

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

**„ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ
ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ВИРОБНИЧО-ЖИТЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ
ШЛЯХОМ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ
СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ
ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ”**

Виконав: студент 2 курсу групи Ен-61з
спеціальності 141 „Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Завалин Р.В.

(підпис)

(Прізвище та ініціали)

Керівник: _____ Кригуль Р. Є.
(підпис) (Прізвище та ініціали)

Рецензент: _____ Левонюк В.Р.
(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЗАОЧНОЇ
ТА ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) рівень
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
" ____ " _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Завалину Роману Васильовичу

1. Тема роботи: "ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ВИРОБНИЧО-ЖИТЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ШЛЯХОМ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ"

Керівник роботи: Кригуль Роман Євгенович, к.т.н., доцент

Затверджена наказом по університету від 28.02.2025 року № 140/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 05.12.2025 року.

3. Вихідні дані: Навчальна, наукова, методична та довідкова література. Матеріали мережі "Internet".

4. Перелік питань, які необхідно розробити

4.1. Характеристика об'єкта та інженерних систем.

4.2. Аналіз споживання енергії та оцінка потенціалу відновлюваних джерел енергії.

4.3. Інженерно-технічна реалізація автоматизованої системи теплопостачання об'єкта.

4.4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

4.5. Обґрунтування прийнятих рішень.

Висновки і пропозиції.

Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Ілюстрації до доповіді виконані у формі презентації.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	Городецький І. М. к.т.н., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 28.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Актуальність теми, мета і завдання дослідження	28.02.2025 – 31.03.2025	
2	Аналіз споживання енергії та оцінка потенціалу відновлюваних джерел енергії	1.04.2025 – 31.05.2025	
3	Інженерно-технічна реалізація гібридної системи енергозабезпечення об'єкта	01.06.2025 – 31.08.2025	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.09.2025 – 30.09.2025	
5	Обґрунтування прийнятих рішень	01.10.2025 – 31.10.2025	
6	Завершення оформлення ілюстративної частини роботи	01.11.2025 – 30.11.2025	
7	Завершення роботи в цілому	01.12.2025 – 05.12.2025	

Студент _____ Завалин Р. В.
(підпис)

Керівник роботи _____ Кригуль Р. Є.
(підпис)

УДК 621.311:697.1:681.5:620.91

Завалин Р. В. "Підвищення ефективності системи енергопостачання виробничо-житлових об'єктів шляхом обґрунтування параметрів автоматизованої системи теплопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії". Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський НУВМБ, 2025. 69 с. текстової частини, 7 рисунків, 11 таблиць, 24 джерела, 1 додаток.

В кваліфікаційній роботі розроблено структуру та обґрунтовано параметри структурних компонентів автоматизованої системи теплопостачання об'єктів, яка виконана з використанням сонячної теплової, теплопомпової та вітроелектричної установок. Для обґрунтування енергетичних параметрів тепло- та електрогенерувального обладнання проаналізовано рівень споживання теплової енергії, а також енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії. Для всіх енергетичних складових системи побудовано енергетичні баланси. Виконано аналіз стану безпеки праці при експлуатації енергетичних установок, а також розроблено заходи щодо його покращення. Розглянуто питання захисту в надзвичайних ситуаціях. На базі економічного аналізу виконано оцінку ефективності застосування запропонованої структури автоматизованої системи теплопостачання.

ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ,
ВІТРОЕЛЕКТРИЧНА УСТАНОВКА, ТЕПЛОПОМПОВА УСТАНОВКА,
СОНЯЧНА ТЕПЛОВА УСТАНОВКА, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ,
ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	7
 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ	 9
1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта та регіону його розташування	 9
1.2 Загальні відомості про системи теплопостачання об'єктів	11
1.3 Обґрунтування актуальності теми роботи	15
 2 АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ТА ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	 17
2.1 Визначення необхідної кількості енергії для потреб теплопостачання досліджуваного об'єкта	 17
2.2 Оцінка потенціалу відновлюваних джерел енергії в регіоні дослідження	 23
 3 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТА	 30
3.1 Побудова схеми енергозабезпечення об'єкта	30
3.2 Теплозабезпечення об'єкта за рахунок енергії сонця	33
3.3 Теплозабезпечення об'єкта за рахунок тепла ґрунту	38
3.4 Електрозабезпечення системи теплопостачання за рахунок енергії вітру	 43
3.5 Розробка системи автоматичного керування енергетичними потокami	 46

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	55
4.1 Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації енергетичного обладнання	55
4.2 Моделювання процесів формування і виникнення виробничих небезпек під час експлуатації енергетичних установок	56
4.3 Розробка заходів запобігання травм і аварій під час енергозабезпечення об'єкта дослідження	58
4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях	59
5 ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	61
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	67

ВСТУП

Системи теплопостачання об'єктів відіграють ключову роль у забезпеченні мікроклімату та забезпеченні нормативних умов перебування людей у приміщеннях. Особливістю таких систем є те, що вони потребують до 80% всіх енергетичних ресурсів, які використовуються у побутовому та виробничому секторах. Тому питанню підвищення енергоефективності таких систем повинна приділятися особлива увага.

Небезпечним явищем, особливо в умовах руйнування критичної інфраструктури систем електропостачання є заохочування до використання для потреб теплопостачання електроенергії, якої стає дедалі менше. Вирішити цю проблему частково можливо за рахунок використання відновлюваних джерел енергії, які можуть бути додатковим інструментом забезпечення енергонезалежності споживачів.

Метою роботи є розробка структури та визначення параметрів складових автоматизованої системи теплопостачання виробничо-житлових об'єктів. Ця система може бути побудована на базі обладнання відновлюваної енергетики, зокрема, пропонується використати сонячну теплову, теплопомпову та вітроелектричну установки. Особливість даної системи є застосування єдиної системи керування енергетичними потоками, що дозволить ефективно використати кожен структурний елемент енергетичної системи.

Для реалізації поставленої мети кваліфікаційної роботи необхідно здійснити наступне:

1. визначити обсяги споживання теплової енергії на об'єкті дослідження;
2. проаналізувати енергетичний потенціал сонячного випромінювання, тепла ґрунту та вітрову;

3. розробити структуру автоматизованої системи теплопостачання об'єкта дослідження у складі сонячної теплової, теплопомпової та вітроелектричної установок та визначити їх енергетичні та конструктивні параметри;

4. здійснити аналіз стану з охорони праці під час експлуатації теплоенергетичних установок відновлюваної енергетики та розробити відповідні заходи з її покращення;

5. виконати обґрунтування запропонованих рішень на основі економічних розрахунків.

Об'єкт дослідження – процес теплопостачання виробничих приміщень Буського РЕМ для підвищення енергоефективності та зниження рівня споживання традиційних енергоресурсів.

Предмет дослідження – структура автоматизованої системи теплопостачання об'єкта дослідження, побудованої з використанням обладнання відновлюваної енергетики, зокрема сонячної теплової, теплопомпової та вітроелектричної установок.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ

1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта та регіону його розташування

Буський РЕМ є структурною одиницею ВАТ "Львівобленерго", яка займається постачанням електроенергії споживачам Буської міської територіальної громади в межах Золочівського адміністративного району. Площа постачання електроенергії становить 800 км², для чого використовується 239 підстанцій. Загальна довжина повітряних ліній електропередач становить 1255 км, а довжина кабельних ліній – 10,07 км. Тобто, в Буського РЕМ є достатньо велика площа постачання електроенергії, де переважають повітряні лінії електропередач. Кабельні лінії електропередач можна зафіксувати в нових будівлях і спорудах.

Найбільш поширеним споживачем є сільське населення, яке проживає у 80 селах відносно трьох міст. Стосовно зареєстрованих споживачів, то тут також переважаюче значення має побутовий споживач у кількості 18680 точок відносно 645 точок реєстрації. Як було зазначено, що найбільш потужними споживачами електроенергії є населення, яке споживає понад 50% всієї електроенергії. Характеристика кількості і співвідношення споживання електричної енергії споживачами різних форм власності є наступною: промисловість споживає 8389,16 тис. кВт·год. електроенергії, що становить 20,5%, Сільське господарство 22205,58 тис. кВт·год. електроенергії, що становить 54,1%, інші споживачі - 6187,31 тис. кВт·год. електроенергії, що становить 15,1%. Загалом обсяг споживання електроенергії становить 41026 тис. кВт·год. електроенергії.

Загалом, в районі налічується понад 20 тисяч точок обліку, які контролюються Буським РЕМ, розподіл по класу напруги та кількість точок, є наступним: на класі напруги 110 кВ – 10 точок; на класі напруги 35 кВ – 12

точок; На класі напруги 6-10 кВ – 99 точок; На класі напруги 0,22-0,4 кВ – 20201 точок; в т. ч. у юридичних споживачів – 1372 точок; у побутових споживачів – 18829 точок. Отже, найбільша кількість точок обліку спостерігається на класі напруги 0,22-0,4 кВ у кількості 20201, серед яких більшу питому вагу мають побутові споживачі у кількості 18826.

Основна керівна ланка підприємства складається з трьох чоловік. Це начальник, його заступник з маркетингу та головний інженер. Подальше керівництво здійснюється майстрами дільниць та бригад. Виробнича діяльність досліджуваного підприємства вимагає організації транспортних перевезень для доставки засобів виробництва, комплектуючих, запасних частин та персоналу до місця виконання робіт з монтажу, обслуговування, ремонту або відновлення ліній електропередач, точок приєднання, трансформаторів тощо. Для створення умов з обслуговування, ремонту та зберігання транспортних засобів в переліку будівель і споруд підприємства є автомобільний гараж. Досліджувана будівля автомобільного гаражу знаходиться на території підприємства в межах м. Буськ. До даної будівлі підведені всі необхідні санітарно-технічні та інженерні комунікації, прокладене тверде покриття, виконане озеленення прилеглої території.

Ще у жовтні 2014 року досліджувану будівлю було обстежено фахівцями ПКБ "Львівенергоналадка". Метою обстеження було визначення фактичного стану будівельних конструкцій для паспортизації будівлі та для виконання робіт з реконструкції гаражу. За результатами даної перевірки було окреслено подальші кроки з виконання робіт з реконструкції будівлі гаража. Зокрема, було заплановано виконання відновлювальних робіт по аварійному фундаменту та стіни по осі "Б"; заміну частини дерев'яних конструкцій даху та замінити матеріал покрівлі на оцинкований лист; виконати утеплення стін будівлі та замінити систему опалення; відремонтувати покриття підлоги та виконати санітарну побілку в приміщеннях гаража.

Територія Буської міської територіальної громади розташована у північно-східній частині Львівської області в межах Буго-Стрийської рівнини. Значні площі району вкриті лісом – 24% від усієї території. На території громади налічується 49 ставків та озер загальною площею 453 га. Буська міська територіальна громада охоплює 68 населені пункти: одне місто, одне селище та шістдесят шість сіл. Площа району складає 663,1 км², населення – 30,29 тис. осіб. Територією громади проходить автомагістраль Київ-Чоп.

Досліджуване підприємство розміщене на рівнинній території з переважною меншістю гірських поверхонь в зоні помірно-континентального клімату. Кліматичні умови сприятливі для вирощування сільськогосподарських культур. Найнижча точка температури сягає у зимовий період до –20-25°C на короткий термін часу та найвища точка – у літній період від +25 до +35°C. Найбільша кількість опадів припадає на вересень-жовтень, квітень-травень. Кліматичну ситуацію щодо наявного енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії буде досліджено у наступному розділі.

1.2 Загальні відомості про системи теплопостачання об'єктів

1.2.1 Загальні відомості про системи теплопостачання, які базуються на використанні електроенергії

Сучасні системи теплопостачання дедалі частіше базуються на використанні електричної енергії як основного або допоміжного енергоресурсу. Це пов'язано як із загальною тенденцією до електрифікації теплових процесів, так і з розвитком відновлюваної електрогенерації, яка створює додаткові можливості для заміщення викопного палива. Електрична енергія може перетворюватися на тепло прямим шляхом у електричних котлах, нагрівальних елементах або індукційних та електродних установках, а може застосовуватися для приводу теплових машин, зокрема компресійних

теплових pomp, що дозволяють переносити теплоту з низькотемпературних джерел до споживача з підвищенням рівня температури.

Традиційні електричні системи теплопостачання, побудовані на прямому перетворенні електричної енергії на теплову, відзначаються високою керованістю, простотою конструкції та відсутністю димових газів, однак мають обмежену енергоефективність, оскільки коефіцієнт перетворення в таких системах фактично дорівнює одиниці. Це накладає значні вимоги до встановленої електричної потужності та призводить до високих експлуатаційних витрат у разі застосування дорогих енергоресурсів. У той же час використання електроенергії як «робочого ресурсу» для приводу теплових pomp дозволяє отримати відчутно більшу кількість тепла, ніж витраченої електричної енергії, що принципово змінює підходи до побудови електричних систем теплопостачання.

Важливим аспектом розвитку таких систем є структура електропостачання. Якщо електроенергія надходить виключно із зовнішньої мережі, ефективність і екологічність системи теплопостачання залежать від паливного балансу енергосистеми, тарифної політики та надійності мережевого живлення. Натомість інтеграція локальних джерел відновлюваної електричної енергії, зокрема вітроелектричних установок, дозволяє значною мірою знизити залежність від зовнішньої мережі, а також реалізувати нові алгоритми автоматичного керування, що оптимізують розподіл енергетичних потоків між джерелами і споживачами.

У системах теплопостачання, орієнтованих на електроенергію, особлива роль відводиться накопичувальним ємностям та буферним ємкостям. Наявність акумуляторів тепла у вигляді водяних баків чи теплоємних елементів дає змогу розділяти у часі процеси генерації електроенергії та теплового споживання, особливо тоді, коли локальні джерела мають змінний характер роботи, як у випадку з вітровими установками. Таким чином, загальні відомості про електричні системи теплопостачання включають розуміння не

лише джерел тепла, але і характеру електропостачання, можливості використання відновлювальних ресурсів, ролі теплових акумуляторів та необхідності складніших систем керування.

1.2.2 Системи теплопостачання на базі теплових pomp та сонячних колекторів

Системи теплопостачання, що поєднують теплові помпи та сонячні теплові установки, належать до класу низькотемпературних енергоефективних систем. Їхня принципова особливість полягає у використанні природних і відновлюваних низькопотенційних джерел тепла для покриття основної частини теплового навантаження, тоді як традиційні котли (газові або інші) виконують функцію резерву або пікового покриття навантаження в несприятливих умовах.

Теплова помпа зазвичай працює в гідравлічному контурі з низькотемпературною системою опалення, такою як тепла підлога, стінові або стельові панелі, а також з буферною ємністю, що згладжує піки навантаження і забезпечує стабільний режим роботи компресора. Джерелом тепла для теплової помпи може бути зовнішнє повітря, ґрунт, ґрунтові води або стоки. Чим нижчою є температура джерела і чим вищою температура теплоносія на стороні споживача, тим нижчим буде коефіцієнт перетворення теплової помпи.

Сонячні колектори в таких системах виконують функцію додаткового джерела теплоти, яке особливо ефективно в періоди міжсезоння та в режимах приготування гарячої води. Схема взаємодії сонячних колекторів і теплової помпи може бути різною: сонячний контур може підігрівати джерело для теплової помпи, подавати тепло безпосередньо в буферну ємність або в контур гарячого водопостачання. У кожному випадку системи автоматики повинні забезпечувати оптимальний розподіл теплових потоків з урахуванням температур, доступності сонячної радіації та теплового навантаження.

Поєднання теплової помпи, сонячних колекторів і газового котла створює так звану гібридну систему теплопостачання, де кожне джерело тепла працює в діапазоні умов, найбільш вигідних з точки зору енергоефективності та експлуатаційних витрат. Сонячні колектори мають пріоритет у сприятливих метеоумовах, теплові помпи є основним джерелом у помірних температурних режимах, тоді як газовий котел бере на себе покриття піків або працює в умовах надто низьких температур зовнішнього середовища, за яких робота теплової помпи стає малоефективною або економічно не вигідною. У таких системах ключову роль відіграють алгоритми керування, які визначають, яке джерело тепла активувати в конкретний момент часу.

1.2.3 Особливості ефективності використання теплових pomp з точки зору використання електроенергії

Ефективність теплових pomp традиційно оцінюється за коефіцієнтом перетворення, який визначається відношенням корисної теплової потужності до споживаної електричної потужності. На відміну від електричних котлів, де це відношення наближене до одиниці, для теплових pomp у реальних умовах коефіцієнт може знаходитись у діапазоні від 2–3 для повітряних систем до 4–5 і вище для ґрунтових або водяних, особливо при низькотемпературному опаленні. Це означає, що кожен кіловат-година електроенергії, спожита тепловою помпою, дозволяє подати до системи кілька кіловат-годин тепла, що робить такі системи енергетично привабливими.

Разом з тим, ефективність теплових pomp є величиною змінною в часі і суттєво залежить від температурних умов. При зниженні температури зовнішнього повітря, якщо використовується повітряне джерело, перепад температур між джерелом і споживачем зростає, що призводить до збільшення споживаної електричної потужності компресора, а отже, до зменшення коефіцієнта перетворення. Це означає, що в найхолодніші дні, коли навантаження на систему опалення максимальне, тепла помпа працює в

найменш вигідному режимі. Саме тому часто передбачається бівалентний режим роботи з додатковим газовим котлом або іншими джерелами тепла.

З точки зору використання електроенергії, особливого значення набуває питання джерела живлення теплової помпи. Якщо електроенергія надходить із загальної мережі, ефективність системи опалення слід оцінювати з урахуванням структури генерації в енергосистемі. Якщо ж тепла помпа живиться від локальних відновлюваних джерел електроенергії, таких як вітроустановка або фотоелектрична станція, загальна екологічна та енергетична ефективність системи зростає. Особливо цікавими є рішення, в яких теплову помпу частково або повністю живить вітроелектрична установка, що працює паралельно чи в пріоритеті до мережі.

У такому випадку енергетична ефективність оцінюється не лише через коефіцієнт перетворення теплової помпи, а й через ступінь використання відновлюваної електроенергії, тобто частку тепла, отриманого завдяки вітровій генерації. Важливо також враховувати часову структуру навантаження та генерації: вітрова енергія може бути доступною вночі або в періоди низького теплового навантаження, тому доцільним є використання теплових акумуляторів, що дозволяють накопичувати теплоту в періоди надлишкової генерації і споживати її в години пікового теплового навантаження.

1.3 Обґрунтування актуальності теми роботи

Серед варіантів енергозабезпечення як однієї із складових забезпечення мікроклімату є застосування традиційних видів палива, таких як газоподібне, рідке та тверде. Застосування таких видів палива доволі негативно впливає на навколишнє середовище за рахунок забруднення викидами, які містять значну кількість шкідливих елементів, а також забезпечують теплове забруднення атмосфери. Серед альтернативних варіантів теплозабезпечення є

використання засобів відновлюваної енергетики. Найбільш перспективним є забезпечення теплових процесів опалення і гарячого водопостачання за рахунок енергії сонця та теплоти ґрунту. У першому випадку використовуватиметься сонячна теплова система, яка повинна більше бути зорієнтована на виробництво теплоти для системи гарячого водопостачання та підтримки опалення. У другому випадку йдеться про реалізацію системи опалення на базі теплової помпи. Кожна з перелічених теплових систем має свої позитивні і негативні сторони, які визначають можливість та доцільність їх використання в системах теплозабезпечення об'єктів.

Не менш важливим є електропостачання об'єкта. Зважаючи на тип досліджуваного підприємства, то питання рівня і надійності електропостачання вирішене повністю. Однак, пошук альтернативних варіантів електрозабезпечення будівлі гаражу має право на існування.

В даній дипломній роботі здійснюється розробка системи енергозабезпечення автомобільного гаража за рахунок комплексного використання відновлюваних джерел енергії, як демонстрація можливості використовувати відновлювані джерела енергії на потреби технологічних потреб підприємств.

Зокрема, система комплексного енергозабезпечення складатиметься з сонячної водогрійної установки, теплової помпи та вітроелектричної установки, які працюватимуть на єдиний об'єкт.

2 АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ТА ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

2.1 Визначення необхідної кількості енергії для потреб теплопостачання досліджуваного об'єкта

2.1.1 Визначення необхідної кількості енергії для потреб системи гарячого водопостачання

В основі теплового розрахунку системи гарячого водопостачання є визначення теплового навантаження на цю систему.

Для розрахунку енергії, яку необхідно забезпечити сонячною тепловою системою слід мати характеристику існуючих параметрів температури ґрунту, як одного з вихідних параметрів. Також необхідним є надання відомостей про кількість осіб, які потребуватимуть гарячу воду, рівень температури гарячої води, який слід забезпечити тощо. Теплова характеристика холодної води подана в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Середньомісячні температури водопровідної води $t_{xв}$

Темпе- ратура	Місяць року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{xв}$	5,5	4,8	3,6	4,3	5,8	9,7	14,6	16,7	13,2	10,8	8,7	5,9

Поточне добове теплове навантаження системи гарячого водопостачання розраховуємо за формулою:

$$Q_{2в}^i = 1,2 a c_p \rho (t_{2в} - t_{xв}) \cdot N, \text{ кДж.} \quad (2.1)$$

де a – норма витрати гарячої води на 1 особу в л/добу; c_p – 4,19 кДж/кг·град – питома теплоємність води; ρ – 1,0 кг/л – густина води; N – кількість осіб, чоловік; $t_{2в} = 55^\circ\text{C}$ – температура гарячої води; $t_{xв}$ – температура холодної водопровідної води.

За цією ж формулою розраховуємо помісячні середньодобові навантаження системи гарячого водопостачання з використанням середньомісячного значення температури холодної води $t_{хв}$:

$$Q_{\text{зг}}^{\partial} = 1,2 a c_p \rho (t_{\text{зг}} - t_{\text{хв}}) \cdot N, \text{ кДж} \quad (2.2)$$

$$Q_{\text{зг}}^{\partial} = 1,2 \cdot 25 \cdot 4,19 \cdot 1(45 - 5,5) \cdot 6 = 29790,9 \text{ кДж.}$$

Розраховуємо середньомісячні значення потужності системи гарячого водопостачання в кіловатах:

$$P_{\text{зг}}^{\text{м}} = 1,15 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{зг}}^{\partial}. \quad (2.3)$$

$$P_{\text{зг}}^{\text{м}} = 1,15 \cdot 10^{-5} \cdot 29790,9 = 0,34 \text{ кВт.}$$

У складі сонячної системи гарячого водопостачання необхідно передбачити резервний електронагрівач (ТЕН). Його потужність вибираємо такою, щоб повністю нагріти заданий об'єм води найнижчої температури протягом дії нічного тарифу на електроенергію (6 год.):

$$P_{\text{рез}}^{\text{м}} = \frac{Q_{\text{зг}}^{\partial}}{6} \cdot 0,000278 = Q_{\text{зг}}^{\partial} \cdot 4,6 \cdot 10^{-5} = 4 \cdot P_{\text{зг}}^{\text{м}}. \quad (2.4)$$

$$P_{\text{рез}}^{\text{м}} = 4 \cdot 0,34 = 1,36 \text{ кВт.}$$

Місячне навантаження системи гарячого водопостачання розраховуємо домножуванням середньодобового на кількість днів у місяці n :

$$Q_{\text{зг}}^{\text{м}} = Q_{\text{зг}}^{\partial} \cdot n, \text{ кДж} \quad (2.5)$$

$$Q_{\text{зг}}^{\text{м}} = 29790,9 \cdot 31 = 923517,9 \text{ кДж.}$$

Річне навантаження системи гарячого водопостачання розраховуємо як суму місячних:

$$Q_{\text{зг}}^{\text{р}} = \sum_{i=1}^{12} Q_{\text{зг}}^{\text{м}}, \text{ кДж} \quad (2.6)$$

$$Q_{\text{зг}}^{\text{р}} = 923,49 + 879,28 + 967,82 + 921 + 916,36 + 798,6 + 710,83 + \\ + 661,54 + 719,4 + 799,49 + 821,4 + 884,7 = 10003,91 \text{ МДж.}$$

Результати розрахунку подані в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати розрахунку теплових навантажень системи гарячого водопостачання

№ п/п	Параметр	Місяці												Сума за рік
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	$t_{хв}, ^\circ\text{C}$	5,5	4,8	3,6	4,3	5,8	9,7	14,6	16,7	13,2	10,8	8,7	5,9	
2	$Q_{\text{зв}}^{\partial}, \text{МДж}$	29,79	30,32	31,22	30,7	29,56	26,62	22,93	21,34	23,98	25,79	27,38	29,49	329,12
3	$Q_{\text{зв}}^{\text{м}}, \text{МДж}$	923,49	879,28	967,82	921	916,36	798,6	710,83	661,54	719,4	799,49	821,4	884,7	10003,91
4	$P_{\text{зв}}^{\text{м}}, \text{кВт}$	0,343	0,349	0,359	0,353	0,34	0,306	0,264	0,245	0,276	0,297	0,315	0,339	0,3155
5	$P_{\text{рез}}^{\text{м}}, \text{кВт}$	1,372	1,396	1,436	1,412	1,36	1,224	1,056	0,98	1,104	1,188	1,26	1,356	1,262

2.1.2 Визначення необхідної кількості енергії для потреб системи опалення

Система опалення компенсує тепловтрати будинку, потужність яких оцінюється за формулою

$$P_{тв} = q_0 \cdot S_{б\gamma d} \cdot (t_{вс} - t_{нс}), \quad (2.7)$$

де q_0 – питома потужність тепловтрат, Вт/м²·град; $S_{б\gamma d}$ – опалювальна площа будівлі, м²; $t_{вс}$ – нормована внутрішня температура, °С; $t_{нс}$ – температура навколишнього середовища, °С.

Для проведення цього розрахунку за місяцями року з метою точного визначення енергопотреб необхідно з довідкових даних вибрати температури ґрунту та навколишнього середовища, які подано в табл.2.3.

Таблиця 2.3 - Середньомісячні температури навколишнього середовища $t_{нс}$ та ґрунту $t_{сп}$

Темпе- ратура	Місяць року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{нс}, ^\circ\text{C}$	-5,1	-4,6	0,7	7,7	14,6	17,9	19,2	17,9	14,1	7,5	1,2	-3,7

Таким чином, для січня місяця тепловтрати будуть становити

$$P_{тв} = 4 \cdot 258,38 \cdot (16 - (-3,7)) = 20360,34 \text{ Вт.}$$

Максимальна потужність системи опалення розрахована на забезпечення комфортних умов у найхолоднішу п'ятиденку року для даної місцевості $t_{нс}^{\min}$:

$$P_{он}^{\max} = q_0 \cdot S_{б\gamma d} (t_{вс} - t_{нс}^{\min}), \quad (2.8)$$

$$Q_{он}^M = 4 \cdot 258,38 \cdot (16 - (-5,1)) = 21810 \text{ Вт.}$$

Середньодобове теплове навантаження системи опалення розраховуємо помісячно, через середньомісячну температуру навколишнього середовища $t_{нс}$, наведену в довідниках [10]:

$$Q_{on}^{\partial} = 86,4 q_0 S_{\text{буд}} (t_{\text{вс}} - t_{\text{нс}}). \quad (2.9)$$

$$Q_{on}^{\partial} = \frac{86,4 \cdot 4 \cdot 258,38 \cdot (16 - (-5,1))}{1000} = 1884,15 \text{ МДж.}$$

Місячне теплове навантаження системи опалення розраховуємо домножуванням Q_{on}^{∂} на кількість днів місяця n :

$$Q_{on}^M = Q_{on}^{\partial} \cdot n. \quad (2.10)$$

$$Q_{on}^M = 1884,15 \cdot 31 = 58408,65 \text{ МДж.}$$

Річне теплове навантаження системи опалення розраховуємо як суму теплових місячних навантажень:

$$Q_{on}^P = \sum_{i=1}^{12} Q_{on}^M. \quad (2.11)$$

$$Q_{on}^P = 58408,65 + 53345,5 + 42353,1 + 22234,8 + 3875,31 + (-5089,8) + (-8858,3) + (-5259,5) + 5089,8 + 23529,6 + 39647,4 + 52773,9 = 282050,6 \text{ МДж.}$$

Результати розрахунків, подані у таблиці 2.4.

2.1.3 Визначення сумарної кількості енергії для теплозабезпечення об'єкта

Помісячне теплове навантаження системи теплопостачання розраховуємо як суму:

$$Q_{tn}^M = Q_{on}^M + Q_{\text{зв}}^M. \quad (2.12)$$

$$Q_{tn}^M = 58408,65 + 923,49 = 59332,14 \text{ МДж.}$$

Річне теплове навантаження системи розраховуємо як суму помісячних:

$$Q_{tn}^P = \sum_{i=1}^{12} Q_{tn}^M. \quad (2.13)$$

$$Q_{tn}^P = 59332,14 + 54224,8 + 43321 + 23155,8 + 4791,67 + (-4291,2) + (-8147,4) + (-4597,9) + 5809,2 + 24329,1 + 40468,8 + 53658,6 = 292054,51 \text{ МДж.}$$

Помісячну середню потужність навантаження системи теплопостачання в кіловатах розраховуємо шляхом ділення місячного теплового навантаження у кДж на кількість секунд у місяці:

Таблиця 2.4 - Результати розрахунку теплових навантажень системи опалення без врахування системи гарячого водопостачання та з врахуванням системи гарячого водопостачання

№ п/п	Параметр	Місяці												Сума за рік
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	$Q_{оп}^{\partial}$, МДж	1884,15	1839,5	1366,23	741,16	125,01	-169,66	-285,75	-169,66	169,66	759,02	1321,58	1759,13	9340,37
2	$Q_{оп}^M$, МДж	58408,65	53345,5	42353,1	22234,8	3875,31	-5089,8	-8858,3	-5259,5	5089,8	23529,6	39647,4	52773,9	282050,6
3	$Q_{тн}^M$, МДж	58408,65	53345,5	42353,1	22234,8	3875,31	-5089,8	-8858,3	-5259,5	5089,8	23529,6	39647,4	52773,9	282050,6
4	$P_{тн}^M$, кВт	21,81	21,29	15,81	8,58	1,45	-1,96	-3,31	-1,96	1,96	8,78	15,3	20,36	108,11

№ п/п	Параметр	Місяці												Сума за рік
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3	$Q_{тн}^M$, МДж	59332,14	54224,8	43321	23155,8	4791,67	-4291,2	-8147,4	-4597,9	5809,2	24329,1	40468,8	53658,6	292054,51
4	$P_{тн}^M$, кВт	22,15	21,64	16,17	8,93	1,79	-1,66	-3,04	-1,72	2,24	9,08	15,61	20,7	111,89

$$P_{тн}^м = \frac{Q_{тн}^м}{24 \cdot n \cdot 3600}, \text{ кВт.} \quad (2.14)$$

$$P_{тн}^м = \frac{59332140}{24 \cdot 31 \cdot 3600} = 22,15 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунків подані в таблиці 2.4.

2.2 Оцінка потенціалу відновлюваних джерел енергії в регіоні дослідження

Оцінка потенціалу відновлюваних джерел енергії в регіоні дослідження зазвичай виконується з використанням довідникових матеріалів, які містять статистичні дані за велику кількість років, і які характеризуються відносно доброю кореляцією з поточним кліматичним станом.

Ми ж скористаємося альтернативним підходом до отримання інформації про параметри енергетичних потоків відновлюваних джерел енергії, який вирізняється максимальною простотою та оперативністю реалізації. Йдеться про використання відкритих метеорологічних даних, що надаються Національним аерокосмічним агентством США (NASA). Для доступу до цих даних необхідно відкрити інтернет-ресурс NASA POWER за відповідною веб-адресою та перейти до розділу Data Access Viewer, призначеного для перегляду й формування вибірок з бази даних.

Після завантаження інтерфейсу у лівій частині робочого вікна обирається режим Single Point, який дозволяє отримувати дані для конкретної географічної точки. Для зручності подальших дій цю панель доцільно розгорнути вниз, що спрощує навігацію між параметрами.

У полі User Community зі спадного списку задається категорія користувача Renewable Energy, що оптимізує перелік доступних метеорологічних змінних для задач відновлюваної енергетики. Далі в розділі

Temporal Level встановлюється тип часової агрегації Climatology, який забезпечує отримання усереднених кліматичних характеристик.

На наступному етапі визначається місце розташування об'єкта дослідження. Для цього на інтерактивній мапі вибирається відповідна точка шляхом переміщення карти за допомогою лівої кнопки миші та фіксації координат у потрібному регіоні. Після цього в блоці Parameters з ієрархічного переліку обираються необхідні метеорологічні показники, зокрема значення: сонячного випромінювання, швидкості вітру на висотах 10 метрів над рівнем поверхні та температури повітря.

Завершальним кроком є налаштування способу експорту даних. У розділі Data Download задається формат файлу для збереження результатів, при цьому доцільно обрати формат CSV, який забезпечує зручне подальше опрацювання та аналіз даних у програмному середовищі Microsoft Excel.

На завершальному етапі необхідно підтвердити обрані налаштування, активувавши кнопку Submit. Після цього система автоматично виконує формування запиту відповідно до заданих параметрів. За результатами обробки буде згенеровано набір метеорологічних даних, після чого користувачеві буде запропоновано завантажити файл із вибраним типом інформації у заздалегідь визначеному форматі.

2.2.1 Оцінка потенціалу сонячного випромінювання

Потенціал сонячного випромінювання оцінюється за даними, отриманими з сервісу за методикою, викладеною вище. Зокрема, отримано табличні значення рівня надходження сонячного випромінювання на сприймаючу площину сонячного колектора, який встановлений у південному напрямку з різними кутами. Зокрема, є відомості про горизонтальне та вертикальне розташування колектора, розташування під кутом, який відповідає куту географічної широти, а також два проміжні кути, які на 15° менший та більший від кута географічної широти. Щоправда дані надані у енергетичних одиницях $\text{кВт}\cdot\text{год.}/\text{м}^2/\text{день}$, що для наших розрахунків

потребуватиме переводу у МДж/м²/день, для чого отримані значення слід помножити на коефіцієнт відповідності 3,6.

Важливим є вибір кута нахилу розташування сонячного колектора, оскільки від цього буде частково залежати його продуктивність. Зав рекомендаціями, які стосуються сонячної теплоенергетики слід вибрати більший кут, який приблизно відповідає 65°. Це означає, що така система буде краще працювати взимку, коли сонячний потенціал є дещо меншим, і буде достатньо продуктивним влітку, коли сонячний потенціал є навіть надмірним. В табл. 2.5, подано результати обстеження сонячного енергетичного потенціалу.

Таблиця 2.5 - Середньоденне надходження сонячного випромінювання (кВт·год./м²/день)

Lat 49.97 Lon 24.61	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
SI_EF_TILTED_SUR-FACE_LAT_PLUS15	5,54	8,28	13,32	13,99	16,93	17,62	17,89	16,89	15,54	10,72	5,37	4,02

Для визначення місячного потенціалу слід добове значення помножити на кількість днів у поточному місяці за формулою:

$$H_{\beta}^M = nH_{\beta}^{\partial}, \text{ МДж/м}^2. \quad (2.15)$$

Річний потенціал є сумою всіх місячних значень. Тобто, можна скористатися формулою:

$$H_{\beta}^P = \sum_{i=1}^{12} RH_{\beta}^i, \text{ МДж/м}^2. \quad (2.16)$$

Підставивши числові значення у формули (2.15–2.16) отримаємо

$$H_{\beta}^M = 31 \cdot 5,54 = 171,74 \text{ МДж/м}^2.$$

$$H_{\beta}^P = 171,74 + 240,12 + 412,92 + 419,7 + 524,83 + 528,6 + 554,59 + 523,59 + \\ + 466,2 + 332,32 + 161,1 + 120,6 = 4456,3 \text{ МДж/м}^2.$$

2.2.2 Потенціал використання енергії вітру

Величина енергії вітрового потоку для кожного окремого місяця визначається за відповідною розрахунковою формулою.

$$W_j = 0,61 \cdot F \cdot v_\partial^3 \cdot T_j, \quad (2.17)$$

де F – площа, перпендикулярна до напрямку вітру, м^2 ; v_∂ – діюче значення швидкості вітру, м/с ; T_j – період часу протягом j -го місяця, днів.

Діючу швидкість вітру (v_∂) можна подати у вигляді емпіричної лінійної функції

$$v_\partial = 0,638 + 1,082 \cdot v_c. \quad (2.18)$$

Очевидно, що сумарна енергія вітру, віднесена до одиниці площі та визначена за всі місяці року, дорівнюватиме відповідній розрахунковій величині

$$W = \sum_{i=1}^{12} W_j. \quad (2.19)$$

$$W = 8,22 + 5,9 + 6,57 + 4,94 + 2,89 + 3,01 + 2,55 + 1,86 +$$

$$+ 2,89 + 4,32 + 6,86 + 6,97 = 56,98 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Розрахунки за поданою вище методикою подано в табл. 2.6.

Слід зазначити, що розрахунок енергетичного потенціалу вітру здійснювався для вітроелектричної установки з урахуванням коефіцієнта використання енергії вітру, а також коефіцієнтів корисної дії мультиплікатора, генератора та системи акумулювання енергії.

2.2.3 Оцінка потенціалу використання тепла ґрунту

Ґрунт характеризується високою здатністю до акумулювання сонячної енергії. Надходження цієї енергії відбувається як безпосередньо у вигляді сонячного випромінювання, так і опосередковано – у формі тепла, що передається з опадами або з навколишнього повітря. Накопичене в ґрунті тепло відбирається за допомогою горизонтально укладених ґрунтових теплообмінників (ґрунтових колекторів) або вертикально встановлених теплообмінників (ґрунтових зондів) і передається у допоміжний контур з

теплоносієм (розсольний контур), з якого тепла енергія надходить до робочого середовища теплової помпи.

Таблиця 2.6

Розрахункові значення вітрового енергетичного потенціалу в регіоні

Місяць року	Середня швидкість вітру, м/с	Діюче значення швидкості вітру, м/с	Кількість днів в місяці	Енергія вітру за місяць, кВт·год.
1	3,25	4,15	31	9,82
2	2,92	3,8	29	7,05
3	2,97	3,85	31	7,84
4	2,68	3,54	30	5,9
5	2,12	2,93	31	3,45
6	2,18	3	30	3,59
7	2,01	2,81	31	3,05
8	1,75	2,53	31	2,22
9	2,15	2,96	30	3,45
10	2,51	3,35	31	5,16
11	3,06	3,95	30	8,19
12	3,08	3,97	30	8,32
Разом	2,56	3,4	365	68,04

У разі розгляду ґрунту як джерела теплоти під його верхнім шаром зазвичай мають на увазі шар завтовшки приблизно 1,2–1,5 м. Відбір теплової енергії здійснюється за допомогою теплообмінника, який прокладається на вільній від забудови ділянці поблизу будівлі, що потребує опалення. Джерелом ґрунтового тепла є акумульована сонячна енергія, яка надходить у ґрунт унаслідок прямого нагрівання сонячним випромінюванням, теплообміну з повітрям та впливу атмосферних опадів. Окрім цього, ґрунт виступає джерелом теплоти, що забезпечує відносно швидку регенерацію охолоджених шарів після завершення опалювального періоду. При цьому питома потужність тепловідбору з ґрунту становить орієнтовно 10–35 Вт/м² для горизонтальних теплообмінників та 20–100 Вт/м² – для вертикальних.

Під час оцінювання енергетичного потенціалу ґрунту необхідно враховувати сезонні коливання його температури, зумовлені тепловим виснаженням у процесі відбору теплоти для роботи теплової помпи. Для визначення цього потенціалу слід мати вихідні параметри теплопомпової установки, зокрема показники теплопродуктивності, холодопродуктивності та потужності електроприводу, між якими існує відповідна функціональна залежність:

$$Q_x = Q_{wp} - P_{wp}, \quad (2.20)$$

де Q_x – холодопродуктивність теплової помпи, кВт; Q_{wp} – теплопродуктивність теплової помпи, кВт; P_{wp} – споживана потужність теплової помпи, кВт.

Теплотехнічний розрахунок параметрів теплопомпової установки доцільно розпочати з визначення потреби будівлі в теплоті для системи опалення. Її можна оцінити за спрощеною методикою, використовуючи питомий коефіцієнт теплоспоживання, який для даного об'єкта приймаємо на рівні 75 Вт/м². За загальної корисної площі 258 м² розрахункова тепла потреба становитиме 19 350 Вт. Відповідно до стандартного ряду теплових pomp обираємо установку типу BW220 з номінальною тепловою потужністю 21 600 Вт.

Таким чином, холодопродуктивність буде становити

$$Q_x = 21600 - 4800 = 16800 \text{ Вт.}$$

Для прийнятого значення питомої потужності відбору теплоти з ґрунту площу, яку необхідно передбачити для облаштування горизонтального теплообмінника, можна визначити за відповідною розрахунковою формулою:

$$F_z = \frac{Q_x}{q_z}, \quad (2.21)$$

де q_z – питома потужність відбору тепла з ґрунту для горизонтального теплообмінника, Вт/м².

Отже,

$$F_2 = \frac{16800}{25} = 672 \text{ м}^2.$$

Наступним етапом є розрахунок сумарної довжини трубопроводу для влаштування горизонтального теплообмінника за формулою:

$$L_2 = F_2 \cdot n_2, \quad (2.22)$$

де n_2 – довжина труби, що припадає на 1 м² площі ґрунту, м.

$$L_2 = 672 \cdot 1,43 = 960,96 \text{ м.}$$

З урахуванням того, що довжина однієї гілки трубопроводу має становити орієнтовно 110 м, кількість гілок, необхідних для облаштування горизонтального теплообмінника, дорівнюватиме 9 шт. Для визначення параметрів системи з вертикальними зондами довжину трубопроводу доцільно розраховувати на основі потрібної холодопродуктивності теплової помпи та прийнятої питомої потужності відбору теплоти з ґрунту за відповідною формулою:

$$L_3 = \frac{Q_x}{q_6}, \quad (2.23)$$

де q_6 – питома теплова потужність ґрунту вертикального зонда, Вт/м².

$$L_3 = \frac{16800}{45} = 373,3 \text{ м.}$$

Отже, для облаштування системи з вертикальними зондами необхідно було б використати три гілки трубопроводу довжиною по 124,4 м кожна. Вибір типу теплообмінника здійснюється з урахуванням двох основних взаємопротилежних чинників: обмеженості площі для розміщення горизонтального теплообмінника та вартості його влаштування. З огляду на прагнення мінімізувати початкові капітальні витрати на монтаж теплопомпової системи, а також з урахуванням наявності достатньої вільної території поблизу будівлі, найбільш доцільним рішенням є застосування горизонтальних ґрунтових колекторів.

3 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТА

3.1 Побудова схеми енергозабезпечення об'єкта

При проектуванні систем енергозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії виникають питання побудови раціональної структури. Це пов'язане, в першу чергу, з тим, що ресурси відновлюваних джерел характеризуються миттєвою, годинною, добовою та сезонною нерівномірністю.

Зокрема, аналіз помісячного надходження сонячної енергії свідчить про певну сезонну нерегулярність: влітку енергії є більше, а взимку – менше. Крім того слід відмітити і суттєву добову нерівномірність, яка викликана наявністю темного періоду доби. Не менш важливим є і аналіз миттєвої нерівномірності, яка викликана наявністю природних кліматичних умов, зокрема, наявністю хмар.

Ситуація, яка є з можливим використанням енергії теплоти ґрунту, можливо є найбільш стабільною в добовому, і навіть в місячному циклі роботи тепло помпової установки. Певна нерівномірність роботи, яка однак, відображається лише у зниженні рівня коефіцієнта перетворення, що викликається збільшенням витрати електроенергії на привід компресора, зумовлена тепловим виснаженням ґрунту, як акумулятора теплоти. Певне зниження ефективності роботи теплової помпи, однак не впливає на високу надійність та стабільність роботи цієї установки. Тому цей засіб відновлюваної енергетики можна вважати найбільш надійним.

Стосовно ситуація, яка спостерігається у вітроенергетиці, то тут, як і в сонячній енергетиці спостерігається значна нерівномірність та нестабільність у роботі агрегатів. Якщо миттєва та годинна нерівномірність може мати випадковий характер, то сезонна нерівномірність є чітко визначена, і вона має динаміку зміни, прямо протилежну до сонячної енергетики.

Всі ці аспекти необхідно враховувати для того, щоб побудувати систему енергозабезпечення об'єктів будь-якого спрямування. За загальним надходженням енергетичних потоків та виробничою потребою можна обґрунтувати реалізацію системи комплексного енергозабезпечення, до складу якої входить теплова помпа, сонячна тепла система та вітроелектрична установка (рис. 3.1).

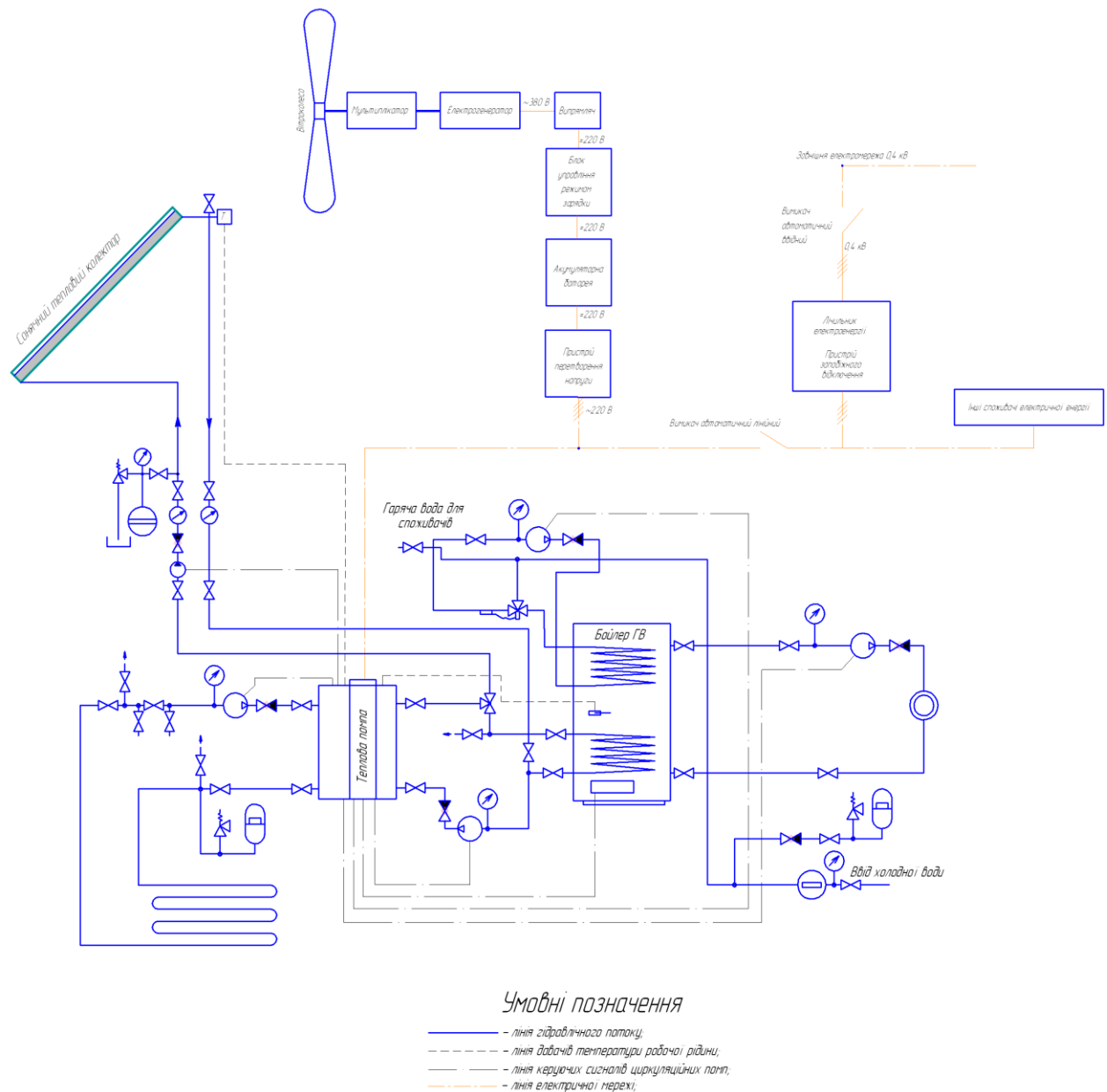


Рисунок 3.1 – Схема системи енергозабезпечення автомобільного гаража

Розглянемо роботу даної системи за основними етапами її роботи.

Для потреб системи опалення, а також часткового покриття нестачі енергії для гарячого водопостачання в зимовий період застосовано теплопомпову установку. Теплова помпа працює на теплообмінник, який також виконує функцію бака-акумулятора тепла. Особливо цінним є застосування такого пристрою для умови, коли робота теплової помпи планується в нічний час, коли власне і є найбільша потреба у теплі. Позитивним моментом за такої роботи помпи (у випадку її живлення від зовнішньої електромережі) є можливість застосування двотарифного лічильника електроенергії, що дасть можливість суттєво зменшити вартість електроенергії на привід електродвигуна теплової помпи.

Для забезпечення потреб гарячого водопостачання використано сонячну теплову систему, яка працює на бак-акумулятор тепла. До внутрішньої порожнини бака-акумулятора на вході приєднано трубопровід холодної води з централізованої мережі, а на виході – трубопровід гарячого водопостачання. Передача теплоти від сонячної теплової системи здійснюється через змішувальний теплообмінник, що розташований всередині бака-акумулятора.

В періоди, коли є надлишок теплової енергії, вона може бути використана для підтримки системи опалення.

Для генерування електричної енергії, яку споживатиме теплова помпа застосовано вітроелектричну установку, яка через ланку постійного струму генерує стабілізовану синусоїдальну напругу змінного струму. Лише у випадки, коли рівень споживання електроенергії тепловою помпою буде перевищувати можливу генерацію електроенергії від вітроустановки відбуватиметься перемикання на живлення від зовнішньої електромережі. Надлишок виробленої електроенергії буде направлено на живлення електрообладнання у досліджуваному об'єкті. За умов такої роботи комбінованої системи енергозабезпечення можливим є досягнення високого рівня надійності роботи всіх систем, які є у її складі.

3.2 Теплозабезпечення об'єкта за рахунок енергії сонця

3.2.1 Визначення кількості сприймаючих елементів

Під час проектування сонячних систем тепlopостачання використовують наближені методи, що дозволяють отримати близькі до достовірних значення робочих характеристик, але за дотримання нижче перелічених умов [15]: геліоколектор має робочі характеристики близькі до базових (стандартних); кут нахилу поверхні ГК до горизонту β відповідає оптимальному; питомий об'єм теплоаккумулятора повинен відповідати рекомендованим вимогам. Наприклад, для системи опалення $V_a = 50$ л на 1 м^2 опалювальної площі.

Розраховуємо сумарну площу геліоколекторів за формулою:

$$S = \frac{1,7 \cdot Q_{\text{сб}}^c}{H_{\beta}^c}, \text{ м}^2 \quad (3.1)$$

$$S = \frac{1,7 \cdot 10004}{6997,11} = 2,43 \text{ м}^2.$$

Визначаємо кількість стандартних геліоколекторів площею $S_0 = 1,88 \text{ м}^2$:

$$k = \frac{S}{S_0}, \quad (3.2)$$

$$k = \frac{2,43}{1,88} = 1,29 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість колекторів рівним 3 шт., у зв'язку з необхідністю зниження рівня навантаження на теплову помпу.

3.2.2 Розрахунок теплопродуктивності сонячних колекторів

Ефективність роботи геліоколекторів в реальних умовах експлуатації прийнято оцінювати питомою теплопродуктивністю $q_{ГК}^0$ тобто середньоденним (протягом місяця) виробництвом теплової енергії одним м^2 його сприймаючої поверхні. Її розраховуємо за формулою:

$$q_{ГК}^{\partial} = H_{\beta}^{\partial} \eta_0 (1 - aP + bP^2), \text{ МДж/м}^2. \quad (3.3)$$

Коефіцієнти a і b вибираються відповідно до конструктивних і паспортних характеристик ГК, а параметр P відображає умови його роботи в реальних умовах мінливої хмарності й розраховується за формулою:

$$P = \frac{t_{хв} - t_{нс}}{\kappa_{я}}, \quad (3.4)$$

де $\kappa_{я}$ — коефіцієнт ясності (хмарності) атмосфери, який дорівнює відношенню надходжень сонячної енергії на горизонтальну поверхню — сумарної приземної H_{th} і позаатмосферної H_0 :

$$\kappa_{я} = \frac{H_{th}}{H_0}. \quad (3.5)$$

Розраховуємо середньомісячні коефіцієнти ясності атмосфери $\kappa_{я}$.

Розраховуємо середньомісячні значення параметра P .

Значення параметрів рівняння (3.3) η_0 , a і b для колектора з одинарним застосуванням і селективно-поглинаючою поверхнею приймаємо рівними (згідно з [15, 16]) : $\eta_0=0,813$, $a= 0,007$, $b=1,25 \cdot 10^{-5}$. Середньоденні значення H_{β}^{∂} (у МДж/м²) вибираємо із таблиці 2.1. Отримані дані підставляємо у рівняння (3.3) і розраховуємо середньоденні значення питомої теплопродуктивності $q_{ГК}^{\partial}$.

Підставивши числові значення у формули (3.5) – (3.3) отримаємо для січня місяця

$$\kappa_{я} = \frac{5,54}{9} = 0,62;$$

$$P = \frac{5,5 - -5,1}{0,62} = 17,1;$$

$$q_{ГК}^{\partial} = 5,54 \cdot 0,813 \cdot (1 - 0,007 \cdot 17,1 + 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot 17,1^2) = 3,98 \text{ МДж}.$$

Результати розрахунків заносимо у табл. 3.1.

Особливістю розрахованої системи тепlopостачання є нерівномірна потужність генерування теплової енергії протягом року при практично

сталому тепловому навантаженні системи гарячого водопостачання. Сезонну нерівномірність знаходження теплової енергії можна частково згладити зміною кута нахилу геліоколектора до горизонту β . Але при цьому зменшується річний об'єм виробництва тепла [12]. Збільшення кількості геліоколекторів підвищить надійність системи тепlopостачання і розширить сезон використання сонячної енергії, але за рахунок подорожчання установки. І навпаки: при зменшенні сумарної площі геліоколектора термін ефективної роботи сонячних установок обмежується лише теплим періодом року. Тому остаточні рекомендації щодо робочих параметрів проєктованих сонячних установок складають на підставі аналізу помісячних балансів енергії, які доцільно представити у наступних формах.

Розраховуємо помісячне виробництво тепла сонячною системою гарячого тепlopостачання загальною площею S_k та числом днів у місяці n за формулою:

$$H_{ГК}^м = q_{ГК}^{\partial} \cdot S_k \cdot n, \text{ МДж.} \quad (3.6)$$

$$H_{ГК}^м = 3,98 \cdot 1,88 \cdot 3 \cdot 31 = 695,86 \text{ МДж.}$$

Будуємо у спільній системі координат річні графіки помісячного виробітку теплової енергії сонячною системою $H_{ГК}^м$ за формулою (3.6) і теплового навантаження системи гарячого водопостачання $Q_{\text{зв}}^м$, за даними, поміщеними в табл.2.2.

Графічним інтегруванням (порівнянням площ) або розрахунком різниць:

$$\Delta H^м = H_{ГК}^м - Q_{\text{зв}}^м, \text{ МДж} \quad (3.7)$$

оцінюємо помісячні баланси теплової енергії та робиться висновок про: відповідність помісячного надходження сонячної енергії з розрахованої кількості геліоколекторів потребам системи гарячого водопостачання будинку; кількість електро- або теплової енергії, необхідної для компенсації недостатньої потужності геліоколекторів у покритті потреб гарячого водопостачання у періоди зниженого рівня сонячної радіації; частку сонячної

Таблиця 3.1 - Результати розрахунку енергетичних параметрів сонячної системи

Параметр	Місяць											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Коефіцієнт ясності атмосфери, K_a	0,62	0,57	0,6	0,45	0,44	0,43	0,46	0,5	0,61	0,64	0,52	0,53
Параметр умов роботи геліоколектора, P	17,1	16,49	4,83	-7,56	-20	-19,07	-10	-2,4	-1,48	5,16	14,42	18,11
Питома тепло-продуктивність колектора, $q_{ГК}^0$, МДж/м ²	3,98	5,98	10,47	11,98	15,76	16,3	15,58	13,96	12,77	8,4	3,94	2,87
Сумарна продуктивність системи, $H_{ГК}^M$, МДж	695,86	978,09	1830,6	2027	2755,5	2758	2724	2440,8	2160,7	1468,7	666,65	485,6
Теплове навантаження системи гарячого водопостачання, Q_{26}^M , МДж	923,49	879,28	967,82	921	916,36	798,6	710,83	661,54	719,4	799,49	821,4	884,7
Тепловий баланс сонячної системи, ΔH , МДж	-227,63	98,81	862,75	1106,0	1839,1	1959,4	2013,2	1779,2	1441,3	669,17	-154,75	-399,1

енергії в покритті сумарних тепловтрат будинку протягом зимового періоду при вибраній площі геліоколекторів; кількість надлишкової енергії в літній період при вибраній площі геліоколекторів; необхідність корекції кількості геліоколекторів.

$$\Delta H^m = 695,86 - 923,49 = -227,63 \text{ МДж.}$$

Результати розрахунків подані в табл. 3.1. Для більшої наглядності результатів подамо у вигляді графіка, поданого на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Енергетичний баланс роботи сонячної теплової системи гарячого водопостачання

Як видно з результатів розрахунку, лише чотири місяці в році буде ситуація, коли виробництво теплої води є меншим від її потреби.

Найбільший від’ємний баланс за місяцями спостерігається у грудні місяці, який не можна вважати найхолоднішим. В той же час, найменший від’ємний баланс спостерігається у листопаді місяці. Загальна сума енергії, яку недовиробила сонячна система становить 399,1 МДж. Загалом ситуація є позитивною, оскільки коефіцієнт забезпеченості гарячою водою становить

93,18 %, що є вищим запланованих норм. Для компенсації енергії, яку недовиробила сонячна система необхідно застосувати дублюючий електронагрівач або частину теплової енергії з теплової помпи. У випадку застосування електронагрівача, то затрати енергії будуть становити 217,1 кВт·год.

В той же час, слід зауважити про надмірне виробництво енергії тепловою сонячною системою у всі інші місяці року. Загальна сума надлишкової виробленої енергії становить 11768,92 МДж.

3.3 Теплозабезпечення об'єкта за рахунок тепла ґрунту

Для вибраної марки теплової помпи необхідно визначити поточні середньомісячні режими роботи: потужності: теплову $P_{ТП}^M$, електричну $P_{ел}^M$; коефіцієнт корисної дії. Режими роботи помпи встановлюються з робочої характеристики відповідно до середньомісячної температури ґрунту, рівної температурі сольового розчину на вході помпи. Результати визначення режимів роботи теплової помпи заносимо в табл. 3.2.

За сталої температури ґрунту, а значить, і теплової потужності помпи, тривалість її роботи τ у тепліші періоди року скорочується. Середньоденну τ^d та місячну τ^M тривалість роботи теплової помпи розраховують шляхом ділення середньодобового $24P_{тн}^M$ чи середньомісячного теплового навантаження $Q_{тн}^M$ (у кВт·год.), наведеніх у табл. 2.4, на поточну потужність теплової помпи $P_{ТП}^M$ з врахуванням числа днів n у місяці:

$$\tau^d = \frac{24P_{тн}^M}{P_{ТП}^M}; \tau^M = n\tau^d, \text{ год.} \quad (3.8)$$

Отже, для січня місяця тривалість робіт теплової помпи буде рівною

$$\tau^d = \frac{24 \cdot 21,81}{25,41} = 20,6 \text{ год.}$$

Таблиця 3.2 - Результати розрахунку енергетичних параметрів теплопомпової системи без врахування роботи на систему гарячого водопостачання

Параметр	Місяць року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Теплова потужність теплової помпи, $P_{ТП}$, кВт	25,41	24,94	24,13	24,60	25,62	28,25	31,56	32,97	30,61	28,99	27,57	25,68
Електрична потужність теплової помпи, $P_{ел}$, кВт	4,96	4,95	4,92	4,94	4,97	5,04	5,14	5,18	5,11	5,07	5,02	4,97
Коефіцієнт перетворення, ε	5,12	5,04	4,9	4,98	5,16	5,6	6,14	6,36	5,99	5,72	5,49	5,17
Потужність навантаження системи опалення гарячого водопостачання, $P_{тн}^M$, кВт	21,81	21,29	15,81	8,58	1,45	-1,96	-3,31	-1,96	1,96	8,78	15,3	20,36
Тривалість годин роботи теплової помпи, τ^d , год.	20,6	20,49	15,72	8,37	1,36	-1,67	-2,52	-1,43	1,54	7,27	13,32	19,03
Тривалість годин роботи теплової помпи, τ^M , год.	638,6	594,21	487,32	251,1	42,16	-50,1	-78,12	-44,33	46,2	225,37	399,6	570,9
Витрата електроенергії на привід теплової помпи, W_M , кВт·год.	3167,46	2938,96	2398,59	1239,43	209,37	-252,7	-401,69	-229,81	236,27	1141,72	2007,59	2836,23

$$\tau^M = 31 \cdot 20,6 = 638,6 \text{ год.}$$

Помісячні та річну витрати електроенергії для приводу теплової помпи розраховують за формулами:

$$W_{ел}^M = \tau^M P_{ел}^M; \quad W_{ел}^P = \sum_{m=3}^{10} W_{ел}^M, \text{ кВт}\cdot\text{год.} \quad (3.9)$$

Для січня місяця місячна витрата буде рівна

$$W_{ел}^M = 638,6 \cdot 4,96 = 3167,46 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Річна витрата електроенергії на потреби теплової помпи буде рівною

$$W_{ел}^P = 3167,46 + 2938,96 + 2398,59 + 1239,43 + 209,37 + 252,7 + 401,69 + \\ + 229,81 + 236,27 + 1141,72 + 2007,59 + 2836,23 = 15291,45 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Параметри енергетичного балансу тепло помпової системи також доцільно подати у вигляді графіка (рис. 3.3), на якому більш виразно буде видно режимні характеристики роботи теплової помпи в складі системи теплопостачання об'єкта.

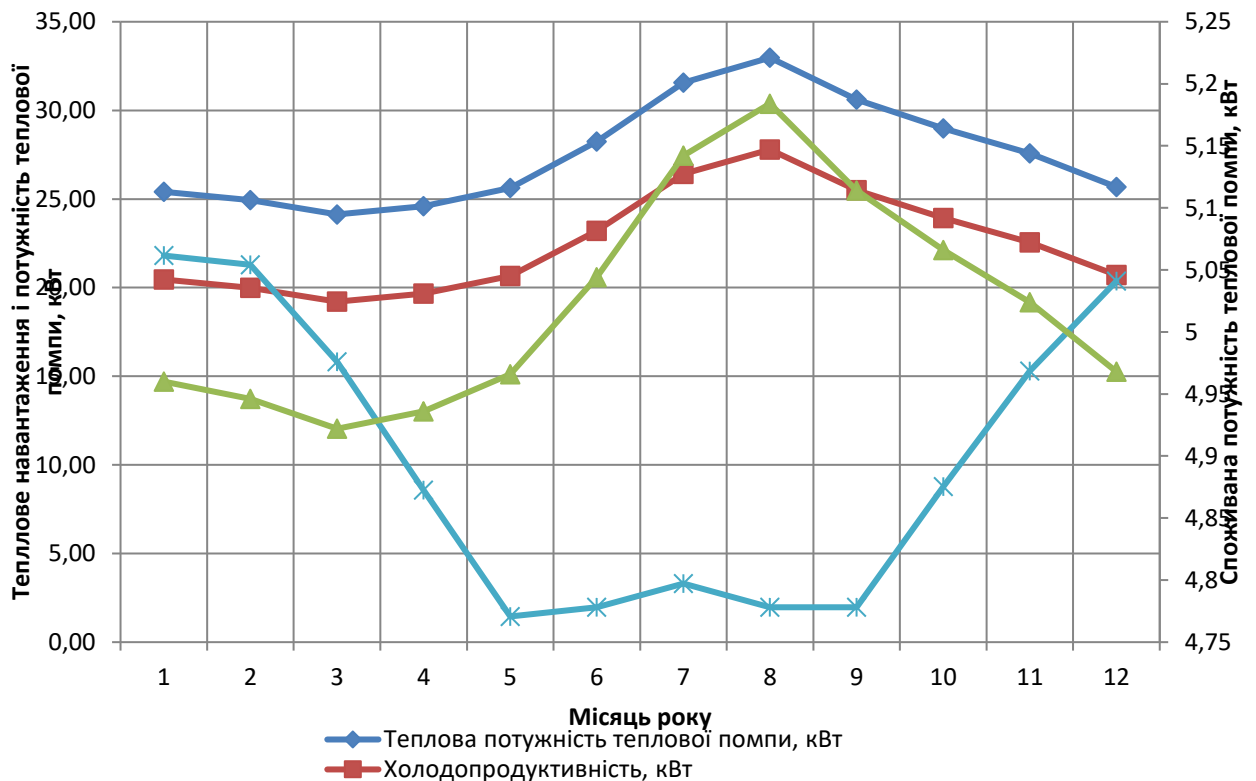


Рисунок 3.3 – Енергетичний баланс роботи теплопомпової системи опалення досліджуваного об'єкта

Однією із переваг застосування комбінованих систем є можливість спільного генерування енергії двома і більше тепловими агрегатами на єдину теплову мережу. Серед таких переваг в даній системі є можливість безперебійного постачання гарячої води до споживача, незалежно від пори року та природно-кліматичних умов, за рахунок компенсації недовиробництва теплової енергії сонячною тепловою системою в зимовий період. З іншого боку, при надлишку виробництва теплоти в літній період можливим є зниження навантаження на теплопомпову систему.

Для виявлення кількісних характеристик взаємної компенсації енергії слід побудувати рівноважний баланс виробництва та потреби в енергії.

При заміщенні певної кількості енергії для потреб гарячого водопостачання теплопомповою системою збільшення витрати електроенергії можна буде визначити як

$$E_{\text{дмн}} = \frac{\Delta H_{\text{м}}}{3,6 \cdot \varepsilon_{\text{м}}}, \quad (3.10)$$

де $\Delta H_{\text{м}}$ – місячне недовиробництво теплової енергії сонячною тепловою системою, МДж; $\varepsilon_{\text{м}}$ – середньомісячний коефіцієнт перетворення теплової помпи.

Таким чином, для січня місяця додаткова витрата електроенергії тепловою помпою на потреби гарячого водопостачання буде становити

$$E_{\text{дмн}} = \frac{227,63}{3,6 \cdot 5,12} = 12,3 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

З іншого боку, за рахунок певного перевиробництва теплоти сонячною тепловою системою в літній період можливим є зниження навантаження на теплопомпову систему зниженням витрати електроенергії у кількості, яка визначатиметься за формулою (3.10).

Розрахунки спільного виробництва теплоти комбінованою системою подано в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Результати розрахунку енергетичних параметрів тепломппової системи

Параметр	Місяць року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Тепловий баланс сонячної системи, ΔH , МДж	-227,63	98,81	862,75	1106,02	1839,12	1959,36	2013,18	1779,23	1441,28	669,17	-154,75	-399,1
Коефіцієнт перетворення, ε	5,12	5,04	4,9	4,98	5,16	5,6	6,14	6,36	5,99	5,72	5,49	5,17
Витрата електроенергії на привід теплової помпи, W_m , кВт·год.	3167,46	2938,96	2398,59	1239,43	209,37	252,7	401,69	229,81	236,27	1141,72	2007,59	2836,23
Додаткова витрата електроенергії, E_{dtp} , кВт·год.	12,3										7,8	21,4
Зниження витрати електроенергії на привід теплової помпи, W_m , кВт·год.		5,4	48,9	61,7	99,0	97,2	91,1	77,7	66,8	32,5		
Сумарний баланс витрати електроенергії комбінованої системи, ΣE , кВт·год.	3179,8	2933,5	2349,7	1177,7	110,4	252,7	401,7	229,8	169,4	1109,2	2015,4	2857,7

3.4 Електрозабезпечення системи тепlopостачання за рахунок енергії вітру

Проводимо розрахунок параметрів вітроустановки для покриття потреб у електроенергії для роботи теплової помпи. Для визначення габаритних розмірів вітроустановки, яка забезпечить виробництво необхідної кількості електроенергії слід скористатись формулою

$$S = \frac{E_p}{W_{вк}}, \quad (3.11)$$

де E_p – річна необхідна кількість електроенергії на технологічні потреби досліджуваного корпусу, кВт·год.; $W_{вк}$ – кількість енергії, яку може виробити 1 м² поверхні вітроколеса в реальних умовах регіону, кВт·год.

$$S = \frac{16787,1}{68,04} = 246,7 \text{ м}^2.$$

Визначимо діаметр вітроколеса такої вітроустановки

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}. \quad (3.12)$$

Отже, отримаємо

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 246,7}{3,14}} = 17,72 \text{ м}.$$

Приймаємо діаметр вітроколеса рівним 17,7 м.

Визначимо габаритну номінальну потужність вітроустановки скориставшись формулою

$$N_{вк} = 0,5 \cdot D_{вк}^2 \cdot v^3 \cdot \xi \cdot \eta_m \cdot \eta_e, \quad (3.13)$$

де v – швидкість вітру, м/с; ρ – густина повітря, кг/м³, $\rho = 1,27$; ξ – коефіцієнт використання енергії вітру, для вибраного типу вітрового колеса $\xi = 0,4$.

$$N_{вк} = 0,5 \cdot 17,7^2 \cdot 8^3 \cdot 0,4 \cdot 0,89 \cdot 0,85 = 24269 \text{ Вт}.$$

Отже, номінальна потужність вітроустановки буде рівною 24,3 кВт, що відповідає потужності для вітроустановок сільськогосподарського типу.

Проведемо аналіз енергетичних балансів комбінованих систем з покриттям потреби у електроенергії на необхідне навантаження, залежно від варіантів комбінування енергогенерувальних засобів. Результати розрахунків подано в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Результати розрахунку виробництва електроенергії вітроелектричною установкою для покриття потреб теплової помпи

Місяць року	Енергія вітру за місяць, кВт·год/м ²	Виробництво електроенергії вітроустановкою, кВт·год.	Потреба в електроенергії, кВт·год.	Баланс вітроелектричної системи, кВт·год.
1	9,82	2422,59	3179,81	-757,22
2	7,05	1739,24	2933,51	-1194,28
3	7,84	1934,13	2349,68	-415,55
4	5,9	1455,53	1177,74	277,79
5	3,45	851,12	110,36	740,75
6	3,59	885,65	252,70	632,95
7	3,05	752,44	401,69	350,75
8	2,22	547,67	229,81	317,86
9	3,45	851,12	169,43	681,68
10	5,16	1272,97	1109,22	163,75
11	8,19	2020,47	2015,42	5,05
12	8,32	2052,54	2857,67	-805,13
Разом	68,04	16785,47	16787,06	

Енергетичний баланс вітроелектричної системи з покриттям потреби у електроенергії на технологічне електрообладнання можна подати у вигляді графіка, поданого на рис. 3.4.

Аналіз динаміки зміни навантаження на електросистему за рахунок технологічного електрообладнання свідчить про близькість до стабільного

використання. Причому, при живленні потреб електрообладнання від вітроустановки спостерігається зворотна динамічна тенденція.

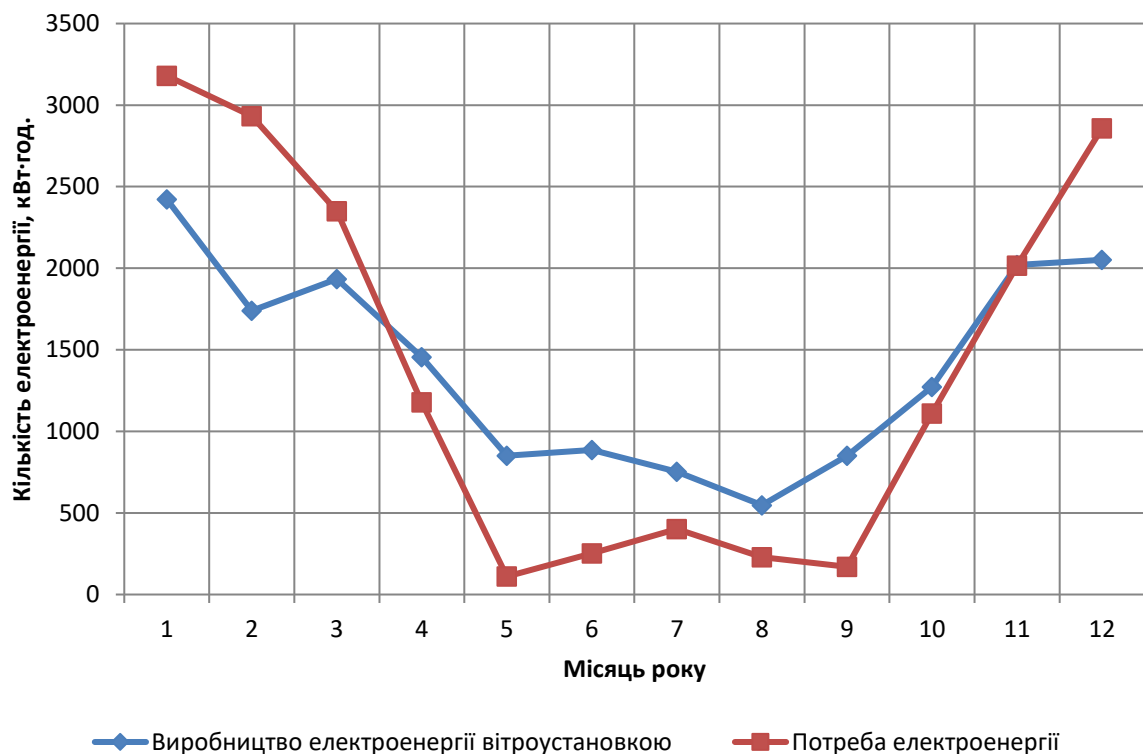


Рисунок 3.4 – Енергетичний баланс вітроелектричної системи з покриттям потреби у електроенергії на роботу теплової помпи

Як свідчать результати розрахунку річного балансу отримується рівність, однак в зимовий період відбувається недовиробництво електроенергії, а в літній перевиробництво. Обсяг недовиробництва електроенергії на потреби теплової помпи становить 3172,18 кВт·год., що становить 18,9 % від загального обсягу потреби. Таким чином, рівень заміщення становитиме 81,1 %, що вважається достатньо високим.

Тобто, побудована система енергозабезпечення характеризується високим рівнем надійності. Слід однак зазначити, що досягнутий рівень надійності може виявитись економічно недоцільним, для чого необхідним є проведення техніко-економічного розрахунку.

3.5 Розробка системи автоматичного керування енергетичними потоками

3.5.1 Системи керування та засоби автоматики для систем теплопостачання

Складність сучасних систем теплопостачання, що поєднують декілька джерел тепла і різні типи енергоресурсів, зумовлює потребу у впровадженні розвинених систем автоматичного керування. Глобальною метою таких систем є забезпечення необхідних температурних режимів у приміщеннях та контурі гарячого водопостачання при мінімальних витратах енергії та палива, а також з урахуванням обмежень по електричній потужності, умов роботи обладнання, комфортних вимог і надійності.

Система керування у багатокомпонентній теплотехнічній установці виконує функції вимірювання, порівняння, прийняття рішень та формування керуючих впливів. Вона має працювати в умовах змінних зовнішніх факторів, таких як температура зовнішнього повітря, швидкість вітру, сонячна радіація, а також змінних внутрішніх факторів: теплове навантаження будівлі, стан теплового акумулятора, поточна потужність вітроустановки, доступність газу та стан мережевого електропостачання. Відповідно, система автоматизації повинна інтегрувати дані з великої кількості датчиків, аналізувати їх у режимі реального часу і відповідно змінювати режими роботи обладнання.

У класичних системах теплопостачання, які базуються лише на газових або електричних котлах, керування часто зводиться до підтримання температури теплоносія за заданою температурною кривою, що залежить від температури зовнішнього повітря, та до простого включення або вимкнення котлів за потреби. У системах з тепловими помпами та сонячними колекторами алгоритми набувають більш складного характеру, оскільки необхідно враховувати не лише теплове навантаження, а й ефективність роботи кожного з джерел у поточний момент, їхню взаємодію та обмеження.

Окремо слід виділити роль засобів автоматики у забезпеченні безпеки. В усіх компонентах системи теплопостачання працюють датчики тиску, температури, рівня, потоку, а також аварійні термостати, пресостати, клапани підриву, блоки захисту від замерзання, контролери мінімального тиску в контурі, пристрої контролю полум'я та інші. Їхні сигнали повинні пріоритетно оброблятися системою керування, при цьому аварійні ситуації мають викликати негайне відключення або переведення обладнання в безпечний режим.

3.5.2 Особливості побудови систем автоматичного керування

Побудова системи автоматичного керування енергетичними потоками в комплексній системі теплопостачання передбачає ієрархічну структуру, де нижній рівень відповідає за локальне керування окремими одиницями обладнання, а верхній рівень виконує функції координації і оптимізації. Для теплових pomp, газових котлів, сонячних колекторів і вітроустановок можуть застосовуватись власні вбудовані контролери, які забезпечують базові режими роботи та захист. Над ними реалізується надбудова у вигляді центрального контролера енергетичних потоків, що формує завдання для кожного джерела, виходячи із загальної стратегії.

Однією з ключових особливостей побудови таких систем є необхідність врахування як поточного стану системи, так і прогнозованої інформації. Це стосується метеорологічних умов, прогнозу потужності вітрової генерації, очікуваного теплового навантаження, тарифів на електроенергію. У традиційних системах керування використовується лише поточна інформація, тоді як сучасні підходи передбачають застосування елементів прогнозного та оптимізаційного керування, що дозволяє заздалегідь готувати систему до змін.

Особливість побудови системи автоматичного керування у випадку, коли вітроелектрична установка використовується як пріоритетне джерело електроживлення для теплової помпи, полягає в необхідності постійного балансу між доступною вітровою потужністю, споживанням електроенергії

тепловою помпою, можливістю роботи від мережі та наявністю резервного газового котла. Система має бути здатна миттєво реагувати на зміну швидкості вітру, переключаючи теплову помпу частково або повністю на мережеве живлення, змінюючи її теплову потужність, а в разі необхідності активуючи газовий котел.

Важливим елементом є формування пріоритетів. На рівні алгоритму керування зазвичай задається пріоритет використання відновлюваних джерел енергії, зокрема вітроустановки та сонячних колекторів, потім теплової помпи, і лише після цього газового котла як резервного джерела. Однак цей пріоритет не є жорстким у будь-яких умовах; він має бути адаптивним, з урахуванням реальної ефективності в конкретний момент часу. Наприклад, при дуже низьких температурах повітря тепла помпа може працювати з настільки низьким коефіцієнтом перетворення, що застосування газового котла стає доцільнішим навіть при наявності вітрової генерації.

3.5.3 Апаратні засоби для систем керування енергетичними потоками

Апаратна частина системи керування енергетичними потоками включає контролери, модулі вводу-виводу, датчики, виконавчі механізми, комунікаційні інтерфейси та засоби відображення інформації. У сучасних системах широко застосовуються програмовані логічні контролери або спеціалізовані контролери для систем HVAC, які мають достатню кількість аналогових і дискретних входів та виходів, підтримують стандартні інтерфейси (Modbus, BACnet, CAN, Ethernet), здатні виконувати складні алгоритми керування та взаємодіяти з верхньорівневими системами моніторингу.

Датчики температури встановлюються на подаючих і зворотних трубопроводах системи опалення, у буферних ємностях, на контурі сонячних колекторів, у контурі джерела теплової помпи, у приміщеннях і зовнішньому повітрі. Датчики тиску і витрати забезпечують інформацію про гідравлічний

стан системи. Лічильники електроенергії та вимірювальні перетворювачі струму і напруги використовуються для контролю електричних потоків між вітроустановкою, тепловою помпою і мережею. Для вітроустановки додатково застосовується анемометр та, за потреби, датчики напрямку вітру.

Виконавчі механізми включають циркуляційні насоси з частотним регулюванням, триходові та чотириходові клапани для змішування теплоносія, запірну арматуру з електроприводом, пускачі компресора теплової помпи, блоки керування газовим котлом, силові контактори або інверторні блоки для вітроустановки. Всі ці елементи мають бути узгоджені з логікою керування, а їхня робота – чітко координована для запобігання конфліктам режимів, наприклад, одночасного ввімкнення взаємовиключних джерел або перевантаження електричної мережі.

Для реалізації прогнозно-орієнтованих алгоритмів у системі можуть використовуватися вбудовані промислові комп'ютери або контролери з підтримкою обчислень вищого рівня, включно з доступом до зовнішніх сервісів прогнозу погоди. Це дозволяє враховувати очікувану температуру зовнішнього повітря, інтенсивність сонячної радіації та прогнозовану швидкість вітру при формуванні завдань для теплової помпи, вітроустановки та газового котла.

3.5.4 Алгоритм роботи та блок-схема системи автоматичного керування енергетичними потоками

Система автоматичного керування, що розглядається, повинна координувати роботу теплової помпи, газового котла, сонячної теплової установки та вітроелектричної установки таким чином, щоб забезпечити необхідні теплові режими при максимально можливому використанні відновлюваних джерел енергії та мінімальній залежності від зовнішньої електромережі. Особливістю системи є те, що вітроелектрична установка розглядається як пріоритетне джерело електроживлення для теплової помпи, а мережа виступає у ролі резерву та балансуєного джерела.

Умовно структурну схему системи можна подати як рисунок 1, де виділяються чотири основні підсистеми: теплогенерувальна, електрогенерувальна, акумулююча та система автоматичного керування. У теплогенерувальній підсистемі працюють теплова помпа, газовий котел та сонячний колекторний контур, підключені до буферного бака і споживачів тепла. Електрогенерувальна підсистема включає вітроустановку, мережевий ввід та електричні зв'язки з тепловою помпою. Акумулююча підсистема реалізована у вигляді теплового акумулятора, а при потребі також електричного накопичувача. Система автоматичного керування здійснює збір даних, аналіз ситуації, прийняття рішень та формування керуючих сигналів.

Алгоритм роботи системи можна описати як послідовність логічних етапів, які виконуються циклічно з заданим часовим кроком. На початку циклу контролер зчитує поточні значення температури в приміщеннях, у подаючому та зворотному трубопроводах системи опалення, у буферній ємності, на контурі сонячних колекторів, у джерелі для теплової помпи, а також температуру зовнішнього повітря. Паралельно з цим визначаються миттєві електричні параметри: потужність вітроустановки, потужність, споживана тепловою помпою, величина споживання або віддачі в мережу. Отримуються також значення прогнозованої температури зовнішнього повітря та швидкості вітру на найближчі години, а також прогноз інсоляції.

На основі поточної температури в приміщеннях та заданих комфортних значень обчислюється необхідне теплове навантаження. Визначається, чи є потреба у додатковому нагріві буферної ємності, чи достатньо наявного теплового запасу. Оцінюється доступна потужність від сонячних колекторів: якщо температура в колекторному контурі перевищує температуру у буферній ємності на певну величину, система вирішує, що є можливість корисного використання сонячної теплоти й активує циркуляційний насос сонячного контуру з відповідною конфігурацією клапанів.

Паралельно аналізується потужність, що надходить від вітроустановки. Якщо миттєва електрична потужність від вітру достатня для живлення теплової помпи з урахуванням її поточної або можливої потужності, контролер надає команду на роботу теплової помпи в режимі, що максимізує використання вітрової енергії. У разі часткової відповідності між доступною вітровою потужністю та потребою теплової помпи допускається робота від комбінованого живлення: частина потужності надходить від вітру, а дефіцит покривається за рахунок мережі. Якщо вітрова генерація відсутня або недостатня, тепла помпа може працювати повністю від мережі, але при цьому алгоритм оцінює її коефіцієнт перетворення з огляду на температуру джерела та запит теплового навантаження.

У випадку, коли розрахунковий коефіцієнт перетворення теплової помпи надто малий (наприклад, при дуже низькій температурі зовнішнього повітря для повітряного джерела), а вітрова потужність мала або відсутня, контролер може прийняти рішення про переведення частини або всього теплового навантаження на газовий котел. При цьому газовий котел отримує завдання підтримувати необхідну температуру в буферній ємності, а тепловій pompі задається або знижений режим роботи, або вона повністю вимикається. Таким чином, алгоритм постійно порівнює «вартість» одиниці тепла, отриманого від теплової помпи, з еквівалентною вартістю тепла від газового котла, враховуючи джерело електроенергії для помпи.

У блок-схемі системи керування, яка подана у додатку А, виділяються блоки вимірювання, розрахунку теплового навантаження, оцінки доступної відновлюваної електроенергії, оцінки ефективності теплової помпи, блоку прогнозу та блоку прийняття рішення. Блок прогнозу отримує дані про майбутню температуру зовнішнього повітря, швидкість вітру та сонячну радіацію і формує очікувану зміну теплового навантаження і вітрової генерації. Це дозволяє, наприклад, за кілька годин до очікуваного зниження температури підвищити температуру в буферній ємності за рахунок

надлишкової вітрової генерації або тимчасово посилити роботу сонячного контуру.

Блок прийняття рішень працює, умовно кажучи, у кількох режимах. У нормальних умовах, коли доступні і вітрова енергія, і прийнятний коефіцієнт перетворення теплової помпи, система прагне максимально використовувати пару «вітроустановка – тепла помпа», зводячи роботу газового котла до мінімуму. У режимах низької вітрової генерації та помірних температур зовнішнього повітря відбувається переважно робота теплової помпи від мережі з корекцією потужності за погодною кривою. У екстремальних умовах холоду і відсутності вітрової енергії домінує газовий котел, тоді як тепла помпа може переходити у допоміжний режим або вимикатися. Усі ці рішення реалізуються без участі оператора, але при необхідності оператор може задавати пріоритети, наприклад, обмежити використання газу або навпаки, знизити споживання електроенергії з мережі.

Блок-схема також повинна передбачати режими аварійного відключення та ручного керування, які активуються у випадках відмови датчиків, відсутності зв'язку з вітроустановкою, виходу з ладу теплової помпи або котла. У таких випадках система переходить у спрощені режими, де алгоритм керування зводиться до підтримання мінімально необхідних параметрів без спроб оптимізації.

Описана система автоматичного керування енергетичними потоками дозволяє побудувати інтелектуальну систему теплопостачання, в якій теплові помпи, газові котли, сонячні колектори та вітроелектричні установки працюють як єдиний комплекс, що враховує поточний стан, метеорологічні умови та прогноз погоди. При правильній реалізації апаратної частини та алгоритмів керування така система здатна суттєво зменшити залежність від зовнішньої електромережі, підвищити долю відновлюваних джерел у покритті теплового навантаження та знизити загальні експлуатаційні витрати на теплопостачання будівлі чи групи будівель.

3.5.5 Апаратна частина системи керування енергетичними потоками

Для вирішення питання апаратної частини системи керування енергетичними потоками використаємо універсальний мікропроцесорний модуль, плата якого подана на рис. 3.5, а загальний вигляд на рис. 3.6.

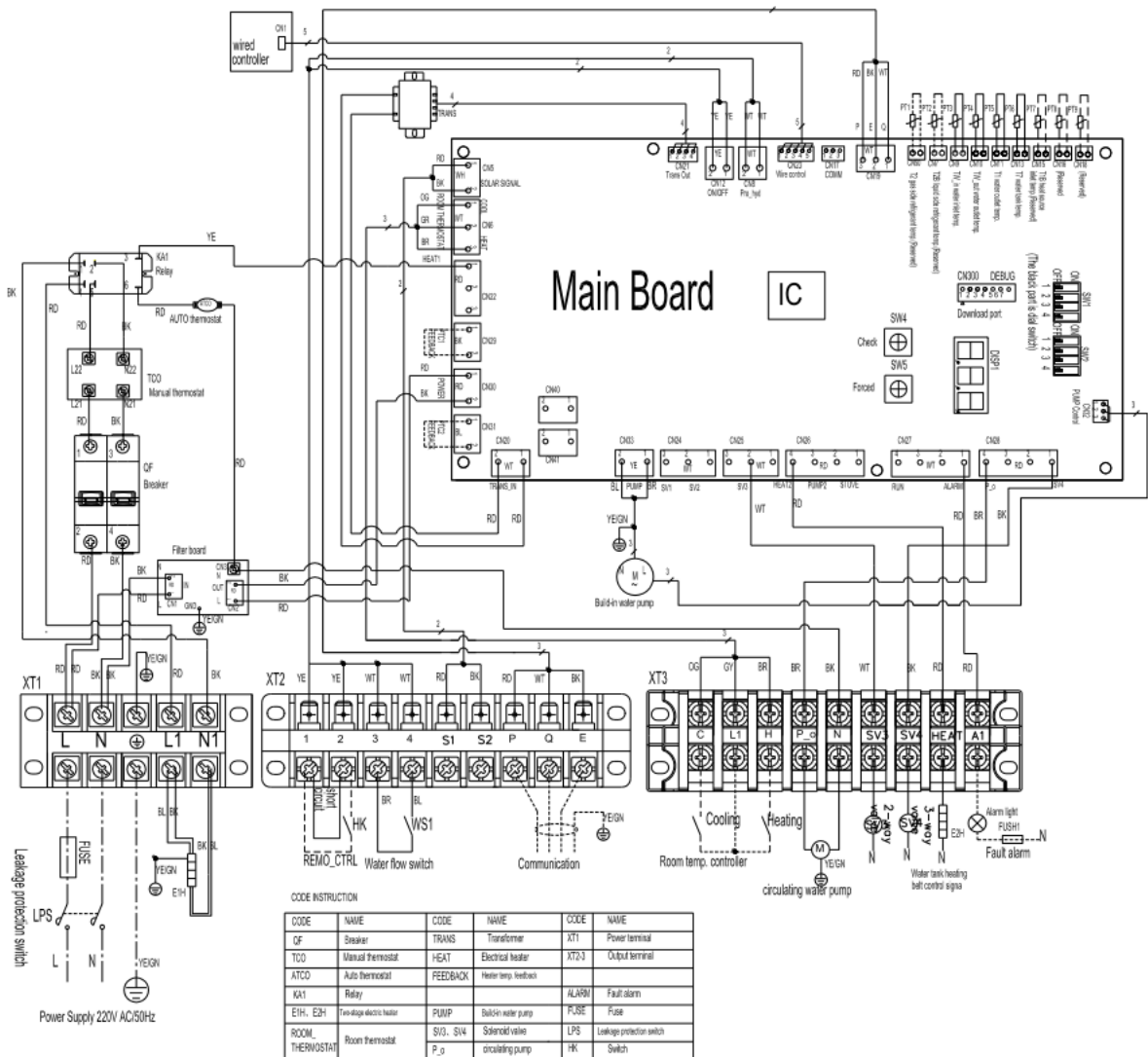


Рисунок 3.5 – Плата універсального мікропроцесорного модуля

Головною особливістю даного модуля є можливість приєднання широкої гами датчиків та виконавчих пристроїв через модуль розширення (рис. 5.7).

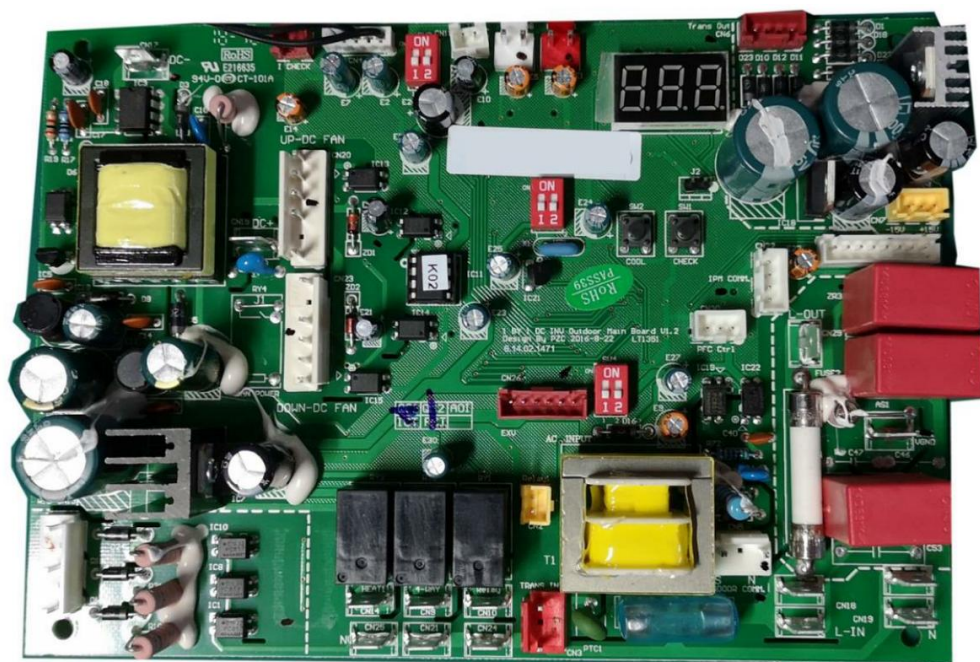


Рисунок 3.6 – Загальний вигляд плати універсального мікропроцесорного модуля



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд модуля розширення плати універсального мікропроцесорного модуля

Система керування також потребує встановлення низки датчиків, серед яких є вимірювачі струму, температури, виконавчі пристрої – твердотільні реле, триходові вентиля тощо.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації енергетичного обладнання

При оцінці технологій виробництва електричної та теплової енергії з використанням засобів відновлюваної енергетики, зокрема, сонячних теплових та вітроелектричних установок, теплових pomp, потрібно розглянути окремо основні технологічні ланки системи, які в основному призводять до травм, аварій, небезпечних та шкідливих наслідків як для здоров'я людини так і для навколишнього середовища.

При встановленні причинно-наслідкових зв'язків між подіями, що призвели до травми працюючого, необхідно розрізняти поняття "небезпечний виробничий фактор", "травматизм", "нещасний випадок" і "травма" тощо.

У процесі роботи людина може потрапляти в небезпечну зону внаслідок відсутності там необхідного там огороження, сигнальних пристроїв або попереджувальних знаків та написів, порушення відповідних правил, допущеної помилки або внаслідок аварії. При цьому виникає можливість дії на неї небезпечного виробничого фактору. Кожну дію, внаслідок якої людина потрапляє до небезпечної зони, позначено як небезпечну [8].

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які: характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини тощо; спонукають працюючого допускати помилок у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці; відсутність відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці; створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону.

4.2 Моделювання процесів формування і виникнення виробничих небезпек під час експлуатації енергетичних установок

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Для того, щоб оцінку рівня небезпеки певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірностей будь-якого випадкового явища. Основні принципи даного методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця виявляють виробничі небезпеки аварійні та травмонебезпечні ситуації. При оцінці ситуації визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логіко імітаційної моделі. Після цього будують модель ("дерево помилок і відмов оператора"). При цьому важливе значення має правильний вибір головної випадкової події. Головна випадкова подія в даному випадку – травма, модель якої побудована на (рис. 4.2). Для побудови даної моделі ("дерева") травми використовують оператори "І" та "АБО", після цього виконують набір ситуацій, які призвели до цієї події, яку вибрано як головною, після визначення ситуації, що привела до травми визначаємо інші такі події, що входять до кожної такої ситуації. Процес побудови моделі триває поки не будуть здійснені усі базові події, що визначають межу моделі [5].

Науковцями доведено, що стан робочого місця впливає не тільки на умови роботи, але процес виробництва в цілому. Такі чинники, відсутність засобів індивідуального захисту, невиконання профілактичних заходів щодо огляду робочого місця, нехтування правилами техніки безпеки можуть бути причиною травмування робітника. Людина може втручатися у будь-яку подію, це досить природно. Щодо конкретного випадку, то на першому етапі, це втручання людини у виробничий процес, тобто дотримання правил техніки безпеки, проведення профілактичного огляду перед початком роботи.

Після обчислення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до даної моделі.

Для проведення обчислень ймовірності травми використовуємо логіко-імітаційну модель процесу її формування (рис. 4.1).

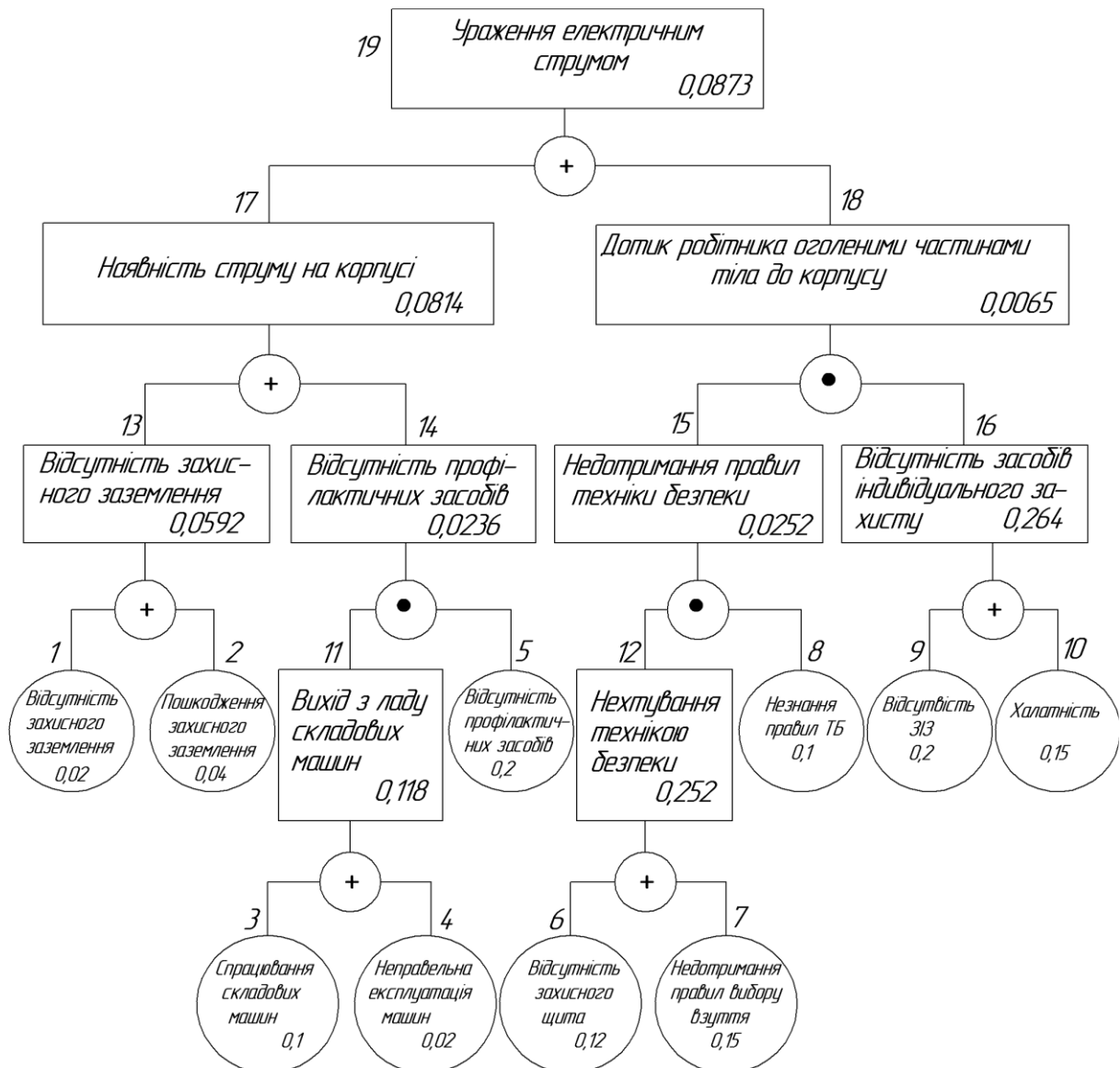


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травм при експлуатації електрообладнання

Підставивши дані ймовірностей базових подій у формулу (4.4), одержимо ймовірність події 13:

$$P_{13} = 0,2 + 0,4 - 0,2 \cdot 0,4 = 0,0592.$$

Аналогічно обчислюємо ймовірність інших подій залежно від їх номера:

$$P_{11} = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,118;$$

$$P_{12} = P_6 + P_7 - P_6 \cdot P_7 = 0,3 + 0,5 - 0,3 \cdot 0,5 = 0,252;$$

$$P_{16} = P_9 + P_{10} - P_9 \cdot P_{10} = 0,2 + 0,15 - 0,2 \cdot 0,15 = 0,264;$$

$$P_{14} = P_{11} \cdot P_5 = 0,118 \cdot 0,2 = 0,0236;$$

$$P_{15} = P_{12} \cdot P_8 = 0,252 \cdot 0,1 = 0,0252;$$

$$P_{17} = P_{13} + P_{14} - P_{13} \cdot P_{14} = 0,592 + 0,0236 - 0,592 \cdot 0,0236 = 0,0814;$$

$$P_{18} = P_{15} \cdot P_{16} = 0,264 \cdot 0,0252 = 0,0065;$$

$$P_{19} = P_{17} + P_{18} - P_{17} \cdot P_{18} = 0,0065 + 0,0814 - 0,0065 \cdot 0,0814 = 0,0873.$$

Таким чином на під час роботи електрообладнання гібридної енергетичної установки при наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 8,73 травм. Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень працюючих, поліпшити контроль та виготовити необхідну кількість ЗІЗ, профілактичних засобів за всіма вимогами безпеки), то можна побачити на моделі шляхом повторного розрахунку, що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки – до 1.

4.3 Розробка заходів запобігання травм і аварій під час енергозабезпечення об'єкта дослідження

Заходи щодо поліпшення умов праці здійснюються з метою створення безпечних умов праці шляхом: доведення до нормативного рівня показників виробничого середовища за елементами умов праці; захисту працівників від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

До показників ефективності заходів щодо поліпшення умов праці належать: зміни стану умов праці: зміна кількості засобів виробництва, приведених у відповідність до вимог стандартів безпеки праці; покращання санітарно-гігієнічних показників; покращання психофізичних показників,

зменшення фізичних і нервово-психічних навантажень, в т. ч. монотонних умов праці; покращання естетичних показників, раціональне компонування робочих місць і впорядкування робочих приміщень; соціальні результати заходів: збільшення кількості робочих місць, що відповідають нормативним вимогам; зниження рівня виробничого травматизму; зменшення кількості випадків професійних захворювань; зменшення плинності кадрів через незадовільні умови праці; престиж та задоволення працею.

Економічні результати заходів щодо поліпшення умов праці виражаються у вигляді економії за рахунок зменшення збитків внаслідок аварій, нещасних випадків і професійних захворювань у економіці в цілому та на кожному підприємстві зокрема.

Обслуговуючий персонал установки бути ознайомлений з інструкцією по експлуатації кожного виду обладнання. Кожен працюючий з енергетичною установкою, і особливо при роботі з вітроелектричною установкою повинен бути проінструктований з техніки безпеки. Осіб, які не досягли 18 років не допускати до обслуговування установки. Забороняється допускати сторонніх осіб до робочого місця. Підтримувати робоче місце в чистоті. Забороняється доторкатися до електричних з'єднань енергоустановок вологими руками. При роботі з електрообладнанням енергетичних установок, яке знаходиться під напругою необхідно працювати на ізоляційному килимку.

Ремонтні роботи та роботи по обслуговуванню енергетичних установок, проводяться тільки коли вони вимкнені.

4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Актуальні проблеми забезпечення природно-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей і шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, техногенними аваріями і катастрофами. Ризик надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру невпинно зростає.

Захист населення і територій є системою загальнодержавних заходів, які реалізуються центральними і місцевими органами виконавчої влади, виконавчими органами рад, органами управління з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту, підпорядкованими їм силами та засобами підприємств, установ, організацій незалежно від форм власності добровільними формуваннями, що забезпечують виконання організаційних, інженерно-технічних, санітарно-гігієнічних, протиепідемічних та інших засобів у сфері запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Згідно Закону “Про цивільну оборону України” держава, як гарант цього права створює систему Цивільної оборони, яка на межі має захист населення від небезпечних наслідків аварій і катастроф техногенного, екологічного, природного та воєнного характеру. Тобто держава не тільки проголошує право населення на захист свого життя і здоров’я в умовах надзвичайних ситуацій, але і гарантує це право створюючи загальну систему захисту населення, систему цивільної оборони. Відповідальність за організацію та стан цивільної оборони на об’єктах господарювання несе керівник господарства, установи та організації. Заступник начальника цивільної оборони керує розробленням плану евакуації на кожну можливу надзвичайну ситуацію, організовує підготовку місць для евакуйованих .

У разі виникнення стихійних лих та надзвичайних ситуацій необхідно своєчасно оповістити населення, провести комплекс заходів, які повинні забезпечити укриття населення в захисних спорудах, його евакуацію, медичний, радіаційний і хімічний захисти, а також захист від впливу біологічних засобів ураження.

При ліквідації наслідків аварій, стихійних лих проводяться рятувальні та інші невідкладні роботи щодо усунення безпосередньої загрози життю та здоров’ю людей, відновлення життєзабезпечення населення, запобігання або зменшення матеріальних збитків.

5 ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Особливістю РЕМ є те, що у них відсутнє газопостачання. Тому порівняння систем теплопостачання в даному випадку є не зовсім коректним. З врахуванням того, що населення переважною кількістю використовує систему газопостачання для живлення газових котлів систем теплопостачання, і запропоновані рішення можна було б масштабувати на цю категорію об'єктів, виконаємо порівняльні розрахунки в тому числі й з варіантом із використанням газового котла. Отже, проведемо розрахунок ефективності різних теплогенеруючих систем, які можуть бути застосовані для автомобільного гаража досліджуваного підприємства.

Кількість теплової енергії, яку може виробити газовий котел з 1 м³ газу визначається за формулою

$$Q_k = q_g \cdot \rho \cdot \eta_k, \quad (5.1)$$

де q_g – теплотворна здатність газу, МДж/кг; ρ – густина газу, кг/м³; η_k – коефіцієнт корисної дії газового котла.

$$Q_k = 50,08 \cdot 0,71466 \cdot 0,9 = 32,21 \text{ МДж.}$$

Витрата газу на опалення та гаряче водопостачання газовим котлом

$$Q_{p_{zk}} = \frac{Q_{mn}}{Q_k}. \quad (5.2)$$

$$Q_{p_{zk}} = \frac{330469,53 \cdot 10^6}{32,21 \cdot 10^6} = 10259,84 \text{ м}^3.$$

Річна витрата коштів на опалення та гаряче водопостачання при використанні газового котла

$$Bp_k = Q_{p_{zk}} \cdot C_g. \quad (5.3)$$

$$Bp_k = 10259,84 \cdot 22,97 = 235668 \text{ грн.}$$

Кількість теплоти, яку можна отримати від геотермальної установки з електроприводом визначаємо як

$$Q_{zm} = Q_{el} \cdot K_{nep}, \quad (5.4)$$

де Q_{el} – кількість витраченої електричної енергії, Дж; $K_{пер}$ – коефіцієнт перетворення геотермальної установки.

Значення даного показника візьмемо з технологічних розрахунків, наведених в розділі 3. Таким чином, теплопомпова установка при незалежному виробництві теплоти виробить 63255,46 МДж, що потребуватиме електроенергії в розмірі 17570,96 кВт·год.

У випадку комбінованої роботи теплової помпи з сонячною тепловою системою і заміщенням відповідного недовиробництва та утилізацією певного перевиробництва енергії сонячною тепловою системою кількість виробленої енергії буде становити 60433,56 МДж, що потребуватиме електроенергії в розмірі 16787,1 кВт·год.

Вартість тепла на потреби опалення і гаряче водопостачання, одержаного від геотермальної системи з електричним приводом у випадку системи тільки на базі теплової помпи становитиме

$$B_{зм} = \frac{Q_{зм} \cdot C_{ел}}{K_{пер} \cdot 3,6 \cdot 10^6}, \quad (5.5)$$

де $C_{ел}$ – ціна електроенергії, грн./кВт·год.

$$B_{зм} = \frac{63255,46 \cdot 10^6 \cdot 11,2}{5,47 \cdot 3,6 \cdot 10^6} = 35977 \text{ грн.}$$

Вартість тепла на потреби теплопостачання, одержаного від геотермальної системи з електричним приводом у випадку окремої роботи теплової помпи становитиме

$$B_{зм} = 17570,96 \cdot 11,2 = 196795 \text{ грн.}$$

Вартість тепла на потреби опалення, одержаного від геотермальної системи з електричним приводом у випадку комбінації сонячної теплової системи та теплової помпи з взаємним компенсуванням необхідної енергії становитиме

$$B_{зм} = 17298,2 \cdot 11,2 = 193740 \text{ грн.}$$

У випадку живлення теплової помпи від вітроелектричної установки, виходячи з електричного балансу, який наведено в розділі 3, то з зовнішньої електромережі необхідно буде використати 3405,48 кВт·год. електроенергії.

Тоді вартість буде становити

$$B_{\text{кв}} = 3405,48 \cdot 11,2 = 38141 \text{ грн.}$$

Вартість тепла, одержаного від електричного котла становитиме

$$B_{\text{ел}} = Q_{\text{ел}} \cdot C_{\text{ел}}, \quad (5.6)$$

де $Q_{\text{ел}}$ – кількість тепла, що виробляється електричним котлом, кВт·год; $C_{\text{ел}}$ – ціна 1 кВт·год електроенергії, грн.

$$B_{\text{ел}} = \frac{330469,53 \cdot 11,2}{3,6} = 1028127 \text{ грн.}$$

Результати розрахунку ефективності систем енергозабезпечення подано в табл. 6.1.

Як видно з розрахунків, за рахунок диспропорції вартісних характеристик енергоносіїв теплопомпова система практично не поступається традиційній теплогенерувальній системі на базі газового котла, як за сумарними витратами коштів, так і за питомими показниками вартості теплоти.

Таблиця 5.1 – Порівняльні показники систем теплопостачання

Тип установки	Котел газовий	Котел електричний	Тепло-помпова система	Комбінована сонячна тепло-помпова системи з компенсацією енергії	Комбінована система СТС+ТПУ+ВЕУ
Витрата газу, м ³	10259,84	-	-	-	-
Витрата електроенергії, кВт·год	-	91797,09	17570,96	17298,2	3405,48
Вартість газу, грн.	235668	-	-	-	-
Вартість електроенергії, грн.	-	1028127	196795	193740	38141
Питомі затрати на енергоносії для отримання 1 ГДж тепла, грн.	807	3521	674	663	131

Отже, при застосуванні комбінації сонячної теплової та теплопомпової систем можна досягнути найнижчої вартості генерування теплоти в річному циклі.

Рекомендувати застосовувати теплопомпові та сонячні теплові системи слід не тільки виходячи з параметрів річних експлуатаційних затрат. Існують інші показники раціонального вибору технологічного обладнання, які засвідчують їх ефективність. Причому ця ефективність не завжди може бути оцінена грошовим еквівалентом. Наприклад, зниження шкідливих викидів димових газів, зниження рівня теплових викидів, зниження викидів великих енергоненерувальних станцій, покращення стабільності та надійності енергозабезпечення тощо.

Однак, широкого поширення засобів відновлюваної енергетики без державної підтримки та стимулювання досягнути складно внаслідок суттєвого диспаритету вартості технологічного обладнання та традиційних енергоресурсів.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Постійне зростання вартості на викопні енергоносії, а також на неповну їх забезпеченість на потреби досліджуваного об'єкту є необхідність у її реорганізації системи теплозабезпечення за рахунок використання засобів відновлюваних джерел енергії. Зокрема, пропонується застосувати сонячну теплову та теплопомпову системи як основний теплогенерувальний агрегат та вітрова установка як засіб електрозабезпечення роботи теплопомпової установки.

Для кліматичної та географічної зони розташування об'єкту було проведено аналіз ресурсів відновлюваних джерел енергії, які можуть бути використані для її теплозабезпечення. Зокрема, проведені розрахунки з надходження на 1 м² сприймаючої площі сонячної теплової та геотермальної енергій, а також енергії вітру.

Для досліджуваного об'єкта здійснено розрахунок необхідної кількості енергії для потреб опалення та гарячого водопостачання. Запропоновано комбіновану систему теплозабезпечення з використанням сонячної теплової та теплопомпової систем. При чому, робота кожної із систем повинна бути корисною для роботи іншої. За рахунок поєднання двох систем можливим є забезпечення стабільності забезпечення енергією досліджуваний об'єкт. Для електрозабезпечення системи тепlopостачання на базі теплової помпи застосовано вітроелектричну установку, яка виступатиме основним джерелом електроенергії у випадку її достатньої кількості.

Для існуючих природно-кліматичних умов та визначеної необхідності в енергії розраховані габаритні параметри сприймаючих елементів сонячної теплової, теплопомпової систем, а також вітроелектричної установки. Здійснено розрахунок енергетичних балансів роботи кожної з систем окремо та в комбінованій установці, що дозволило підтвердити необхідність у застосуванні такого варіанта системи теплозабезпечення. Зокрема, при роботі такої системи можна виділити наступні елементи. При роботі сонячної

теплової системи на гаряче водопостачання при відсутності сонця в зимовий період відбуватиметься компенсація виробництва енергії від теплової помпи. З іншого боку при роботі теплової помпи в зимовий період на систему опалення за наявного енергетичного потенціалу з боку сонця можливим є додаткове виробництво енергії від сонячної теплової системи в якості доповнювальної функції. При роботі теплової помпи в весняно-осінній період можливим є зниження рівня завантаженості теплової помпи за рахунок більш інтенсивного продукування теплоти сонячною тепловою системою. Робота теплової помпи у всьому річному циклі забезпечується від вітроелектричної установки. У випадку відсутності достатньої кількості енергії для приводу теплової помпи від вітроустановки. Здійснюється перемикання на зовнішню електромережу. Для ефективної роботи енергетичної системи розроблено алгоритм та вибрано апаратні засоби автоматичної системи керування енергетичними потоками.

Розглянуто стан охорони праці, розроблено відповідні правила техніки безпеки праці, пожежної безпеки та грозозахисту об'єкту.

Проаналізовано екологічний стан в цілому. Вказано чинники, які погіршують екологічний стан, а також шляхи його покращення.

Розраховано порівняльні техніко-економічні показники використання засобів відновлювальної енергетики для потреб досліджуваного об'єкта. Зокрема було розраховано вартості виробництва одиниці теплоти від різних теплогенерувальних засобів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. POWER Data Access Viewer. Prediction Of Worldwide Energy Resource.
<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
2. Tytko R. Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej. Wydanie piąte uzupełnione. Krakow: Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Slowakow w Polsce, 2014. 671 s.
3. Viessmann. Vitocal 300/350: Технічний паспорт. 2001. 23 с.
4. Viessmann. Системи теплових насосів: Інструкція з проектування. 2001. 47 с.
5. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: вид. ЛНАУ, 2008. 135 с.
6. Гальчак В.П. Дмитрів Г.М. Розрахунок енергетичних параметрів гібридної системи теплопостачання фермерського будинку. Метод. вказівки до виконання курсового проекту. Львів, ЛДАУ, 2005. -36 с.
7. Гальчак В.П., Боярчук В.М., Сиротюк С.В., Коробка С.В., Станицький Т.О. Сонячна енергія та інсоляція: Монографія. Львів, Магнолія 2006, 2024. 242 с.
8. Єнін П.М., Швачко Н.А. Теплопостачання (частина 1 "Теплові мережі та споруди"). Навчальний посібник. Київ : Кондор, 2007. 244 с.
9. Кінаш Р., Бурнаєв О. Вітрове навантаження і вітроенергетичні ресурси в Україні. Львів.: Видавництво науково-технічної літератури, 1998. 1152 с.
10. Коробко О. В., Троян Ю. І. Методичні вказівки до практичної роботи "Моделювання процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій на виробництві" з дисципліни "Охорона праці в галузі" для студентів всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. 18 с.
11. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. 984 с.

12. Крикавський Є.В., Косар Н.С., Мороз Л.А. Маркетинг енергозабезпечення. Монографія. Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2001. 196 с.
13. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. К. : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
14. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підруч. К. : НТУУ "КПІ", 2012. 492 с.
15. Маляренко В.А. Енергетика і навколишнє середовище. Х.: Видавництво САГА, 2008. 364 с.
16. Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс: Навч. посіб. 2-е видання. Х.: Видавництво САГА, 2008. 320 с.
17. Сиворакша В.Ю., Марков В.П., Петров Б.Є. та ін. Теплові розрахунки геліосистем. Моногр. Д.: Вид-во Дніпропетр. Ун-ту, 2003. 132 с.
18. Сиротюк С. В. Оцінка надходження відновлюваних джерел енергії на сприймаючу поверхню. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Львів : ЛНАУ, 2015. 17 с.
19. Сиротюк С. В. Проектування і обслуговування вітроелектричних систем. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Львів : ЛНАУ, 2015. 17 с.
20. Сиротюк С. В. Проектування і обслуговування сонячних систем електропостачання. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" для студентів спеціальності 141

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Львів : ЛНАУ, 2015. 36 с.

- 21.Сиротюк С. В. Проектування і обслуговування сонячних систем теплопостачання. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Львів : ЛНАУ, 2015. 24 с.
- 22.Сиротюк С. В., Боярчук В. М., Гальчак В. П. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру. Львів: "Магнолія 2006", 2017. 182 с.
- 23.Шмат К.І., Диневич Г.Ю., Карманов В.В. та ін. Конструкції та розрахунок енергетичних засобів в сільському господарстві. Херсон: Олді-плюс, 2004. 236 с.
- 24.Щербина О.М. Енергія для всіх. Технічний довідник. Ужгород: Вид-во В. Падяка, 2000. 200 с.

Додатки

Додаток А

Формальний опис алгоритму роботи системи у вигляді псевдокоду

Нижче поданий псевдокод описує роботу центрального контролера системи автоматичного керування енергетичними потоками. Алгоритм передбачає періодичне опитування датчиків, аналіз поточної та прогнозної інформації, вибір активних джерел тепла, режиму теплової помпи та ступеня використання вітроустановки і зовнішньої мережі.

Початок

Ініціалізація системи:

Завантажити налаштування користувача:

задані температури приміщень $T_{\text{зад}}$,
температурні графіки для системи опалення,
допустимі межі температури в буферному баку $T_{\text{бак_мін}}$, $T_{\text{бак_макс}}$,
пріоритети використання джерел (ВДЕ $\rightarrow$ тепла помпа $\rightarrow$ газовий котел $\rightarrow$ мережа).

Встановити початкові стани виконавчих механізмів:

вимкнути газовий котел,
перевести теплову помпу в черговий режим,
закрити всі змішувальні клапани до нейтрального положення,
встановити циркуляційні насоси у режим очікування.

Ініціалізувати зв'язок з вітроустановкою, джерелом прогнозу погоди, внутрішньою мережею обміну даними.

Основний цикл керування (виконується з інтервалом Δt , наприклад 30–60 секунд):

1. Зчитування поточних даних:

виміряти температуру внутрішнього повітря $T_{\text{вн}}$ у репрезентативних приміщеннях;
виміряти температуру подаючої лінії опалення $T_{\text{под}}$;
виміряти температуру зворотної лінії $T_{\text{зв}}$;
виміряти температуру в буферному баку $T_{\text{бак}}$;
виміряти температуру в контурі сонячних колекторів $T_{\text{кол_под}}$, $T_{\text{кол_зв}}$;
виміряти температуру джерела тепла для теплової помпи $T_{\text{джер}}$;
виміряти температуру зовнішнього повітря $T_{\text{зовн}}$;
виміряти потужність вітроустановки $P_{\text{ветр_пот}}$;
виміряти потужність, споживану тепловою помпою $P_{\text{ТП_ел}}$;
виміряти потужність, що береться/віддається у мережу $P_{\text{мережа}}$.

2. Отримання прогнозних даних:

отримати прогноз температури зовнішнього повітря $T_{\text{зовн_прогн}}(t)$, $t = 1 \dots N$ годин;
отримати прогноз швидкості вітру $V_{\text{ветр_прогн}}(t)$ або прогноз потужності вітрової генерації $P_{\text{ветр_прогн}}(t)$;
отримати прогноз сонячної радіації $G_{\text{прогн}}(t)$ для оцінки роботи сонячних колекторів;
при необхідності отримати прогноз теплового навантаження $Q_{\text{нагр_прогн}}(t)$ на основі історії та температури.

3. Оцінка поточного теплового навантаження:
 - визначити відхилення внутрішньої температури $\Delta T_{\text{вн}} = T_{\text{зад}} - T_{\text{вн}}$;
 - розрахувати необхідну теплову потужність $Q_{\text{потр_опал}}$ для системи опалення за температурною кривою;
 - оцінити додаткове навантаження на приготування ГВП $Q_{\text{потр_ГВП}}$;
 - визначити сумарне необхідне теплове навантаження $Q_{\text{потр_заг}} = Q_{\text{потр_опал}} + Q_{\text{потр_ГВП}}$;
 - оцінити запас тепла в буферному баку $Q_{\text{бак_запас}}$ на основі $T_{\text{бак}}$ і об'єму бака.
4. Аналіз можливостей сонячної теплової установки:
 - якщо $T_{\text{кол_под}} - T_{\text{бак}} \geq \Delta T_{\text{кол_мін}}$ і $G_{\text{прогн}}(t)$ в найближчий час достатньо велика,
 - дозволити роботу сонячного контуру;
 - задати режим насоса сонячного контуру для максимального відбору тепла;
 - інакше
 - перевести сонячний контур у черговий режим.
5. Оцінка ефективності роботи теплової помпи:
 - на основі $T_{\text{джер}}$, $T_{\text{под}}$ та типу теплової помпи оцінити миттєвий $\text{COP}_{\text{поточний}}$;
 - якщо доступні історичні дані, оцінити сезонний SPF або його поточну оцінку;
 - порівняти $\text{COP}_{\text{поточний}}$ з мінімально допустимим значенням $\text{COP}_{\text{мін}}$.
6. Аналіз доступної вітрової потужності:
 - оцінити $P_{\text{ветр_пот}}$ (миттєва потужність) та інтегральний запас енергії в найближчий проміжок часу на основі $P_{\text{ветр_прогн}}(t)$;
 - визначити, яку частку теплового навантаження можна покрити роботою теплової помпи, живленої від вітру, з урахуванням $\text{COP}_{\text{поточний}}$.
7. Прийняття рішення щодо основного джерела тепла:
 - Якщо $Q_{\text{потр_заг}} \approx 0$ (немає запиту на тепло) і $T_{\text{бак}} \geq T_{\text{бак_мін}}$:
 - усі джерела тепла перевести у черговий режим;
 - завершити поточний цикл.
 - Інакше:
 - Якщо $P_{\text{ветр_пот}}$ достатня для живлення теплової помпи в заданому режимі і $\text{COP}_{\text{поточний}} \geq \text{COP}_{\text{мін}}$:
 - встановити теплову помпу як основне джерело тепла;
 - задати їй теплову потужність $Q_{\text{ТП}}$ згідно з $Q_{\text{потр_заг}}$ та можливостями джерела;
 - живлення теплової помпи здійснювати в пріоритеті від вітроустановки;
 - дефіцит електричної потужності при потребі покривати з мережі;
 - газовий котел залишити у резервному режимі.
 - Інакше, якщо $P_{\text{ветр_пот}}$ недостатня, але $\text{COP}_{\text{поточний}}$ все ще $\geq \text{COP}_{\text{мін}}$ і тарифи на електроенергію прийнятні:
 - дозволити роботу теплової помпи від зовнішньої мережі;
 - розрахувати $Q_{\text{ТП}}$ таким чином, щоб мінімізувати витрати електроенергії з мережі;

за потреби дозволити часткову роботу газового котла для догріву до необхідної температури $T_{\text{под}}$.

Інакше, якщо $\text{COP}_{\text{поточний}}$ низький (робота теплової помпи економічно не вигідна) АБО є обмеження по максимальній споживаній потужності:

- встановити газовий котел як основне джерело тепла;
- теплова помпа переводиться у допоміжний режим або вимикається;
- при наявності вітрової потужності дозволити роботу теплової помпи тільки на підвищення $T_{\text{бак}}$ у періоди надлишкової генерації.

8. Врахування прогнозу погоди та теплового навантаження:

якщо прогнозується різке зниження температури зовнішнього повітря через кілька годин:

у період наявної вітрової генерації або доброї роботи теплової помпи підвищити температуру в буферному баку до $T_{\text{бак_макс}}$;

якщо прогнозується підвищення температури та зменшення теплового навантаження:

уникати зайвого перегріву бака, знизити потужність джерел тепла;

якщо прогнозується значне зростання швидкості вітру:

- підготувати систему до збільшення роботи теплової помпи від вітроустановки,
- запланувати перенесення частини теплового навантаження на період високої вітрової генерації.

9. Формування керуючих сигналів:

встановити положення змішувальних клапанів для досягнення потрібної температури подачі $T_{\text{под}}$;

задати частоту обертання циркуляційних насосів згідно з гідравлічними та енергетичними вимогами;

подати команду на запуск або зупинку теплової помпи;

подати команду на запуск або зупинку газового котла;

при необхідності скоригувати режим роботи вітроустановки (якщо це допускається схемою підключення);

оновити дані для інтерфейсу користувача, журналу подій та архіву.

10. Перевірка аварійних станів:

якщо виявлено аварійну подію (перегрів, перевищення тиску, відсутність потоку, відмова датчика, аварія вітроустановки, відмова теплової помпи чи котла):

негайно перевести систему у безпечний режим;

зафіксувати код аварії, повідомити оператора;

при можливості забезпечити мінімальний тепловий режим за рахунок доступних і безпечних джерел.

Кінець основного циклу, перехід до наступної ітерації.

Кінець