, коли сонячної інсоляції буде недостатньо, тепловий акумулятор віддає тепло до оперативного баку [7], далі для опалювання будинку та гарячого водопостачання тепловий насос [8] забирає тепло з оперативного бака [7], теплообмінником замкнутого контуру, який передає тепло до випарника теплового насосу, вода нагріває холодоагент який закипає у випарнику, та попадає на компресор, компресор стискає холодоагент у вигляді пара, температура холодоагента підвищується до високої температури, на вході до конденсатора холодоагент віддає тепло через теплообмінник, потім

цикл у тепловому насосі повторюється, а тепло з конденсатора яке передається через теплообмінник використовується для опалювальної системи в контур опалювання. Тепловий насос може працювати в теплу пору року для підігрівання води до споживача на невеликій потужності, якщо сонячної інсоляції буде недостатньо. У даній установці контроль за клапанами та температурами відбувається автоматично, завдяки системі контролю температур.

## 2.2 Розрахунок сезонного ґрунтового акумулятора

### 2.2.1 Розрахунок кількості теплоти для опалювального сезону.

Кількість теплоти, яка необхідна на весь опалювальний сезон можна вирахувати згідно формули:

$$Q_{\text{сез}} = \frac{Q_{\text{буд}} * 24 * (t_{\text{в}} - t_{\text{с}}) * n}{t_{\text{в}} - t_{\text{з}}}$$

$Q_{\text{буд}}$  - теплове навантаження будинку;

$t_{\text{в}}, t_{\text{з}}, t_{\text{с}}$  - температури всередині будинку, зовні будинку, середня температура опалювального періоду відповідно;

$n$  - кількість днів опалювального сезону,  $n = 187$  днів;

Згідно зі СНиП 23-01-99,  $t_{\text{з}} = -25^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{с}} = 0,2^{\circ}\text{C}$ ;

Отже вираховуємо  $Q_{\text{сез}}$ :

$$\begin{aligned} Q_{\text{сез}} &= \frac{Q_{\text{буд}} * 24 * (t_{\text{в}} - t_{\text{с}}) * n}{t_{\text{в}} - t_{\text{з}}} = \frac{190000 * 3600 * 24 * (20 - (-25)) * 187}{20 - 0,2} = \\ &= 7674 \frac{\text{ГДж}}{\text{рік}}. \end{aligned}$$

Кількість теплоти яку повинен віддати сонячний колектор, для зарядки ґрунтового акумулятора за сезон з урахуванням коефіцієнта перетворення теплового насосу  $\varphi = 2$  можна вирахувати за формулою:

$$Q_{\text{гк}} = Q_{\text{сез}} * \frac{\varphi - 1}{\varphi} = 7674 * 10^9 * \frac{2 - 1}{2} = 3837 \frac{\text{ГДж}}{\text{рік}}.$$

Приймаємо, що кількість теплоти на зарядку теплового сезонного акумулятора буде дорівнювати кількості теплоти, відібраної від нього на потреби опалення будинку, при цьому піднімається природна температура ґрунту.

### 2.2.2 Розрахунок параметрів сезонного акумулятора тепла.

Грунтовий акумулятор виконаний на базі 75 свердловин.

Для розрахунку акумулятору тепла приймаємо такі вхідні данні:

- проектна теплова потужність системи опалення,  $N_{уст} = 190$  кВт;
- річне споживання тепла,  $Q_{сез} = 7674$  ГДж;
- річна кількість теплоти для зарядки акумулятора теплоти,  $Q_{гк} = 3837$  ГДж;
- річне споживання холоду,  $Q_x = 0$  Дж;
- температури ґрунту на початку та наприкінці опалювального сезону  $t_{г1} = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{г2} = 10^{\circ}\text{C}$ ;
- температури рідини на вході та на виході свердловини,  $t_{р1} = 10^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{р2} = 20^{\circ}\text{C}$ ;
- коефіцієнт теплопровідності ґрунту  $\lambda_{г} = 2,52 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}\cdot\text{К})}$ ;
- коефіцієнт, який враховує теплові втрати  $k_{h1} = 1,04$ ;
- еквівалентний діаметр трубопроводів  $d_e = 0,132$  м;
- коефіцієнт температуропровідності ґрунту  $\alpha_{г} = 0,055 \frac{\text{м}^2}{\text{сутки}}$ ;
- сила тяжіння  $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

Параметри труб свердловин:

- поліетиленова труба ПЕ-100;
- діаметр,  $d_{вн} = 35$  мм,  $d_{зовн} = 41$  мм;
- коефіцієнт теплопровідності труби,  $\lambda_{тр} = 0,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ ;
- коефіцієнт теплопровідності води,  $\lambda_{в} = 0,574 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ ;
- кінематична в'язкість води,  $\nu_{в} = 1,306 * 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ ;
- теплоємність води,  $Cp_{в} = 4191 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ;

- густина води,  $\rho_B = 999,7 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;
- коефіцієнт температурного розширення води,  $\beta_B = 0,7 * 10^4 \text{ К}^{-1}$ ;
- з'єднання контурів виконано паралельно;
- кількість свердловин  $n = 75$ ;
- тепловий потік через стінку  $q = 90 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$ .

Електрична потужність для теплового насосу:

$$N_{\text{TH}} = \frac{1}{\varphi} * N_{\text{уст}} = \frac{1}{2} * 190000 = 95 \text{ кВт.}$$

Розраховуємо масову витрату:

$$G = \frac{N_{\text{уст}} * \frac{\varphi - 1}{\varphi}}{c_{p_B} * (t_{p2} - t_{p1})} = \frac{190000 * \frac{2 - 1}{2}}{4191 * (20 - 10)} = 2,3 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Розрахуємо об'ємну витрату:

$$V = \frac{G}{\rho_B} = \frac{2,3}{999,7} = 0,002 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 71506 \frac{\text{м}^3}{\text{рік}}.$$

Витрати теплоносія через одну трубу:

$$V_1 = \frac{V}{n} = \frac{0,002}{75} = 0,000026 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Швидкість руху теплоносія:

$$w = \frac{V_1}{S_{\text{пп}}} = \frac{4 * V_1}{\pi * d_e^2} = \frac{4 * 0,000026}{3,14 * 0,035^2} = 0,027 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{w * d_e}{\nu_B} = \frac{0,027 * 0,035}{1,306 * 10^{-6}} = 723.$$

Режим руху теплоносія ламінарний, знайдемо число Прандтля:

$$Pr_{\text{ж}} = \frac{c_{p_{\text{в}}} * \rho_{\text{в}} * \nu_{\text{в}}}{\lambda_{\text{в}}} = \frac{4191 * 999,7 * 1,306 * 10^{-6}}{0,574} = 9,53.$$

Число Грасгофа:

$$Gr = \frac{g * d_e^3 * \beta_{\text{в}} * (t_{\text{ж}} - t_{\text{ст}})}{\nu_{\text{в}}} = \frac{9,81 * 0,0350^3 * 0,7 * 10^4 * (10 - 6,83)}{1,306 * 10^{-6}} = 7,1 * 10^6.$$

Температура стінки знаходиться з формули:

$$t_{\text{ст}} = 0,5 * (t_{\text{г1}} - t_{\text{г2}}) - \frac{q * \ln\left(\frac{d_{\text{зобн}}}{d_{\text{вн}}}\right)}{2 * \lambda_{\text{тр}} * \pi} = 12,5 - \frac{90 * \ln\left(\frac{0,041}{0,035}\right)}{2 * 0,4 * 3,14} = 6,83^{\circ}\text{C}.$$

Число Релея:

$$Ra = Gr * Pr_{\text{ж}} = 9,53 * 7,1 * 10^6 = 67,9 * 10^6.$$

Режим потоку, в'язкісно-гравітаційний, тоді критерій Нуссельта знаходиться за наступною формулою:

$$Nu = 0,15 * Re^{0,33} * Pr_{\text{ж}}^{0,33} + Ra^{0,1} * \left(\frac{Pr_{\text{ж}}}{Pr_{\text{ст}}}\right)^{0,25} =$$

$$= 0,15 * 723^{0,33} * (9,53)^{0,33} + (67,9 * 10^6)^{0,1} * \left(\frac{9,53}{11,4}\right)^{0,25} = 8,5.$$

Число Прандтля при температурі стінки 6,83°C:

- $\lambda_{\text{в'}} = 0,570 \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}};$
- $\nu_{\text{в'}} = 1550 * 10^6 \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$
- $c_{p_{\text{в'}}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} * \text{К}};$
- $\rho_{\text{в'}} = 999,75 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$

$$Pr_{\text{ст}} = \frac{c_{p_{\text{в'}}} * \rho_{\text{в'}} * \nu_{\text{в'}}}{\lambda_{\text{в'}}} = \frac{4191 * 999,75 * 1,550 * 10^{-6}}{0,570} = 11,4.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до стінки:

$$\alpha = \frac{Nu * \lambda_{\text{в}}}{d_e} = \frac{8,5 * 0,574}{0,035} = 139 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}}.$$

Термічний опір свердловини:

$$\begin{aligned} R_c &= \frac{1}{\alpha * d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2 * \lambda_{\text{тр}}} * \ln \left( \frac{d_{\text{зовн}}}{d_{\text{вн}}} \right) = \\ &= \frac{1}{139 * 0,035} + \frac{1}{2 * 0,4} * \ln \left( \frac{0,041}{0,035} \right) = 0,4 \frac{\text{м} * \text{К}}{\text{Вт}}. \end{aligned}$$

Загальна довжина свердловини: задаємо  $L = 1000$  м.

Питомий тепловий потік з погонного метра буде:

$$q = \frac{N_{\text{уст}} - N_{\text{тн}}}{L} = \frac{190000 - 95000}{1000} = 95 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}.$$

Глибина буріння з умови, що свердловин 75:

$$h = \frac{L}{100} = \frac{1000}{75} = 13 \text{ м}.$$

Враховуючи глибину промерзання глибина буріння становитиме 15 м.

## 2.3 Розрахунок геліосистеми

Для розрахунку обираю найпоширеніший вид геліоколекторів – плоский геліоколектор. У колекторі абсорбер виготовлений з суцільної пластини, до якої знизу приварені трубки діаметром 14 мм, товщина пластини 5 мм, матеріал мідь, на абсорбер напилене високо селективне покриття з високою поглинальною здатністю та низьким відбиттям променистої енергії. Розмір геліоколектора  $2\text{ м} \times 1\text{ м} = 2\text{ м}^2$ , абсорбер покритий склом товщиною 5 мм. Теплоізоляція на бокових поверхнях виконана з пінополістиролу, а днище зі скловолокна, товщина теплоізоляції  $\delta_{iz} = 0,05\text{ м}$ .

Для забезпечення найкращих умов сприймання сонячної енергії, поглинальна поверхня сонячного колектора повинна орієнтована на екватор з нахилом що дорівнює його широті місцевості:  $\beta = \varphi - \delta_{cp}$ , при цілорічному використанні, де  $\beta$  – кут нахилу геліоколектора,  $\varphi$  – широта місцевості,  $\delta_{cp}$  – середнє значення схилення сонця за весь рік.

У теплу пору року геліоколектор використовується для гарячого водопостачання для споживача, і зарядки сезонного ґрунтового акумулятора тепла. У холодну пору року, геліоколектор виконує допоміжну функцію для опалення та гарячого водопостачання будинку, основну функцію виконує тепловий насос який забирає тепло накопичене сезонним акумулятором.

### 2.3.1 Аналітичний розрахунок геліоколектора

При аналітичному розрахунку геліоколектора враховують коефіцієнт сприймання сонячної радіації, та коефіцієнт теплових втрат. [4]

При розрахунку коефіцієнта сприймання сонячної радіації він розкладається на складові частини, значення яких визначаються окремо:

$$\gamma_{ГК} = \varepsilon_{ск} * \varepsilon_e * \eta_{заб} * \eta_{ск}$$

$\gamma_{ГК}$  – коефіцієнт сприймання сонячної радіації

$\varepsilon_{ск}$  – ступень чорноти скла, визначається експериментально, для скла з гладкою поверхнею приймаємо  $\varepsilon_{ск} = 0,94$

$\varepsilon_e$  – ступень чорноти тепло сприймаючого елемента, який в нашому випадку виготовлений з міді, та має напилене високо селективне покриття, ступень такого абсорбера дорівнює  $\varepsilon_e = 0,96$

$\eta_{заб}$  – коефіцієнт забруднення, який впливає на коефіцієнт сприймання сонячної радіації, приймаємо ледве помітне запилення,  $\eta_{заб} = 0,9$

$\eta_{ск}$  – коефіцієнт пропускання променистої енергії склом, залежить від якості скла, його товщини та кута, під яким сонячний промінь падає на поверхню. Приймаємо що сонячний промінь падає перпендикулярно поверхні, тобто кут нульовий, то коефіцієнт пропускання можна обчислити:

$$\eta_{ск} = \exp(-u * \delta_{ск}) = \exp(-30 * 0,005) = 0,86$$

$\delta_{ск}$  – товщина скла;

$u$  – значення лінійного коефіцієнта поглинання світла залежить від якості скла, приймаємо  $u = 30 \frac{1}{м}$ ;

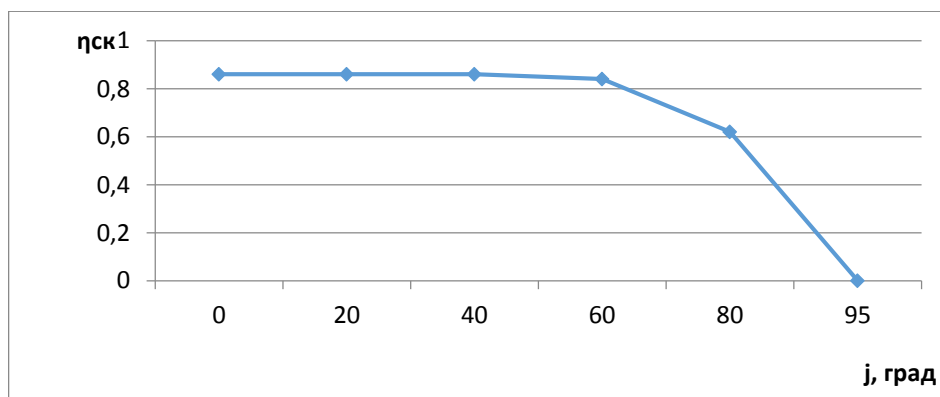


Рисунок 2.2 – Залежність коефіцієнта пропускання променистої енергії склом від кута  $j$ .

Залежність коефіцієнта пропускання променистої енергії склом від кута  $j$  між напрямком сонячного променя і нормаллю до поверхні геліоколектора наведена на рис.2.1.

Отже вираховуємо коефіцієнт сприймання сонячної радіації:

$$\gamma_{гк} = \varepsilon_{ск} * \varepsilon_e * \eta_{заб} * \eta_{ск} = 0,94 * 0,96 * 0,9 * 0,86 = 0,699 \approx 0,7$$

Отже такий геліоколектор при умові що сонячні промені будуть падати перпендикулярно може сприйняти 70% сонячної радіації. На коефіцієнт пропускання склом дифузійного випромінювання закономірність наведена на графіку 1, не розповсюджується. У розрахунках денного балансу сонячної енергії, що проходить крізь скло, зниження коефіцієнта пропускання променистої частки енергії при великих значеннях кута  $j$  (65-90 град.) практично не впливає на практиці. Тому при виконанні теплових розрахунків геліосистеми вважають, що коефіцієнт пропускання променистої енергії скла не залежить від кута освітлювання геліоколектора і це не вносить похибки.

Коефіцієнт теплових втрат  $K_{гк}$ , обираємо експериментальним методом який описаний для таких видів колекторі у технічній літературі, приймаємо коефіцієнт теплових втрат рівний  $6,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{К})$ .

$$K_{гк} = 6,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{К}).$$

### **2.3.2 Кліматичні характеристики регіону. Оптимальні кути встановлення геліоколектора**

Будинок знаходиться у місті Дніпро яке розташовано на широті  $48^\circ 27'$ , розрахуємо зовнішні умови експлуатації геліосистеми.

Середньодобова сонячна радіація, розраховується з формули:

$$H(n) = A + B * \cos\left(\frac{2\pi(n - 173)}{365}\right)$$

$$A = 19,25 - 0,135 * \varphi = 19,25 - 0,135 * 0,845 = 19,135 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2 * \text{доб}}.$$

$$B = 0,8 + 0,155 * \varphi = 0,8 + 0,155 * 0,845 = 0,95 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2 * \text{доб}}.$$

$\varphi$  – географічна широта місцевості, обчислюється в радіанах;

$n$  – порядковий день року, на кожен місяць береться 15 число;

Величини середньодобової сонячної радіації були розраховані в Excel та занесені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Величини середньодобової сонячної радіації

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
$H(n), \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2 * \text{до}}$	18,26	18,58	19,01	19,5	19,89	20,08
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
$H(n), \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2 * \text{до}}$	20,01	19,7	19,23	18,75	18,36	18,19

Середнє значення інтенсивності сонячної радіації підраховано в Excel та становить:  $H(n)_{\text{сер}} = 583 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2 * \text{рік}}.$

Максимальне значення інтенсивності сонячної радіації на 15 число кожного місяця розраховуємо за формулою:

$$E_{\text{max}} = E_{\text{т.баз.}} * \left( 1 + 0,024(\varphi_{\text{баз}} - \varphi_{\text{рег}}) \right)$$

$E_{\text{т.баз.}}$  – інтенсивність сонячної радіації міста Київ;

$\varphi_{\text{баз}}$  – географічна широта міста Київ,  $\varphi_{\text{баз}} = 50^{\circ}5'$ ;

$\varphi_{\text{рег}}$  – географічна широта міста Дніпро,  $\varphi_{\text{рег}} = 48^{\circ} 27'$ .

Максимальне значення інтенсивності сонячної радіації на 15 число кожного місяця були розраховані в Excel та занесені в табл 2.2

Таблиця 2.2 Максимальне значення інтенсивності сонячної радіації на 15 число кожного місяця для міста Дніпро

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
$E_{max}$ , Вт/м <sup>2</sup>	337,12	516,22	690,05	805,94	911,29	927,09
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
$E_{max}$ , Вт/м <sup>2</sup>	890,22	827,01	711,12	537,29	373,99	294,98

Середньомісячна інтенсивність сонячної радіації:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{сеп}} &= \frac{\sum E_{\text{max}}}{12} = \\
 &= (337,12 + 516,22 + 690,05 + 805,94 + 911,29 + 927,09 \\
 &+ 890,22 + 827,01 + 711,12 + 537,29 + 373,99 + 294,98)/12 = \\
 &= 651,86 \text{ Вт/м}^2.
 \end{aligned}$$

Місячна питома сонячна енергія з урахуванням коефіцієнта сонячного сяйва на 1 м<sup>2</sup>, використовується формула:

$$E_{\text{міс}} = \frac{7200}{\pi} * E_{\text{max}} * \tau_c * \psi_c * n_{\text{міс}}$$

$\tau_c$  – тривалість світлового дня;

$\psi_c$  – коефіцієнт сонячного сяйва;

$n_{\text{міс}}$  – кількість днів у місяці.

Тривалість світлового дня на даній широті занесена у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 Тривалість світлового дня на даній широті

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
$\tau_c$ , год.	8,59	9,97	11,58	13,6	15,17	16
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
$\tau_c$ , год.	15,66	14,40	12,63	10,56	8,98	8,18

Значення коефіцієнта сонячного саява  $\psi_c$ , береться с Кліматологічного атласу УССР.

Величини питомої сонячної енергії з урахуванням коефіцієнта сонячного саява на  $1 \text{ м}^2$ , були розраховані в Excel та занесені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 Величини питомої сонячної енергії з урахуванням коефіцієнта сонячного саява на  $\text{м}^2$ 

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
$E_{\text{міс}}, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{міс.}}$	88,5	152	284	422,2	638,7	734,6
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
$E_{\text{міс}}, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{міс.}}$	792,7	694,1	44,48	254	117,8	75,4
Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
$E_{\text{міс}}, \frac{\text{МВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{міс.}}$	24,5	42,2	78,8	117,2	177,4	204
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
$E_{\text{міс}}, \frac{\text{МВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{міс.}}$	220,2	192,8	123,5	70,5	32,7	20,9

Річна величина питомої сонячної енергії з урахуванням коефіцієнта сонячного саява на  $1 \text{ м}^2$  дорівнює:

$$E_{\text{рік}} = \sum E_{\text{міс}} \approx 4700 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2 * \text{рік}}.$$

Схилення сонця для кожного місяця на 15-те число розраховуємо за формулою Купера:

$$\delta = 23,5 * \sin\left(360 * \frac{284 + n}{365}\right)$$

Величини схилення сонця були розраховані в Excel та занесені в табл 2.5.

Таблиця 2.5. Величини схилення сонця

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
$\delta$ , град.	-9,27	-22,27	22,2	9,08	-23,26	-17,97
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
$\delta$ , град.	19,19	22,9	11,36	-22,77	-19,49	17,62

Середнє значення схилення сонця:

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{\sum \delta}{12} = (-9,27 - 22,27 + 22,2 + 9,08 - 23,26 - 17,97 + 19,19 + 22,9 + 11,36 - 22,77 - 19,49 + 17,62)/12 = -1,05 \text{ град.}$$

Визначаємо оптимальний кут встановлення геліоколектора за формулою:

$$\beta = \varphi - \delta$$

Для цілорічного використання:

$$\beta_{\text{ср}} = \varphi - \delta_{\text{ср}} = 48,27 - 1,05 = 49,32 \text{ град.}$$

Оптимальні кути встановлення геліоколектора для кожного місяця розраховані в Excel та занесені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6. Оптимальні кути встановлення геліоколектора.

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
$\beta$ , град.	57,5	70,5	26	39,2	71,5	66,3
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
$\beta$ , град.	29	25,3	36,9	71	67,7	30,6

### 2.3.3 Визначення площі геліоколекторів

Геліоколектор використовується для гарячого водопостачання та зарядки ґрунтового акумулятора тепла в теплий період року. При розрахунку площі геліоколектора орієнтуємося на зарядку ґрунтового акумулятора. Для визначення площі використовуємо формулу:

$$F_{\text{ГК}} = \frac{f_{\text{Г}} * Q_{\text{ГК}}}{E_{\text{рік}} * \eta_{\text{ГК}}} = \frac{0,6 * 3800000000000}{4700000000 * 0,75} \approx 640 \text{ м}^2.$$

$f_{\text{Г}}$  – коефіцієнт заміщення, (вказує частку енергії заміщену шляхом використання сонячної енергії),  $f_{\text{Г}} = 0,6$ ;

$Q_{\text{ГК}}$  – сезонне навантаження геліоколектора;

$E_{\text{рік}}$  – річна величина питомої сонячної енергії з урахуванням коефіцієнта сонячного сяйва на  $1 \text{ м}^2$ ;

$\eta_{\text{ГК}}$  – ККД системи геліоколектора.

Так як один модуль геліоколектора має площу  $2 \text{ м}^2$ , приймаємо  $F_{\text{ГК}} = 558 \text{ м}^2$ , то можна обчислити кількість модулів:

$$n = \frac{F_{\text{ГК}}}{F_{\text{ГК1}}} = \frac{640}{2} = 320.$$

Для даної тепlopостачальної установки потрібно встановити на дах будинку 320 модулів геліоколекторів, сумарною площею  $640 \text{ м}^2$ .

### 2.3.4 Визначення параметрів геліосистеми

В замкнутому контурі геліосистеми циркулює теплоносієм 45%-ий розчин пропіленгликолю, його теплофізичні властивості наведені у табл. 2.7, кристалізується такий розчин при температурі  $-30^{\circ}\text{C}$ , тому даний тип розчину підходить для нашого клімату щоб він не замерзав.

Таблиця 2.7. Теплофізичні властивості 45%-ого розчину пропіленгликолю.

$t, ^{\circ}\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \frac{\text{Дж}}{(\text{кг} * \text{К})}$	$\lambda, \frac{\text{Вт}}{\text{м} * \text{К}}$	$\mu, \text{Па} * \text{с} * 10^{-3}$	$\nu, \text{м}^2 * \text{с} * 10^{-6}$
-30	1066	3450	0,397	160	150
-20	1062	3490	0,396	74,3	70
-10	1058	3520	0,395	31,74	30
0	1054	3560	0,395	19,97	18
20	1044	3620	0,394	6,26	6
40	1033	3690	0,393	2,97	2,9
60	1015	3760	0,392	1,6	1,6
80	999	3820	0,391	1,1	1,1
100	984	3890	0,390	0,8	0,82

Виходячи з того що середня температура теплоносія на виході сезонного акумулятора в режимі зарядки повинна становити приблизно  $35^{\circ}\text{C}$ , знайдемо витрату теплоносія через геліоколектори за середнім значенням температури навколишнього середовища, інтенсивності сонячної радіації та тривалості світлового дня, за формулою:

$$G = \frac{F_{\text{гк1}} * H_{(n)\text{сер}} * n * \eta}{n_{\text{сер}} * \tau_{\text{сер}} * 3600 * C_p * (t_{\text{нв}} - t_{\text{вх}})}$$

$$G = \frac{2 * 5,83 * 10^8 * 279 * 0,69}{30,6 * 14,1 * 3600 * 3620 * (35 - 15)} = 2 \frac{\text{кг}}{\text{сек}}.$$

$F_{\text{ГК1}}$  – площа одного модуля колектора;

$H_{(n)\text{сер}}$  – середнє значення інтенсивності сонячної радіації;

$n$  – кількість модулів геліоколекторів;

$\eta$  – ККД геліосистеми;

$n_{\text{сер}}$  – середня кількість днів у місяці;

$\tau_{\text{сер}}$  – середня тривалість світлового дня;

$C_p$  – теплоємність пропіленгликолю;

$t_{\text{НВ}}$  – навколишнього середовища ;

$t_{\text{ВХ}}$  – температура теплоносія на вході;

Відповідно знайдемо об'ємні витрати:

$$V = \frac{G}{\rho} = \frac{2}{1044} = 0.0019 \frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$$

Розраховуємо середньомісячну температуру теплоносія геліоколектора, для кожного місяця за формулою:

$$t_{\text{вих.i}} = t_{\text{НВ}} + \frac{G * C_p * H(n)_{\text{міс}} * F_{\text{ГК}}}{\tau_{\text{с.i}} * n_i * 3600}$$

$t_{\text{НВ}}$  - температура навколишнього середовища відповідного місяця;

$n_i$  - кількість днів у місяці;

$\tau_{\text{с.i}}$  - середня тривалість світлового дня у місяці;

$H(n)_{\text{міс}}$  - величина середньомісячної сонячної радіації.

Величини середньомісячних температур теплоносія геліоколектора розраховані в Excel та занесені в табл. 2.8.

Таблиця 2.8. Величини середньомісячних температур теплоносія геліоколектора.

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень
$t, ^\circ\text{C}$	27,2	28	30,1	43,6	56,2	62
Місяць	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
$t, ^\circ\text{C}$	67,4	67	59,5	48,3	41,8	33,6

## 2.4 Розрахунок насосу

Розрахуємо тепловий насос та теплообмінник для резервного теплопостачання енергії до корпусу університету, коли геліосистема не працює, це у безсонячні дні.

Для ефективної роботи теплового насоса вибір робочої рідини має першочергове значення. До холодоагенту теплового насоса пред'являються вимоги фізичних та хімічних властивостей. В даному випадку нашої установки обираємо холодоагент марки R134a. Холодоагент R134a - це гідрофтороуглецеве з'єднання з термодинамічними властивостями, порівнянними з властивостями хлорофторовуглерода. R134a є ідеальним холодоагентом для роботи в умовах високих температур кипіння і конденсації. R134a - це холодоагент, який має нульове температурне «ковзання». Холодоагент R134a нетоксичний і не запалюється у всьому діапазоні температур експлуатації. [7]

### 2.4.2 Розрахунок теплообмінного апарату

Для підігріву води обираємо теплообмінний апарат змієвикового типу.

Вихідні данні:

- витрата гріючої води:  $Q_{\text{води}} = 0,00065 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- температура води на вході:  $T_{\text{вх}} = 45^\circ\text{C}$ ;
- температура води на виході:  $T_{\text{вих}} = 85^\circ\text{C}$ ;
- початкова температура холодоагенту:  $T_{\text{х1}} = 15^\circ\text{C}$ ;
- кінцева температура холодоагенту:  $T_{\text{х1}} = 5^\circ\text{C}$ ;

6. Витрати холодоагенту:  $Q_{\text{х}} = 0,0004 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Розрахунок:

Знаходимо коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$\delta = 0,002$  м – товщина стінки труби;

$\lambda = 45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$  – коефіцієнт теплопровідності сталі.

Для розрахунку нам потрібен коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$ , знайдемо його для води.

Визначимо швидкість руху води:

$$w_1 = \frac{4 * Q_B}{\pi * d^2} = 5,75 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Де  $d=0,012$  м – внутрішній діаметр трубки теплообмінника.

Визначаємо далі число Рейнольдса:

$$Re_1 = \frac{w_1 * d}{\nu_1} = 144355.$$

$\nu_1 = 0,478 * 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості води.

Режим руху турбулентний.

Знайдемо число Нюсельта:

$$Nu_1 = 0,021 * Re^{0,8} * Pr^{0,43} * \left( \frac{Pr}{Pr_{\text{ст}}} \right)^{0,25}$$

$Pr = Pr_{\text{ст}} = 3,57$  при нормальній температурі.

$$Nu_1 = 486.$$

Тоді:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 * \lambda_1}{d} = 26372 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{град}}.$$

Де  $\lambda_1 = 0,65$  - коефіцієнт теплопровідності для води.

Визначимо коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_2$  для хладагенту:

Швидкість руху хладагенту буде дорівнювати:

$$w_2 = \frac{4 * Q_{\text{хг}}}{\pi * D^2} = 0,00022 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Де  $D=1500$  мм – внутрішні діаметр бака.

Знайдемо число Рейнольдса для хладогенту:

$$Re_2 = \frac{w_2 * D}{\nu_2} = 34.$$

$\nu = 10 * 10^{-6} \frac{м^2}{с}$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості хладогенту;

Тепер можемо визначити число Нюсельта:

$$Nu_2 = c * (Gr * Pr)^n$$

Значення коефіцієнтів  $c$ ,  $n$  - залежать від величин  $Gr$  та  $Pr$ .

$$Gr * Pr = \frac{\beta * g * D^3 * \Delta T}{\nu^2} * \frac{\nu}{\alpha}$$

В рівнянні  $g=9,8 \frac{м}{с^2}$  – прискорення вільного падіння;

$D=1500$  мм – внутрішній діаметр бака;

$\beta = 0,004$  – температурний коефіцієнт об'ємного розширення;

$T$  – середня температура хладогенту.

$$T_{пов} = \frac{T_{с.води} + T}{2} = 37,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$T_{с.води} = \frac{T_{вх} + T_{вих}}{2} = 65^\circ\text{C}.$$

$$\Delta T = T_{пов} - T = 27,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$a_{хлад} = \frac{\lambda}{\rho * C_p}$$

$\alpha$  – коефіцієнт температуропровідності хладогенту;

$\lambda = 0,082$  – коефіцієнт теплопровідності хладогенту;

$\rho = 0,81$  – густина хладогенту.

$C_p = 2$  – теплоємність хладогенту:

$$a_{хлад} = \frac{\lambda}{\rho * C_p} = \frac{0,0185}{0,81 * 2} = 0,0005 \frac{м^2}{с}.$$

Звідси отримаємо:

$$Gr * Pr = 668 * 10^6.$$

Для  $Gr * Pr > 10^3$ :

$$Nu_2 = 0,75 * (31,9 * 10^6)^{0,25} = 120,6.$$

Тоді:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 * \lambda}{D} = 148 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 * \text{град}}.$$

Знайшовши коефіцієнти тепловіддачі  $\alpha$ , тепер можемо знайти коефіцієнт теплопередачі  $K$ :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = 11225 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{град}}.$$

Визначаємо величину водяного еквівалента:

$$w_1 = G_H * C_{p.H} = 2,7.$$

Де  $C_{p.H} = 4149 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} * \text{град}}$  – теплоємність води.

Для хладагенту

$$w_2 = G_{xг} * C_{p.xг} = 0,00055.$$

Визначимо середні перепад температури:

$$T = T_{c.B} - T_{c.xг} = 55^\circ\text{C}.$$

Визначимо кількість теплоти переданою водою:

$$Q = \dot{m} * C_{p.B} * T_{c.B} = 175 \text{ кВт}.$$

Де  $\dot{m} = G_H * \rho = 0,65 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ .

Отримаємо тепловий потік:

$$q = K * T = 617 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}.$$

Тепер ми можемо отримати площу поверхні теплообмінника:

$$F = \frac{Q}{q} = 0,3 \text{ м}^2.$$

Довжина труб змієвикового теплообмінника буде дорівнювати:

$$L = \frac{F}{2 * \pi * R} = 7,5 \text{ м}.$$

### 2.4.3 Розрахунок компресору

Початкові данні:

Обираємо одноступінчастий двоциліндровий компресор двійної дії, має поршні діаметром  $d=0.65\text{м}$ , величина ходу дорівнює  $S=0.55\text{ м}$ , а величина простору  $c=0,036$ .

Вал компресора обертається зі швидкістю  $n=180\text{ об/хв}$ .

Пар води при температурі  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  у компресорі знаходиться у стадії стиснення під тиском від  $P_1 = 0,1\text{МПа}$  до  $P_2 = 0,3\text{МПа}$ .

Показник політропи дорівнює  $m=1.2$

ККД механічне дорівнює  $0,95$

ККД адіабатне дорівнює  $0,85$

Спочатку визначимо площу поперечного перерізу поршня  $F$  за формулою:

$$F = \frac{\pi * d^2}{4} = 0,33\text{ м}^2.$$

Далі перед розрахунком продуктивності компресора необхідно знайти коефіцієнт подачі, але спершу визначаємо об'ємний ККД:

$$\lambda_0 = 1 - c * \left( \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{1/m} - 1 \right) = 0,95.$$

Знаючи об'ємний ККД, скористаємося знайденим значенням і з його допомогою визначимо величину коефіцієнта подачі за формулою:

$$\lambda = \lambda_0 * (1.01 - 0.02 * \left( \frac{P_2}{P_1} \right)) = 0,9.$$

Тепер підрахуємо продуктивність компресора  $Q$ :

$$Q = \lambda * z * F * s * n$$

Оскільки компресор подвійної дії, то коефіцієнт  $z$  буде дорівнювати 2. Оскільки компресор двоциліндровий, то отриманий результат необхідно також помножити на 2. Отримаємо:

$$Q = 2 * \lambda * z * F * s * n = 118 \frac{\text{м}^3}{\text{мин}}.$$

Масова витрата води  $G$  буде дорівнювати, де  $\rho$  – щільність води, при даній температурі дорівнює  $0,0830 \text{ кг/м}^3$ . Розрахуємо це значення:

$$G = Q * \rho = 9,8 \frac{\text{кг}}{\text{мин}}.$$

Часова витрата буде дорівнювати:

$$60 * G = 587,8 \frac{\text{кг}}{\text{год}}.$$

Щоб розрахувати споживану потужність компресора, попередньо необхідно обчислити величину роботи, яка повинна бути витрачена на стиснення пару. Для цього скористаємося наступною формулою:

$$A_{\text{сж}} = \frac{k}{k-1} * R * t * \left( \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right)$$

У цій формулі  $k$  – показник адіабати, який дорівнює відношенню теплоємності при постійному тиску до теплоємності при постійному обсязі ( $k=c_p/c_v$ ), і для пару цей показник дорівнює  $0,4554$ .  $R$  – газова постійна, дорівнює  $461 \text{ МДж/(кг*К)}$ , де  $M$  – молярна маса пару. У разі пару  $M$  береться рівній  $18 \text{ г/моль}$ , тоді  $R=461/18=25,61 \text{ Дж/(кг*К)}$ .

Підставимо отримані значення в формулу роботи зі стиснення і знайдемо її значення:

$$A_{\text{сж}} = 783 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Після знаходження значення витрачається на стиснення повітря роботи стає можливим визначення споживаної компресором потужності за такою формулою:

$$N = \frac{G * A_{\text{сж}}}{100 * \eta_{\text{мех}} * \eta_{\text{ад}}} = 95 \text{ кВт}.$$

Разом отримаємо, що витрата компресора  $118 \text{ м}^3/\text{хв}$ , а споживана потужність –  $95 \text{ кВт}$ .

#### 2.4.4 Розрахунок випарника

Для розрахунку випарника будуть потрібні дані температур теплоносія та конденсатора.

Початкові дані:

1. Температура на вході до випарника:  $t_1=15^{\circ}\text{C}$ ;
2. Температура на виході із випарника:  $t_2=10^{\circ}\text{C}$ ;
3. Температура води на вході до понижувальної камери:  $t_{\text{п}}=50^{\circ}\text{C}$ ;
4. Температура води на виході із конденсатора:  $t_{\text{к}}=70^{\circ}\text{C}$ ;
5. Теплопровідність теплового насосу:  $Q = 175 \text{ кВт}$ .

Приймаємо кінцеву температуру у випарнику:

$$t_3=3^{\circ}\text{C}.$$

Тоді, знаючи кінцеву температуру, знайдемо температуру випаровування води у парогенераторі:

$$t_0 = t_2 - t_3 = 7^{\circ}\text{C}.$$

Після цього задаємося кінцевою температурою конденсатора:

$$t_{\text{кк}} = 13^{\circ}\text{C}.$$

Тоді знайдемо температуру конденсатора:

$$t_{\text{к0}} = t_{\text{п}} + t_{\text{кк}} = 63^{\circ}\text{C}.$$

Знаючи дані температури та тиск із таблиці T-S діаграми знайдемо ентальпію на кожній точці:

Точка 1:  $h_1=650 \text{ кДж/кг}$ ;

Точка 2:  $h_2=780 \text{ кДж/кг}$ ;

Точка 3:  $h_3=550 \text{ кДж/кг}$ ;

Точка 4:  $h_4=500 \text{ кДж/кг}$ ;

Точка 5:  $h_5=500 \text{ кДж/кг}$ ;

Тоді знайдемо удільне теплове навантаження випарника:

$$q_0 = h_1 - h_s = 650 - 500 = 150 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Знайдемо удільне теплове навантаження конденсатора:

$$q_k = h_2 - h_3 = 780 - 550 = 230 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Знайдемо удільне теплове навантаження конденсатора понижуючого температу агенту:

$$q_{\text{ох}} = h_3 - h_4 = 550 - 500 = 50 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Знайдемо тепловий баланс:

$$q = q_0 + (h_2 - h_1) = 150 + 130 = 280 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Знайдемо теплове навантаження випарника знаючи витрату та удільне теплове навантаження:

$$Q_{\text{п.г}} = q * G = 2,7 \text{ кВт}.$$

Також знайдемо теплове навантаження для понижуючого температу агенту:

$$Q_{\text{ох}} = q_{\text{ох}} * G = 490 \text{ Вт}.$$

## 2.5 Розрахунок сонячних панелей

У енергоустановці, сонячні панелі відповідають за покриття витрат на освітлення у корпусі. Тому далі буде розрахована потужність, яка використається на освітлення, та кількість енергії, яка витрачається на це.

Корпус університету має 14 поверхів, на кожному з яких є 14 кабінетів та 1 санвузол. Для освітлення приміщення використовуються люмінесцентні лампи та лампи LED.

У коридорі встановлено 15 шт. світильних установок з люмінесцентними лампами, потужність яких складає 36 Вт.

У санвузлі дві лампи LED на 12 Вт.

У середньому на одному поверсі в 9-ти кабінетах використовуються по 8 люмінесцентних ламп потужністю 36 Вт, та в 6-ти кабінетах по 6 ламп LED на 12 Вт.

Далі знайду потужність усіх ламп:

- потужність освітлення у коридорі 1-го поверху:

$$P_k = 15 * 36 = 540 \text{ Вт.}$$

- потужність освітлення у санвузлі 1-го поверху:

$$P_c = 2 * 12 = 24 \text{ Вт.}$$

- потужність освітлення у кабінетах 1-го поверху:

$$P_{\text{каб.}} = (9 * 8 * 36) + (6 * 6 * 12) = 3024 \text{ Вт.}$$

- загальна потужність освітлення у корпусі:

$$P = 14 * (P_k + P_c + P_{\text{каб.}}) = 50 \text{ кВт.}$$

Знаходжу кількість електроенергії, яка використовується на освітлення:

Так як, одразу всі лампи не використовуються, також вони не працюють безперервно, потрібно загальну потужність помножити на поправочний коефіцієнт 0,5:

$$N_d = P * 0.5 = 25 \text{ кВт*год/день.}$$

Навчальний корпус університету працює з понеділка по п'ятницю, в середньому у місяць це 22 дні, тому знайдемо витрату за місяць:

$$N_M = 22 \quad N_D = 550 \text{ кВт*год/місяць.}$$

Тому сонячні панелі повинні виробляти не менше 550 кВт\*год на місяць. А якщо вони будуть виробляти більше – це означає, що від установки буде іти тільки прибуток. Обираємо сонячну енергетичну установку (СЕУ) на 25кВт.

### 2.5.1 Розрахунок продуктивності СЕУ

#### 1.1 Кут нахилу панелей [9]

$$\text{Кут нахилу} = \text{широта} * 0,76 + 3,1^\circ.$$

Широта для м. Дніпро  $48^\circ 27'$  пн. ш

$$\angle = 48^\circ 27' * 0,76 + 3,1 = 39,8^\circ.$$

### 2.5.2 Орієнтація за сторонами світу

Визначення поправочного коефіцієнту  $K_w$  при орієнтації панелей за сторонами світу.

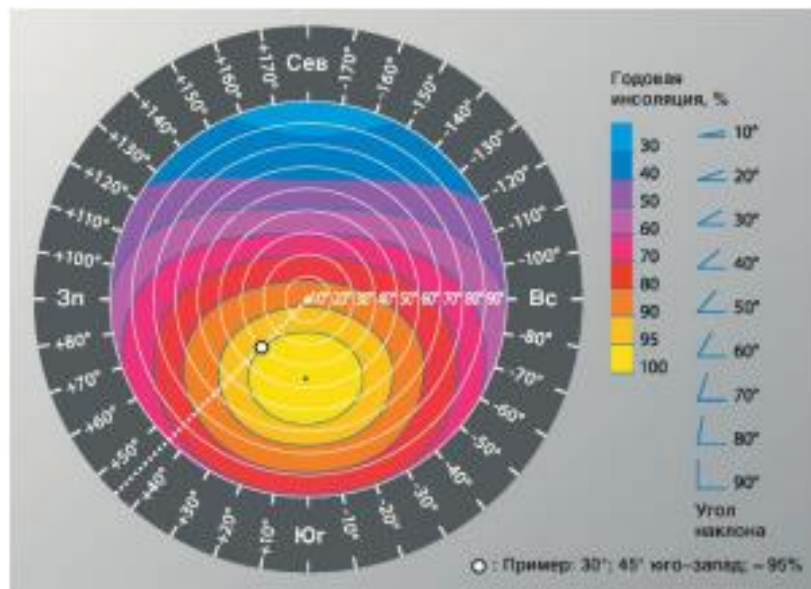


Рисунок 2.3 Визначення поправочного коефіцієнта на розташування сонячних фотомодулів

Широта місцевості становить  $46^{\circ} 28'$  пн.ш., кут нахилу панелей –  $90^{\circ}$  орієнтація на ПД –  $K_w = 0,95$ .

### 2.5.3 Вибір сонячної панелі та інвертора

Таблиця 2.9 Сонячна панель **JA Solar JAP60S01 275Вт/24В**

ККД	16,82%
Номінальна потужність $P_{\max}$	275 Вт
Сортування по потужності	0 / +5 Вт
Напруга холостого ходу $V_{oc}$	38,38 В
Струм короткого замикання $I_{sc}$	9,29 А
Напруга при максимальній потужності $V_{mp}$	31,34 В
Струм при максимальній потужності $I_{mp}$	8,77 А
Тип фотоелемента	полікристалічний кремній
Розміри фотоелемента	156,7 x 156,7 мм
Кількість фотоелементів в модулі	60 шт (6 x 10)
НОСТ	45 С
Температурний коефіцієнт $I_{sc}$	+0,058%/C
Температурний коефіцієнт $V_{oc}$	-0,33%/C
Температурний коефіцієнт $P_{\max}$	-0,41%/C
Максимальна температура модуля	-40...+85 С
Клас вологостійкості	IP67
Кабель	2x1 м / 4 мм
Профіль	Алюміній (анодований)

Кінець таблиці 2.9

Розмір модуля	1650x991x35 мм
Вага модуля	18,2 кг
Гарантія	10 років

Таблиця 2.10 Мережевий інвертор **Huawei Sun 2000-33КТК-А(30кВт)**

Максимальна вхідна потужність постійного струму	30600 Вт
Максимальна вхідна напруга	1100 В
Діапазон напруг МРР	200-1000 В
Максимальний вхідний струм (по входам)	22 А
Номінальна вхідна напруга	620 В
Число незалежних МРР входів	4
Номінальна вихідна потужність змінного струму	30 кВт
Номінальна вихідна напруга змінного струму	0,4 кВ
Вихідна частота змінного струму	50/60 (+/-3) Гц
Максимальний вихідний струм	48 А
Кількість фаз	3
Максимальний ККД	98,60%
Розміри	930x550x283мм
Вага	60 кг
Діапазон робочий температур	-25 С ... +60 С
Гарантія	5 років

### 2.5.4 Номінальні параметри ФЕС

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) - температура модуля при типових умовах експлуатації, яка стало однією з основних характеристик панелей. NOCT визначається за таких умов:

- інсоляція 800 Вт/м<sup>2</sup> ;
- температура повітря 20°C;
- орієнтації модуля на ПД.

Очікувана температура модуля обчислюється з NOCT за формулою:

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 \times (NOCT - 20) \times (0,9 - \eta)$$

Якщо температура елемента для умов PTC визначена, то можна обчислити потужність по PTC з потужності STC за допомогою температурного коефіцієнта (зазначеного в технічних характеристиках) потужності (СТ):  $P_{PTC} = P_{STC} \cdot [1 - C_T (T_{PTC} - 25^\circ C)]$

Наприклад, якісні модулі мають характеристики: - сертифікована STC-потужність 275 Вт; - NOCT = 45 ° C; - ККД  $\eta = 16,82\%$ ; - температурний коефіцієнт потужності  $C_T = 0,41\% / ^\circ C$  (0,0041 в.о.).

Підставивши значення в формули, можна легко підрахувати, що:

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 \times (45 - 20) \cdot (0,9 - 0,16,82) = 45,4 ^\circ C.$$

$$P_{PTC} = 275 \cdot (1 - 0,0041 \cdot (45,4 - 25)) = 252 \text{ Вт}.$$

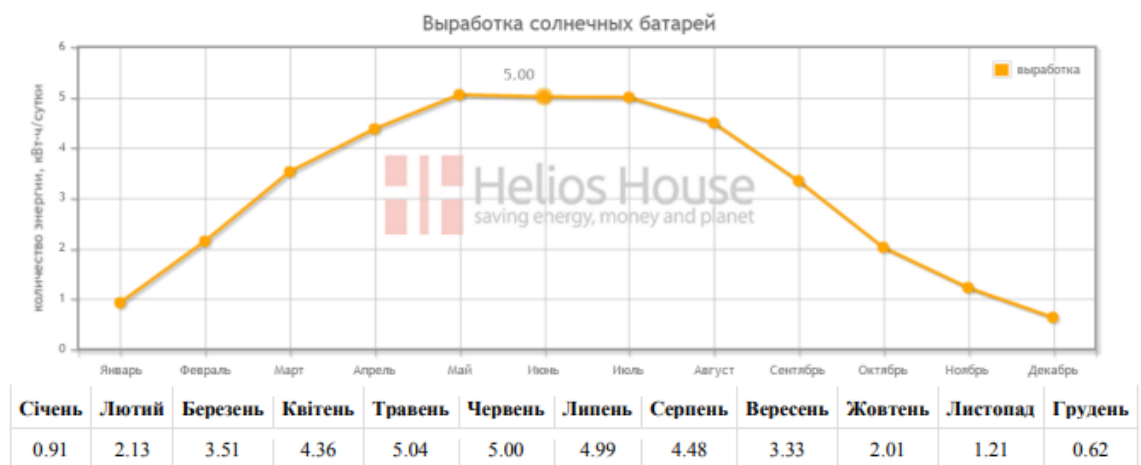


Рисунок 2.4 Вироблення електроенергії СЕУ з 1 м<sup>2</sup> площі панелі

Це складає  $P_{PTC} / P_{STC} = 91,6\%$  від номіналу. Ні один зі стандартів випробувань для фотомодулів не описує їх роботу в реальних умовах. Наприклад, в сонячний зимовий день фотомодуль може видати потужність, яка навіть перевищує номінальну. Так само, необхідно враховувати відомий рівень деградації панелей (20% за 25 років).

### 2.5.5 Розрахунок кількості панелей на лінії інвертора

$$\text{Загальна кількість панелей} = \frac{P_{\text{станції}}}{P_{PTC} * \eta_{\text{інв}} * \eta_{\text{мережі}}} = \frac{25000}{252 * 0,98 * 0,99};$$

Кількість панелей = 102 шт.

Макс. кількість ФЕП на одній лінії інвертора =

$$\frac{\text{Макс вхідне навантаження інвертора}}{\text{Потужність сонячної батареї}} = 35.$$

Кількість сонячних батарей на одній лінії = Загальна кількість панелей / число МРР входів =  $102/3 = 34$  шт.

Сонячні панелі будуть з'єднані між собою паралельно по 34 шт. у одному стрингері, так як вказано на рисунку 2.5

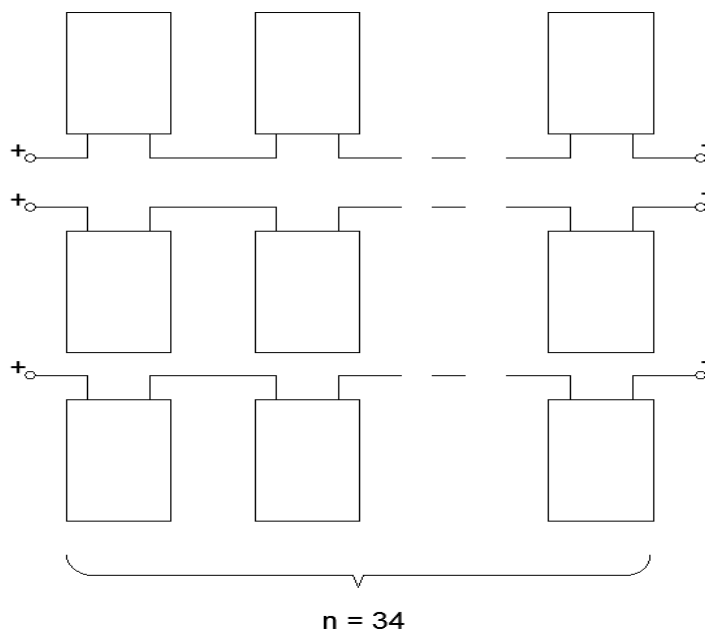


Рисунок 2.5 Принципова схема з'єднання сонячних панелей

### 2.5.6 Розрахунок необхідної ємності акумуляторних батарей

Ємність акумуляторних батарей розраховується, виходячи з вимоги забезпечення об'єкту електроенергією певний час без її поповнення, плюс мати залишковий запас для запобігання повного розряду.

На освітлення корпус витрачає 25кВт\*годин у день, будемо вважати, що для безперебійної роботи освітлення, потрібно виділити пів дня. Тому потрібний запас електроенергії буде дорівнювати 12,5 кВт\*годин.

Розрахую ємність акумулятору, з урахуванням 20% ємності на залишковий запас для запобігання розряду і зменшення періоду експлуатації:

$$C_{акб} = 12,5 \text{ кВт} * \text{год} \times \frac{1,2}{12} \text{ В} = 1250 \text{ А} * \text{год}.$$

### 2.5.7 Вироблення електроенергії СЕУ

Загальна площа панелей = Кількість панелей × Площа панелі;

Загальна площа панелей =  $102 \times 1,6 = 163,2 \text{ м}^2$ ;

Вироблена електроенергія за місяць рахується за формулою (Кількість днів × Загальна площа панелей × Середньомісячний рівень сонячної радіації × ККД<sub>ФЕП</sub>)

Таблиця 2.11 Середньомісячний рівень сонячної радіації, м. Дніпро

Місяць	кВт*год./ (м2*день)
Січень	1,21
Лютий	1,99
Березень	2,98
Квітень	4,05
Травень	5,55
Червень	5,57
Липень	5,7

Кінець таблиці 2.11

Серпень	5,08
Вересень	3,66
Жовтень	2,27
Листопад	1,2
Грудень	0,96
<b>Середнє</b>	<b>3,36</b>

Розрахунок за кожний місяць:

Січень =  $31 \cdot 163,2 \cdot 1,21 \cdot 0,1682 = 1029$  кВт\*год.

Лютий = 1529 кВт\*год.

Березень = 2535 кВт\*год.

Квітень = 3335 кВт\*год.

Травень = 4722 кВт\*год.

Червень = 4586 кВт\*год.

Липень = 4850 кВт\*год.

Серпень = 4322 кВт\*год.

Вересень = 3014 кВт\*год.

Жовтень = 1931 кВт\*год.

Листопад = 988 кВт\*год.

Грудень = 816 кВт\*год.

Грудень – місяць з найменшим обсягом виробленої електроенергії, але він покриває використання електроенергії на освітлення.

В сумі за рік СЕУ буде виробляти 33664 кВт\*год.

## 3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

### Вступ

У даній дипломній роботі проводився розрахунок сонячної теплопостачальної установки на базі сонячної панелі, геліоколектора, сезонного акумулятора тепла, та теплового насосу для 7го корпусу Національного університету «Дніпровська політехніка».

Енергетична установка, яка розглянута у роботі, є актуальною в наш час, коли проходить постійне зростання вартості нафтопродуктів, газу та відповідної сировини. Саме це змушує наш уряд та жителів України все частіше звертати увагу на використання відновлювальної енергії, яка є великим кроком до набуття енергонезалежності та заповнення нестачі традиційних видів палива нашої країни.

Використання установки запропонованої у дипломній роботі, буде першим кроком нашого університету до енергонезалежності країни, також це допоможе заощаджувати мільйони гривень у рік на енергозабезпечення корпусу №7 університету «Дніпровська політехніка».

### 3.1. Розрахунок капітальних витрат

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних засобів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації. [8]

Капітальні інвестиції з реалізації проекту, який був розрахований у дипломній роботі включають:

- витрати на придбання обладнання, техніки, технології, технічних засобів контролю та обліку витрачання ресурсів, приладів діагностики стану обладнання тощо;
- витрати, пов'язані з виконанням монтажно-налагоджувальних робіт;
- витрати на доставку всього обладнання.

При визначенні величини проектних капіталовкладень ( $K_{пр}$ ) можна скористатися формулою:

$$K_{пр} = K_{об} \left( \sum_{i=1}^K C_i \right) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n$$

Де  $K_{об} \left( \sum_{i=1}^K C_i \right)$  - вартість придбання електрообладнання;

$Z_{тзс}$  - транспортно-заготівельні витрати;

$Z_m$  - витрати на монтажні роботи;

$Z_n$  – витрати на налагоджувальні роботи;

Таблиця 3.1 Зведення капітальних витрат

№ з/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Тепловий насос	1	3000000	3000000
2	Геліоколектор	279	10000	2790000
3	Ґрунтовий акумулятор	1	1000000	1000000
4	Сонячна панель	102	3787	386274
5	Інвертор	1	95626	95626
6	Монтажні витрати	1	679000	679000
7	Транспортні витрати	1	169750	169750
8	Налагоджувальні витрати	1	169750	169750
	ВСЬОГО			8362685

Ціни на прилади та додаткові роботи (монтажні, транспортні та налагоджувальні) були взяті з інформації компанії, яка надає та встановлює це обладнання.

### **3.2. Розрахунок експлуатаційних витрат**

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_z$ );
- єдиний соціальний внесок ( $C_c$ );
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж ( $C_T$ );
- вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або витрат електроенергії ( $C_e$ );
- інші експлуатаційні витрати ( $C_{ін}$ ).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_T + C_e + C_{ін}, \text{ грн.}$$

Детально в наступних пунктах розраховані всі витрати (розрахунки проведені у програмі Excel).

#### **3.2.1. Розрахунок амортизаційних відрахувань**

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Строк корисного використання (експлуатації) об'єктів основних засобів і нематеріальних активів визначається підприємством самостійно, виходячи з очікуваних економічних вигод,

технічних і якісних характеристик основного засобу, морального і фізичного зносу, а також інших факторів, які можуть вплинути на можливість використання. Термін корисного використання об'єктів основних засобів для нарахування амортизації, який приймається дипломником, не може бути менше мінімально допустимих термінів корисного використання.

Податковим кодексом України дозволено використовувати прямолінійний (пропорційний) метод амортизації, при якому річна сума амортизації визначається діленням вартості, яка амортизується, на строк корисного використання об'єкта основних засобів. Вартістю основних засобів і нематеріальних активів, що амортизується, є первісна або переоцінена вартість основних засобів і нематеріальних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості:

$$\Phi_a = \Phi_{\pi} - Л$$

де  $\Phi_{\pi}$  – первісна вартість об'єкта основних засобів, яка складає 7271900 гривень;

$Л$  – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів, яка складає 500000 гривень.

$$\Phi_a = 6771900 \text{ грн.}$$

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$H_a = \frac{\Phi_{\pi} - Л}{\Phi_{\pi} \cdot T_{\pi}} \cdot 100, \%$$

де  $T_{\pi}$  – термін корисного використання, який складає 20 років.

$$H_a = 4,65 \%$$

Тоді річні амортизаційні відрахування АО за прямолінійним методом:

$$АО = \frac{\Phi_{\pi} \cdot H_a}{100} = 338595 \text{ грн.}$$

Таблиця 3.2 Розрахунок амортизаційних відрахувань

№ з/п	Найменування	Капітальні інвестиції, тис. грн.	Норма амортизації, %	Сума амортизації, тис. грн.
1.	Проектний варіант	6771900	4,65	338595

### 3.2.2. Розрахунок річного фонду заробітної плати

Розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюється за категоріями персоналу (робітники, КСС), що обслуговує об'єкт проектування, відповідно до їхньої чисельності, режиму роботи, за погодинними тарифними ставками, посадовими окладами, формами і системами оплати праці і преміювання, що застосовують на підприємстві.

За установкою, яка буде працювати у корпусі №7 «Дніпровської політехніки», достатньо догляд одного працівника, так як все працює в автоматизованому режимі.

Номинальний річний фонд робочого часу робітника  $F_H$  визначається відповідно до режиму його роботи (кількістю робочих днів і тривалістю зміни):

$$F_H = (D_K - D_{CB} - D_{ВИХ}) \cdot T_{зм}, \text{ годин,}$$

$$F_H = 2008 \text{ годин.}$$

Таблиця 3.3 Розрахунок річного фонду основної заробітної плати  
обслуговуючого персоналу

№ п/п	Найменування професій робітників	Явочний штат у зміну, осіб.	Обліковий склад з урахуванням змінності роботи, осіб	Годинна тарифна ставка або денна заробітна плата, грн.	Номинальний річний фонд робочого часу, годин	Усього основна зарплата, грн.
1.	Інженер	1	1	8000	2008	96000

Результати розрахунку основної заробітної плати обслуговуючого персоналу представляються у табл. 3.3.

### 3.2.3. Розрахунок відрахувань на соціальні заходи

Єдиний соціальний внесок (ЄСВ) на даний момент в Україні складає 22% від мінімальної заробітної плати, враховуючи, що заробітна плата зараз складає 5000 грн, то ЄСВ складає 1100 грн/місяць.

За рік ЄСВ  $C_c = 13200$  гривень за одного працівника.

### 3.2.4. Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати за формулою:

$$Z_{m.p.} = \sum_{i=1}^n \left( R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot P_i}{T_i} \cdot T_{\phi} \right)$$

де  $n$  – число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту, дорівнює 3;  
 $R_i$  – годинна ставка робітників, що виконують ремонт, дорівнює 70 грн;  
 $t_i$  – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту год./ од., дорівнює 7.

$m_i$  – число ремонтів за рік (наприклад, для закритих електромашин число малих ремонтів - 2, середніх - 1, капітальних - 0,1), дорівнює 1;

$R_c$  – сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання, дорівнює 5;

$S_i$  - вартість однотипних замінних елементів, 1000 дорівнює грн.;

$P$  – кількість однотипних замінних елементів, дорівнює 15;

$T$  – середній термін служби деталей даного типу, дорівнює 5 років.;

$T_{\phi}$  – число годин роботи апаратури на рік, дорівнює 40 год.

$$Z_{т.р} = 367350 \text{ грн.}$$

### 3.2.5. Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу об'єкта проектування та втрат електроенергії за формулою:

$$C_e = W_p * C_e, \text{ грн.},$$

де  $W_p$  – кількість спожитої за рік електроенергії, кВт \* год, дорівнює 422400;

$C_e$  – тариф на електроенергію станом на конкретну дату, грн. / кВт \* год, дорівнює 0,9 – до 100 кВт\*год, 1,68 – більше 100 кВт\*год;

$$C_e = 674150,4 \text{ грн.}$$

### 3.2.6. Визначення інших витрат

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та ін. Згідно з практикою, ці витрати визначаються у розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

$$C_{in} = 3840 \text{ грн.}$$

## 3.3 Визначення річної економії від впровадження науково-технічного рішення

Для визначення річної економії, потрібно буде підрахувати експлуатаційні витрати з новою енергетичною установкою, та витрати без неї.

Порахувавши всі витрати у минулому розділі, можна знайти експлуатаційні витрати при використанні нової енергоустановки:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_t + C_e + C_{in} = 1493135,4 \text{ грн.}$$

Сонячні батареї, які використовуються для покриття використання електричної енергії на освітлення, приносять прибуток за це.

Станція виробляє за рік 33664 кВт\*год, а використовує на освітлення лише 6600 кВт\*год/рік. Тому залишок електроенергії можна продавати по «зеленому тарифу» - 4,59 гривень за кВт\*годину.

$$E_c = (33664 - 6600) * 4,59 = 124223 \text{ грн.}$$

Далі були розраховані сумарні витрати на опалення та гарячу воду без нової установки:

Витрати на опалення складають 1813000 гривень на рік, а витрати на гарячу воду – 2635500 гривень.

$$E_{кр} = 4448500 \text{ грн.}$$

Тому річна економія буде різницею річних витрат:

$$E = E_{кр} - C = 2955364 \text{ грн.}$$

Так як, додатково ми отримуємо прибуток за продажу електроенергії то в сумі економія та прибуток буде складати:

$$E = E + E_c = 3079588 \text{ грн.}$$

### 3.4 Визначення та аналіз показників економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності розглянутих в дипломному проекті технічних і організаційних рішень здійснюється на основі визначення та аналізу наступних показників:

а) розрахункового коефіцієнта ефективності (прибутковості) капітальних витрат  $E_p$ ;

б) терміну окупності капітальних витрат  $T_p$ .

Коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних витрат  $E_p$  показує, скільки гривень додаткового прибутку (економії) приносить одна гривня капітальних витрат:

$$E_p = E / K_{пр} = 0,36 \text{ долі од.}$$

Термін окупності капітальних витрат  $T_p$  показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження прийнятого технічного рішення:

$$T_p = K_{\text{пр}}/E = 2,7 \text{ роки.}$$

Для остаточної оцінки варіантів і вибору найбільш ефективного з них необхідно порівняти розрахункове значення  $E_p$  з нормативним значенням  $E_n$ .

Проект (варіант) капітальних вкладень визнається доцільним за умови

$$E_p > E_n$$

Визначити нормативне значення коефіцієнта ефективності можна також виходячи з прийнятої для підприємства індивідуальної норми прибутковості:

$$E_n = 1/T_{\text{оч}}$$

де  $T_{\text{оч}}$  – очікуваний, прийнятний для підприємства термін окупності капітальних вкладень, дорівнює 6 років.

При цьому варіант визнається економічно доцільним за умови:

$$E_p > 1/T_{\text{оч}}$$

$$0,36 > 0,17$$

Таблиця 3.4 Порівняльна оцінка техніко-економічних показників

№ з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Базовий (альтернативний) варіант	Проектний варіант	Зміни у порівнянні з альтернативним варіантом	
					± (тис. грн)	%
1	2	3	4	5	6	7
1	Капітальні витрати	тис. грн.	0	8362,6	-8362,6	-
2	Експлуатаційні витрати всього	тис. грн.	4448,5	1493	+2955	66%
	у тому числі:					
	* амортизаційні відрахування	тис. грн.	-	338,5	-	-
	* заробітна плата обслуговуючого персоналу	тис. грн.	-	96,2	-	-
	* єдиний соціальний внесок	тис. грн.	-	13,2	-	-
	* технічне обслуговування та поточний ремонт	тис. грн.	-	367,3	-	-
	* вартість споживаної електроенергії	тис. грн.	-	674	-	-
	* інші витрати	тис. грн.	-	3,8	-	-
3	Річна економія всього	тис. грн.	-	-	3080	-
4	Розрахунковий коефіцієнт ефективності	долі од.	-	-	0,36	-
5	Розрахунковий термін окупності капітальних вкладень	років	-	2,7	-	-

### **3.5 Висновок**

Провівши економічний розрахунок запропонованої установки у даному дипломі, було визначено, що встановлення енергоустановки є доцільно економічним.

Термін окупності установки буде складати всього 2,7 роки, що є дуже гарним показником, для окупності дорогої установки.

## ВИСНОВОК

В даній дипломній роботі була розрахована енергетична установка на базі сонячного колектора, сезонного ґрунтового акумулятора тепла та теплового насосу, для опалення та гарячого водопостачання корпусу №7 Національного університету «Дніпровська політехніка», площа якого складає 10360 м<sup>2</sup>.

При розрахунках були розраховані загальні витрати корпусу, які склали 172 кВт, тому потужність енергетичної установки береться за запасом и складає 190 кВт. Енергоустановка включає в себе 270 сонячних колекторів площею 2м<sup>2</sup> кожен, розташовані на криші корпусу. Також установка має: 102 сонячні батареї 275Вт/24В; тепловий насос з електричною потужністю 95 кВт.; ґрунтовий сезонний акумулятор складається з 75 свердловин глибиною 15 м. Установка автоматизована, має датчики температур, розширювальні бачки, та клапани перемикачі, тому вона не потребує постійного нагляду людьми по управлінню процесами опалення та гарячого водопостачання.

При розрахунку економічного розділу витрати на нову установку складають 8,3 мільйонів гривень, а експлуатаційні витрати в рік — 1,5 мільйони грн. Завдяки розрахованій установці у даному дипломі, можна економити у рік 3 мільйони гривень. Окупається енергетична установка всього за 2,5 роки, весь інший час вона працює тільки у плюс, а головне, що установка являється екологічною. Враховуючи що термін експлуатації становить приблизно 20 років, то за цей час можна заощадити до 50 мільйонів гривень.

Встановлення енергетичної установки, яка була розрахована у дипломній роботі є актуальним, бо ціни на добування традиційних видів енергії ростуть з кожним роком, а при використанні установки на базі сонячних колекторів, теплового насосу та ґрунтового акумулятору, ми робимо великий крок до енергетичної незалежності!

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

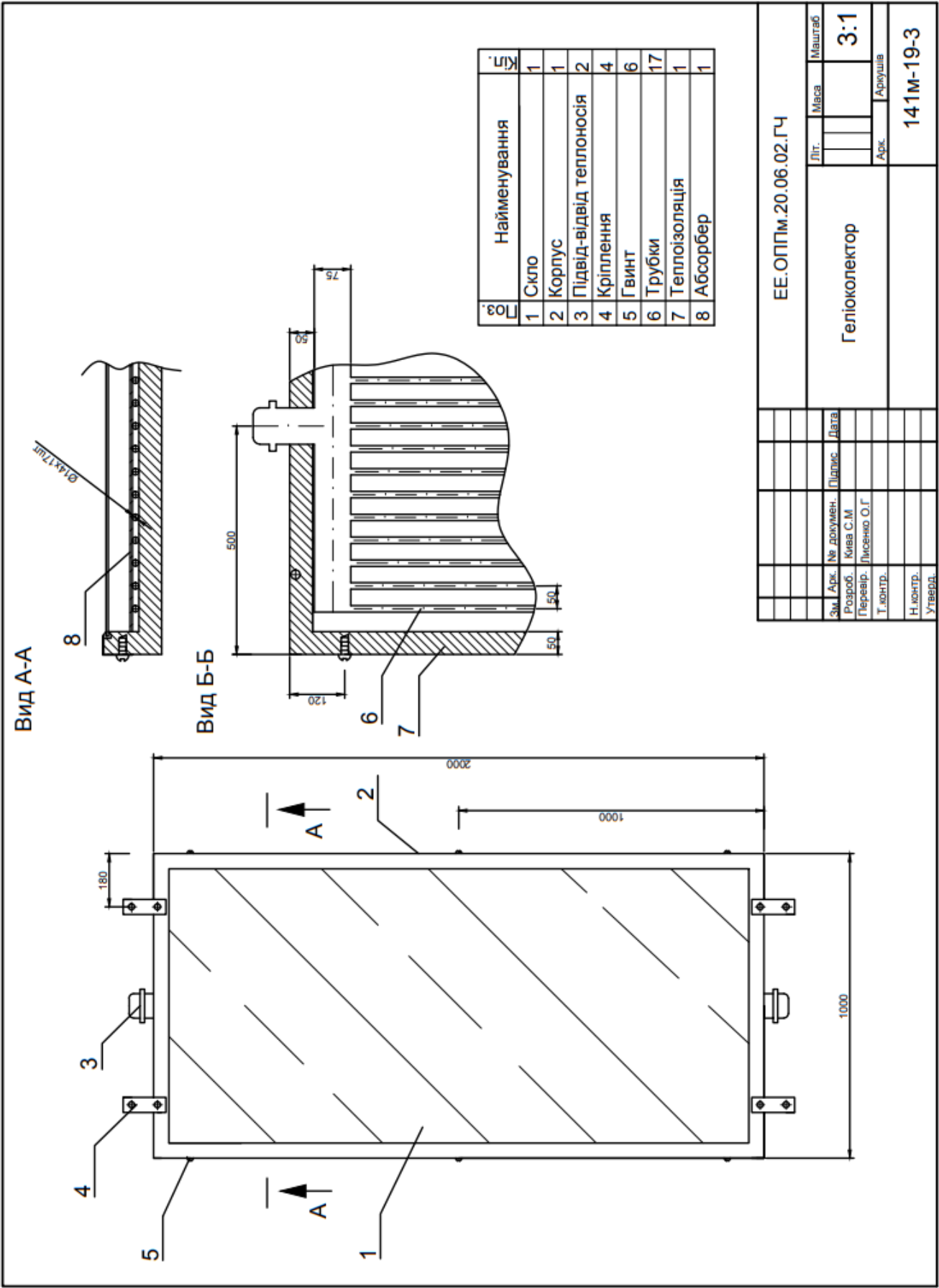
1. Закон України від 16.10.2020 № 555-IV «Про альтернативні джерела енергії» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>
2. Сонячні електростанції України [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://eenergy.com.ua/solar/sonyachni-elektrostantsiyi-ukrayiny-na-mapi/>
3. Застосування сезонного ґрунтового акумулятора [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://ua.waykun.com/articles/zastosuvannya-sezonnogo-gruntovogo-akumuljatora.php>
4. Трофименко А. В. «Методичні вказівки до розрахунку сонячного колектора», «ДНУ», 2006г., 24с.
5. Даффи Дж. А., Бекман У. А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.Мир, 1977.
6. Рей Д. Макмаки. Тепловые насосы. М.: Энергоиздат, 1975.
7. Курылев Е.С, Герасимов Н.А. Примеры, расчеты и лабораторные работы по холодильным установкам. «Машиностроение», 1971г.
8. Методичні вказівки до виконання економічної частини кваліфікаційної роботи для студентів напряму підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладач: Л.В. Тимошенко - Дніпро: НТУ «ДП», 2020. - 18 с.
9. Методичні вказівки та індивідуальні завдання до самостійної роботи з дисципліни “ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ” для студентів спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / І.М. Луценко, Є.В. Кошеленко, П.С. Циган, – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2019. – 20 с.



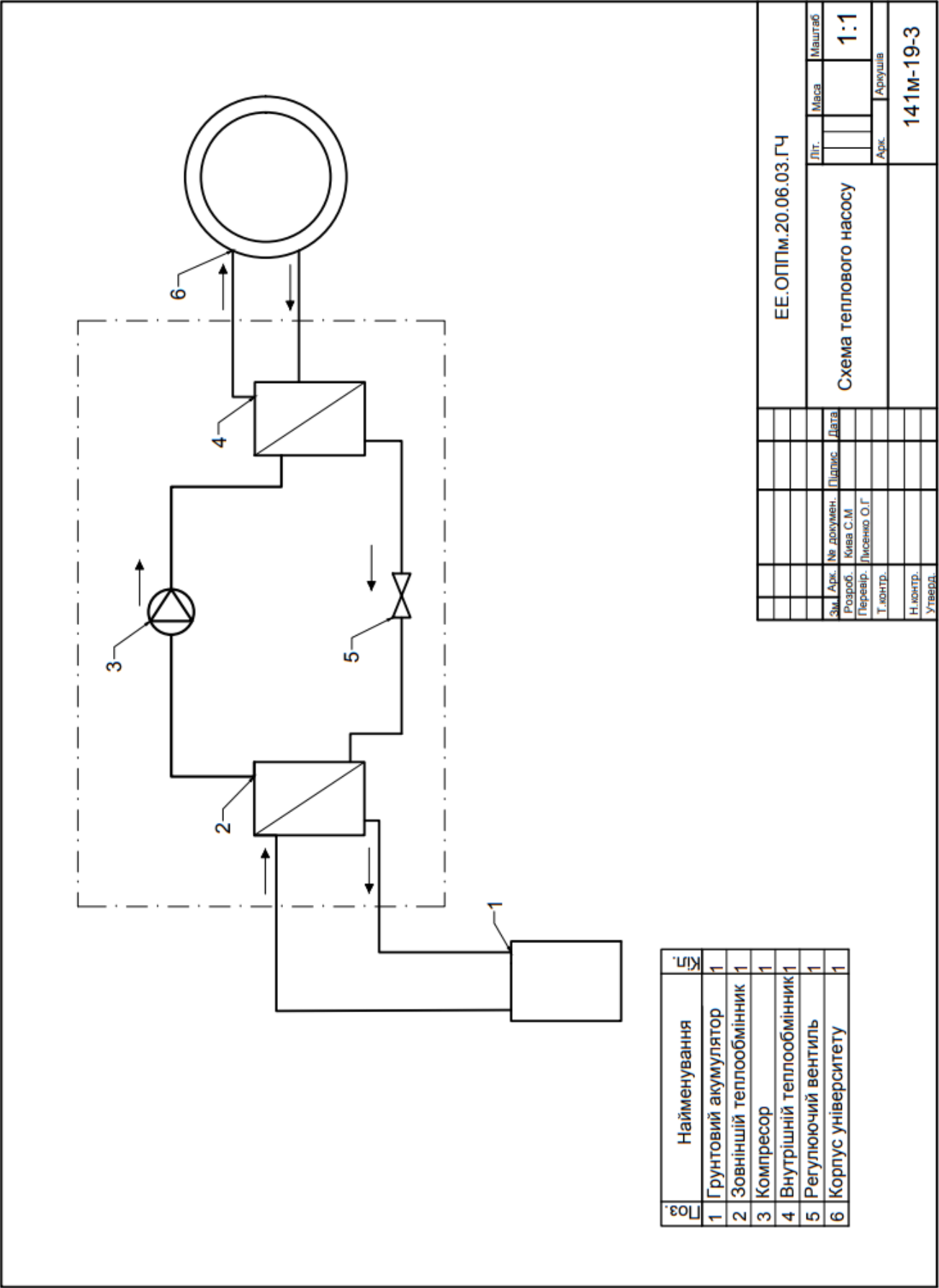
№п.п.	Найменування	Кі.
1	Геліоколектор	1
2	Розширювальний бак	2
3	Датчик температур	2
4	Теплообмінник	1
5	Насос	3
6	Трьох-ходовий клапан	3
7	Оперативний бак	1
8	Тепловий насос	1
9	Корпус університету	1
10	Грунтовий акумулятор	1
11	Двох-ходовий вентиль	2

[illegible]

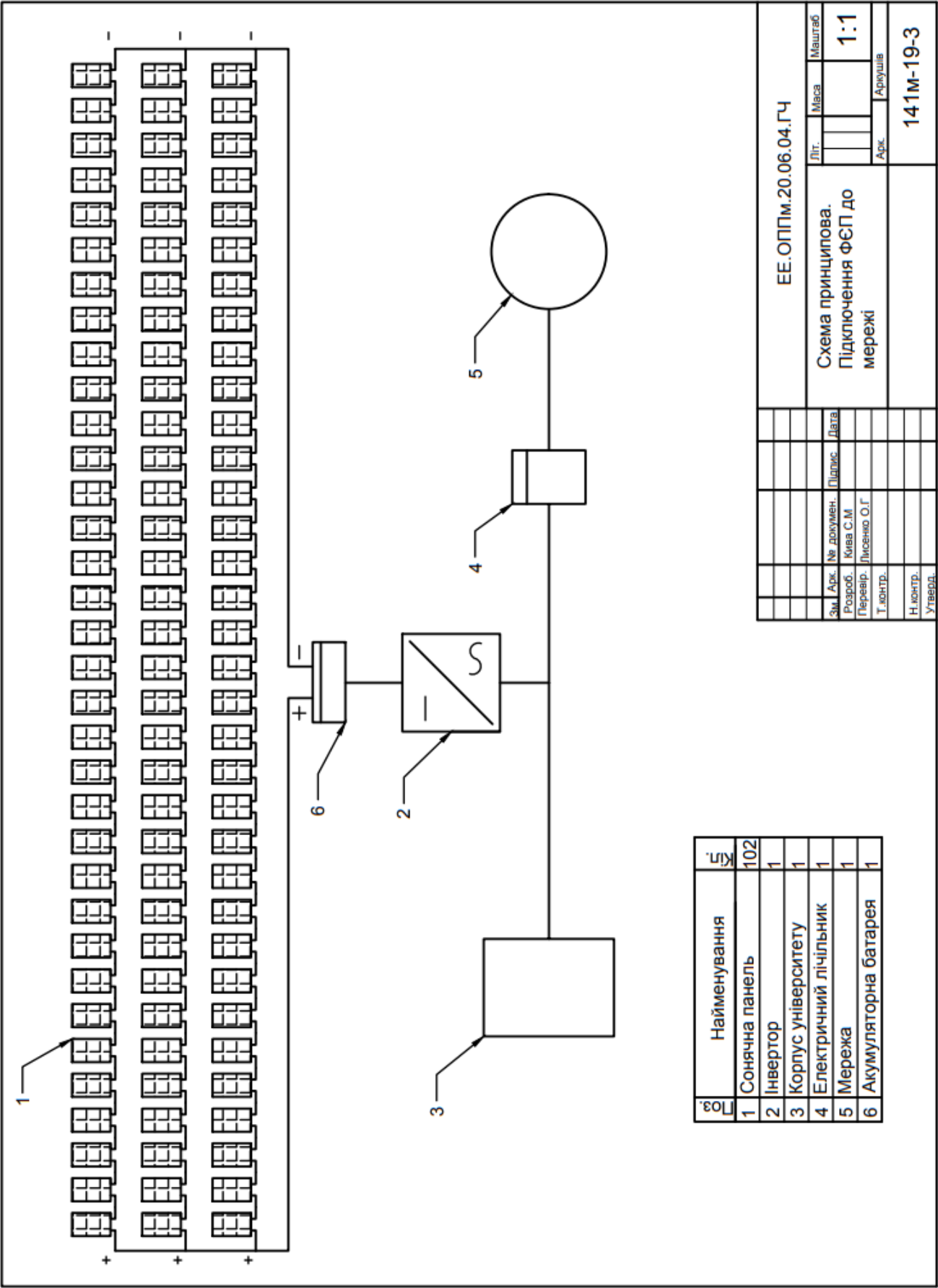
Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
		1	001	Геліоколектор	1	
		2	002	Розширювальний бак	2	
		3	003	Датчик температур	2	
		4	004	Теплообмінник	1	
		5	005	Насос	3	
		6	006	Трьох-ходовий клапан	3	
		7	007	Оперативний бак	1	
		8	008	Тепловий насос	1	
		9	009	Корпус університету	1	
		10	010	Ґрунтовий акумулятор	1	
		11	011	Двох-ходовий вентиль	2	
					ЕЕ.ОППм.20.06.01.ГЧ	
Зам.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Принципова схема установки	
Розроб.		Кива С.М.				
Перев.		Лисенко О.Г				
					Літера	
					Аркуш	Аркушів
					1	1
					141м-19-3	



Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
		1	001	Скло	1	
		2	002	Корпус	1	
		3	003	Підвід-відвід теплоносія	2	
		4	004	Кріплення	4	
		5	005	Гвинт	6	
		6	006	Трубки	17	
		7	007	Теплоізоляція	1	
		8	008	Абсорбер	1	
				ЕЕ.ОПІм.20.06.02.ГЧ		
Зам.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Геліоколектор	
Розроб.	Кива С.М.					
Перев.	Лисенко О.Г					
					141м-19-3	
					Літера	Аркуш
						1
						1



[illegible]



[illegible]

## ДОДАТОК А

Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1					
2			Документація		
3					
4	A4	ЕЕ.ОППм.20.06.ПЗ	Пояснювальна записка	88	
5					
6			Графічні матеріали		
7					
8	A3	ЕЕ.ОППм.20.06.01.ГЧ	Принципова схема енергоустановки	1	
9	A3	ЕЕ.ОППм.20.06.02.ГЧ	Геліоколектор	1	
10	A3	ЕЕ.ОППм.20.06.03.ГЧ	Схема теплового насосу	1	
11	A3	ЕЕ.ОППм.20.06.04.ГЧ	Принципова електрична схема підключення ФЕП до мережі	1	