

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Рівень вищої освіти – другий "магістерський" рівень

на тему: **„ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ
ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ФЕРМИ ВРХ НА БАЗІ ОБЛАДНАННЯ
ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ”**

Виконав: студент 6 курсу групи Ен-61
Спеціальності 141 „Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва)

Коновал Михайло Олегович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: к.т.н., доцент Гошко М. О.
(Прізвище та ініціали)

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.

" ____ " _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Коновалу Михайлу Олеговичу

1. Тема роботи: "ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ФЕРМИ ВРХ НА БАЗІ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ"

Керівник роботи: Сиротюк Сергій Валерійович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від 28.04.2023 року № 133/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 08.01.2024 року.

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

4. Перелік питань, які необхідно розробити

4.1. Актуальність теми, мета і завдання дослідження.

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

4.3. Інженерно-технічна реалізація комбінованої системи енергозабезпечення 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: 28.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Актуальність теми, мета і завдання дослідження	28.04.2023-31.05.2023	
2	Аналіз споживання енергії та оцінка потенціалу відновлюваних джерел енергії	1.06.2023-15.08.2023	
3	Інженерно-технічна реалізація комбінованої системи енергозабезпечення об'єкта	16.08.2023-31.10.2023	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	1.11.2023-20.11.2023	
5	Обґрунтування прийнятих рішень	21.11.2023-10.12.2023	
6	Завершення оформлення ілюстративної частини роботи	11.12.2023-31.12.2023	
7	Завершення роботи в цілому	1.01.2024-8.01.2024	

Студент _____ Коновал М. О.
(підпис)

Керівник роботи _____ Сиротюк С. В.
(підпис)

УДК 631.3

Обґрунтування структури системи енергопостачання ферми ВРХ на базі обладнання відновлюваної енергетики. Коновал М. О. Кваліфікаційна робота. Кафедра енергетики. Дубляни. Львівський НУП, 2024.

76 с. текст. част., 17 рис., 22 табл., бібл. джерел 12 найм.

Здійснено аналіз регіону розташування досліджуваної ферми ВРХ стосовно її географічного положення, кліматичної ситуації тощо. Обґрунтовано актуальність теми кваліфікаційної роботи, яка стосуватиметься розробки системи енергозабезпечення тваринницького комплексу тепловою та електричною енергією за рахунок відновлюваних джерел енергії. Сформульовано мету і завдання роботи.

Розглянуто загальні питання щодо оцінки рівня споживання енергетичних ресурсів, проведено теоретичне дослідження рівня споживання теплової та електричної енергії на технологічні потреби тваринницької ферми в розрізі місяців року. Досліджено енергетичний потенціал тепла навколишнього середовища, енергії вітру та сонця.

Здійснено розробку раціональної структури комплексної системи енергопостачання досліджуваного об'єкта, визначено параметри окремих її складових, побудовано енергетичні баланси.

Здійснено аналіз стану безпеки праці при експлуатації енергетичних установок, та розроблено заходи щодо його покращення, розглянуто питання захисту в надзвичайних ситуаціях.

Здійснено оцінку економічної ефективності застосування комплексної системи енергозабезпечення тваринницької ферми з використанням обладнання відновлюваної енергетики. За результатами економічної оцінки обґрунтовано раціональну структуру та параметри її елементів.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	6
1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	7
1.1 Характеристика предмету і об'єктів дослідження	7
1.2 Обґрунтування актуальності теми роботи	11
1.3 Мета і завдання роботи	13
2 АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ТА ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	15
2.1 Загальні питання споживання енергетичних ресурсів	15
2.2 Визначення рівня споживання теплової енергії досліджуваним об'єктом	18
2.3 Визначення рівня споживання електричної енергії досліджуваним об'єктом	22
2.4 Визначення енергетичного потенціалу відновлюваних джерел	30
3 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТА	36
3.1 Розробка схеми комбінованої системи енергозабезпечення об'єкта	36
3.2 Теплозабезпечення об'єкта за рахунок відновлюваних джерел енергії	40
3.3 Електрозабезпечення об'єкта за рахунок відновлюваних джерел енергії	42
3.4 Комбіноване енергозабезпечення об'єкта за рахунок відновлюваних джерел енергії	53

4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	58
4.1	Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації електроенергетичного обладнання	58
4.2	Моделювання процесів формування і виникнення виробничих небезпек під час експлуатації енергетичних установок	61
4.3	Розробка заходів запобігання травм і аварій під час енергозабезпечення тваринницьких ферм	65
4.4	Безпека в надзвичайних ситуаціях	66
5	ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	68
	ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	72
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	75

ВСТУП

Одним із напрямів розвитку енергетичної галузі народного господарства є екологізація генерації енергії, як теплової, так і електричної. Зазвичай сільськогосподарські підприємства користуються централізованою мережею, як найбільш поширеним способом постачання електричної енергії. Крім високого рівня надійності електропостачання, особливо для тваринницьких комплексів, централізована електромережа забезпечує універсалізацію передачі необхідного обсягу електричної енергії.

Сучасні тенденції розвитку енергетичного господарства зумовлюють поступовий перехід до використання відновлюваних джерел енергії. Зокрема, для генерування електричної енергії, поширеними стають вітрогенератори та сонячні фотоелектричні установки. особливістю зазначених енергетичних установок є те, що вони можуть здійснювати генерування електроенергії безпосередньо на місці її споживання без застосування довгих ліній електропередач.

Однією із особливостей використання відновлюваних джерел енергії є нерегулярність надходження енергії з навколишнього середовища, а відповідно і відносно низька надійність таких енергетичних систем. У випадку створення гібридних систем енергозабезпечення з використанням двох і більше енергетичних джерел суттєво зростає стабільність електрогенерації. Саме такий принцип покладено і у створення гібридної системи електропостачання тваринницької ферми з використанням вітроелектричної та сонячної фотоелектричної установок. Оскільки ефективно використання енергетичних систем залежить від обґрунтування її структури, то одним із питань, яке розглядалось в роботі є техніко-економічний аналіз ефективності застосування гібридної системи.

1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Характеристика предмету і об'єктів дослідження

1.1.1 Аналіз регіону розташування об'єкта

За адміністративно-територіальним поділом фермерське господарство "Агротем" відноситься до Львівського району Львівської області. Центральна садиба господарства знаходиться в селі Селисько.

Розташоване у Львівському районі Львівської області за 27 км на південь від обласного центру м. Львів, та за 24 км на південному сході від адміністративного центру с. Солонка (рис. 1.1).

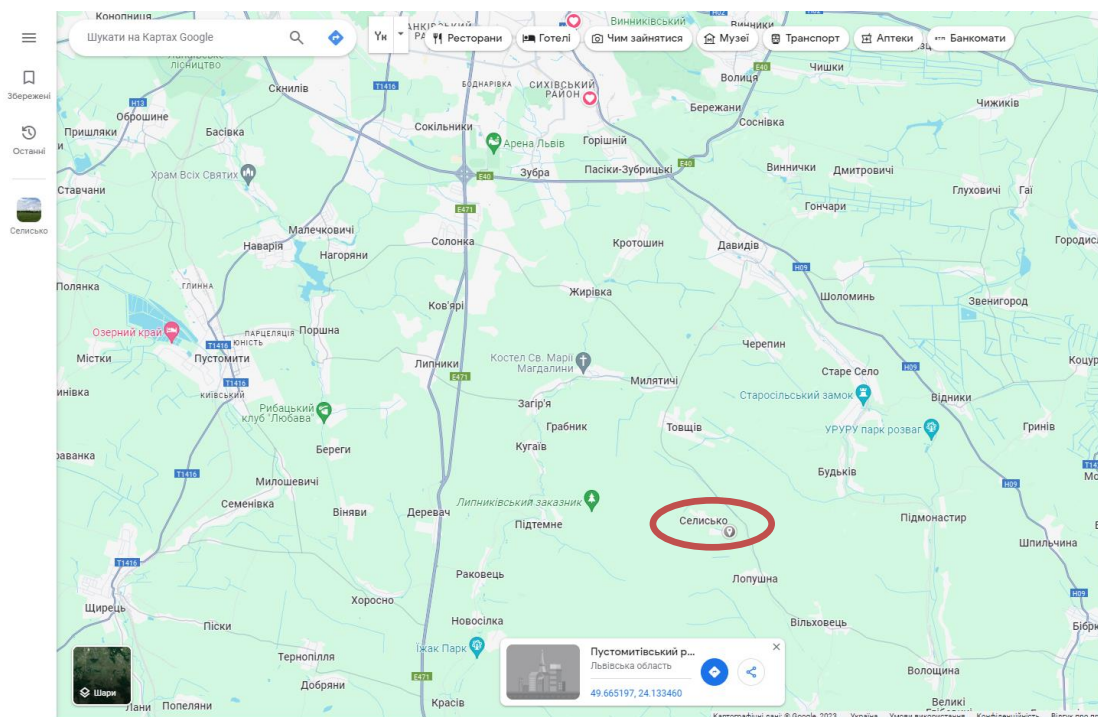


Рисунок 1.1 – Розташування населеного пункту Селисько на території Львівського району Львівської області

Село є малозаселеним, тут мешкає трохи більше як 170 осіб. Тут зареєстровано два підприємства, які діють по сьогодні: фермерське господарство "Агротем", яке є об'єктом дослідження, а також сироварня

"Джерсей", тобто, в селі розвиваються тільки сільськогосподарські підприємства.

Підприємство розташоване на околиці села, що усуває конфлікти з населенням щодо можливого його впливу на якість повітря, води тощо (рис.1.2).



Рисунок 1.2 – Розташування досліджуваного підприємства на території села Селисько

Клімат в селі відноситься до помірно-континентального, яким характеризується Львівська область.

Клімат у регіоні дослідження є помірно континентальним із невиразно вираженою зимою та теплим літом. У січні середньомісячна температура повітря становить приблизно $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, тоді як у липні вона піднімається до $+19\text{ }^{\circ}\text{C}$. Максимальний показник температури повітря ($+37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) був зафіксований у серпні 1921 року, абсолютний мінімум ($-33,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) відзначений 10 лютого 1929 року. Найбільша кількість опадів (1 422 мм) припала на 1893 рік. Протягом останніх 100-120 років спостерігається тенденція до підвищення середньорічної температури повітря, яка зросла принаймні на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вологість повітря становить у середньому 79% на рік. Західні вітри переважають, найрідше віє північно-східний вітер.

Львівщина вирізняється найвищою кількістю опадів і найнижчими літніми температурами серед всіх обласних центрів України. Це обумовлено, можливо, найменшою континентальністю місцевого клімату серед великих міст країни. У середньому за рік тут випадає 767 мм атмосферних опадів, з найменшою кількістю у січні та найбільшою у липні. Протягом року у місті можна очікувати опади в середньому протягом 174 днів.

Протягом усього року спостерігаються значні коливання атмосферного тиску, температур і вологості повітря. Зими виражаються м'якими, з рідкими морозами нижче $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Стійкий сніжний покрив встановлюється не щороку. Весна прохолодна та дощова, і можливі заморозки і снігопади до початку травня. Літо вважається прохолодним, з типовими денними температурами в межах $+20\text{-}25\text{ }^{\circ}\text{C}$, і рідко спостерігається спека вище $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Літні місяці часто супроводжуються грозовими зливами і різкими перепадами температур при проходженні атмосферних фронтів. Крім того, практично щорічно спостерігаються ураганні вітри, що можуть призводити до повалення дерев, обриву електропередач, та невеликих руйнувань. Осінь вважається помірно теплою і сухою, і тривалість вегетаційного періоду становить 215 днів.

Основні показники кліматології досліджуваного регіону подано у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Кліматичні показники регіону дослідження

Показник	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.	Рік
Абсолютний максимум, $^{\circ}\text{C}$	14,9	17,7	22,4	28,9	32,2	34,1	36,3	35,6	34,5	25,6	21,6	16,5	36,3
Середній максимум, $^{\circ}\text{C}$	0,2	2	7	14,5	19,5	23	24,7	24,5	19	13,2	6,8	1,5	13
Середня температура, $^{\circ}\text{C}$	-3,5	-2,8	1,4	8,7	14,7	17,4	19,4	19,1	14,2	8,8	2,1	-2,5	8,3
Середній мінімум, $^{\circ}\text{C}$	-5,7	-4,8	-1,4	3,8	8,4	12	13,7	13,2	8,7	4,4	0,4	-4,1	4,1
Абсолютний мінімум, $^{\circ}\text{C}$	-28,5	-29,5	-25	-12,1	-5	0,5	4,5	2,6	-3	-13,2	-17,6	-25,6	-29,5
Норма опадів, мм	45.5	47.7	48.1	51.9	93.4	86.3	96.2	72.5	69.9	56.6	49.7	49.5	767.3

1.1.2 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта

Фермерське господарство "Агротем" утворене у 2014 році. Основним видом діяльності досліджуваного господарства є розведення великої рогатої худоби молочних порід та вирощування продукції рослинництва, в тому числі й зернових культур.

Основні виробничі потужності сконцентровані на околиці села Селисько (рис.1.3).



Рисунок 1.3 – Генеральний план фермерського господарства "Агротем":
 1 – корівник; 2 – корівник; 3 – телятник; 4 – кормоцех; 5 – склад; 6 – зернотік;
 7 – тимчасова будівля для сіна; 8 – офісне приміщення; 9 – гноєсховище; 10 –
 силосна траншея; 11 – трансформаторна підстанція; 12 – водонапірна башта

Компактне розміщення основних потужностей тваринницького комплексу дозволяє забезпечити якісне енергозабезпечення об'єкта, з

використанням однієї підстанції з мінімальною довжиною зовнішніх електромереж. Підприємство отримує електропостачання від центральної електромережі з напругою 10 кВ, використовуючи трансформаторну підстанцію з потужністю 100 кВА, яка понижує напругу до 0,4 кВ.

Виробничі приміщення в досліджуваному господарстві електричну енергію крім основних технологічних процесів кормоприготування, доїння корів, освітлення тощо, також використовують як джерело теплоти для забезпечення гарячого водопостачання та опалення. Господарство організовує водопостачання від власної свердловини. Свердловина знаходиться на відстані 400 м від водонапірної башти підприємства для уникнення забруднення води гноївкою, яка накопичується на території ферми. Вода використовується як для виробничих, так і для побутових потреб. Технологічні стоки з виробничих та адміністративних приміщень підприємства піддаються утилізації за допомогою локальних систем очищення, таких як вигрібні ями, септики та інші.

На підприємстві всі системи енерго- та ресурсопостачання обладнані лічильниками, які служать для обліку та контролю використання енергії та ресурсів.

1.2 Обґрунтування актуальності теми роботи

Тваринницькі комплекси, крім значних трудових ресурсів, споживають великі обсяги енергії та сировинних ресурсів. Зокрема, щодо сировинних ресурсів, таких як корми, кормові добавки, вода та інші, їх ефективне використання пов'язане з належною організацією системи годівлі тварин. Ця система може бути оптимізована враховуючи структуру поголів'я тварин, їхню продуктивність та інші важливі чинники.

Щодо енергетичних ресурсів, їх можна розділити на дві групи: енергетичні ресурси для мобільних технологічних процесів та ті, які використовуються в стаціонарних технологічних процесах.

Оптимізація енергетичних ресурсів у мобільних технологічних процесах представляє собою складне інженерне завдання, яке вирішується систематичною організацією праці персоналу, уважним відбором енергетичних рушіїв та їхніх додаткових установок, нормуванням часових параметрів виконання технологічних операцій тощо. Серед ключових енергетичних ресурсів, що використовуються для забезпечення мобільних технологічних процесів, основна частина припадає на транспортні операції, включаючи використання дизельного палива та різних марок бензинів.

Обґрунтування енергетичних витрат на виконання стаціонарних технологічних процесів, передусім, визначається структурою цих процесів, яка включає чітку часову хронограму їх виконання, ритмічність, потоковість та інші фактори.

На молочно-товарній фермі стаціонарні технологічні процеси можна поділити на дві групи: ті, що безпосередньо пов'язані з виробництвом тваринницької продукції, і ті, які задовольняють загальновиробничі потреби, включаючи підтримання мікроклімату. До першої групи технологічних процесів, безпосередньо пов'язаних із виробництвом, можна віднести: приготування кормів у кормоцеху та їх роздачу з використанням транспортерів, доїння корів та первинну обробку і зберігання молока, видалення гною. До другої групи технологічних процесів, які забезпечують загальновиробничі потреби, включаючи мікроклімат, відносяться: підігрів води для технологічних та побутових потреб, електроосвітлення, вентиляція приміщень, опалення тощо.

На досліджуваній тваринницькій фермі основним енергетичним ресурсом, який використовується для забезпечення стаціонарних технологічних процесів є електрична енергія, яка крім основного

електроприводу, застосовується для забезпечення теплових потреб. Відповідно до цього спостерігається значна витрата коштів на її придбання.

Вирішення питань якісного енергопостачання об'єктів може бути вирішене різними методами: підвищенням рівня надійності та якості традиційного енергопостачання з використанням електроенергії, рідкого та газоподібного палива тощо; оптимізації використання енергії на потреби технологічних процесів за рахунок реструктуризації технологічного процесу, застосування засобів автоматизації, раціоналізації технічних засобів тощо; диверсифікація енергопостачання об'єктів з використанням відновлюваних джерел енергії, які серед іншого дозволять знизити навантаження традиційні енергомережі, підвищить надійність енергопостачання, покращить режим роботи традиційних енергомереж, покращить екологічну ситуацію в регіоні використання обладнання відновлюваної енергетики тощо.

Об'єктом нашого дослідження є процес виробництва продукції тваринництва, організований з метою підвищення економічної ефективності діяльності сільськогосподарського підприємства.

Предметом дослідження є структура гібридної системи енергозабезпечення тваринницької ферми ВРХ, що реалізована на базі обладнання перетворення енергії вітру та сонця в електричну, а також теплопомпова установка для виробництва теплової енергії. Ця енергетична система спрямована на підвищення прибутковості виробництва, зменшення навантаження на зовнішню електричну мережу та поліпшення екологічної ситуації в регіоні тощо.

1.3 Мета і завдання роботи

Метою даної роботи є обґрунтування раціональної структури та визначення основних параметрів гібридної системи електропостачання

тваринницької ферми ВРХ сільськогосподарського підприємства, яка базуватиметься на обладнанні перетворення енергії вітру та сонця в електричну, а також енергії навколишнього середовища у теплову. За рахунок реалізації такої системи можна буде очікувати різкого зниження споживання електроенергії на виробничі та інші потреби підприємства, що підвищить його економічні показники господарської діяльності.

Для реалізації поставленої мети необхідно виконати наступне:

- визначити рівень споживання теплової та електричної енергії на потреби виробничих процесів тваринницької ферми загалом та в розрізі окремих технологічних процесів;
- дослідити наявність природного енергетичного потенціалу сонячного випромінювання, вітру та тепла ґрунту;
- розробити структуру комбінованої системи енергопостачання тваринницької ферми у складі вітроелектричної, сонячної фотоелектричної та теплопомпової установок;
- на підставі виконаних розрахунків параметрів енергетичних засобів та енергетичних балансів установок та системи обґрунтувати раціональну структуру комбінованої системи енергозабезпечення тваринницької ферми;
- проаналізувати стан з охорони праці під час експлуатації енергетичних установок та розробити заходи з її покращення;
- на підставі економічного аналізу завершити обґрунтування структури та параметрів комбінованої системи енергозабезпечення тваринницької ферми.

2 АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ТА ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

2.1 Загальні питання споживання енергетичних ресурсів

Для якісного вирішення питання електро- та тепlopостачання тваринницьких ферм необхідно мати чітку уяву про обсяги споживання відповідних енергетичних ресурсів. Це можливо за умови запровадження системи енергоменеджменту на досліджуваному підприємстві. Серед основних заходів, які передбачено цією системою є поточний контроль за рівнем споживання енергетичних ресурсів з використанням різного роду вимірювачів, до яких можна віднести, наприклад, вимірювач параметрів електромережі типу ZGCJ AC 0-50A-200A 3 phase 4 wire multifunction power meter (рис. 2.1), який обладнаний трьома зовнішніми давачами струму, які забезпечують пофазний контроль протікання струму.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд трифазного аналізатора електромережі системи моніторингу

В нашому випадку, з врахуванням того, що відсутні енергетичні ресурси для забезпечення теплових процесів, можна здійснити загальний контроль споживання електроенергії, яка подається за різними технологічними потребами. Результати вимірювання рівня споживання електроенергії досліджуваним підприємством подано в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Споживання електричної енергії на потреби досліджуваного підприємства

Місяць року	Рік споживання		
	2021	2022	2023
1	8146	7613	8398
2	10773	10773	8653
3	10312	4830	10388
4	6762	8474	8436
5	7830	9358	7986
6	6345	6930	7919
7	6723	6872	8201
8	7207	8254	7688
9	8028	8199	7939
10	7446	7374	7228
11	7574	5723	6723
12	8441	6723	9348
Разом	97608	93145	100930

Отже, за даними контрольного вимірювання за роками дослідження виявлено, що споживання електроенергії не носить системний характер, який дозволив би чітко відобразити сезонні особливості споживання енергії. Це можна більш наглядно відобразити графічною залежністю, яка подана на рис. 2.2. Можна лише відзначити, що пік споживання електроенергії за всіма роками спостерігається у лютому-березні, а мінімум – у листопаді. Хоча в деякі роки мінімум спостерігається і у січні та березні. Це певною мірою буде ускладнювати питання якісного та надійного енергопостачання,

оскільки буде важко підібрати раціональну структуру системи генерації, яка в відповідала динаміці споживання.

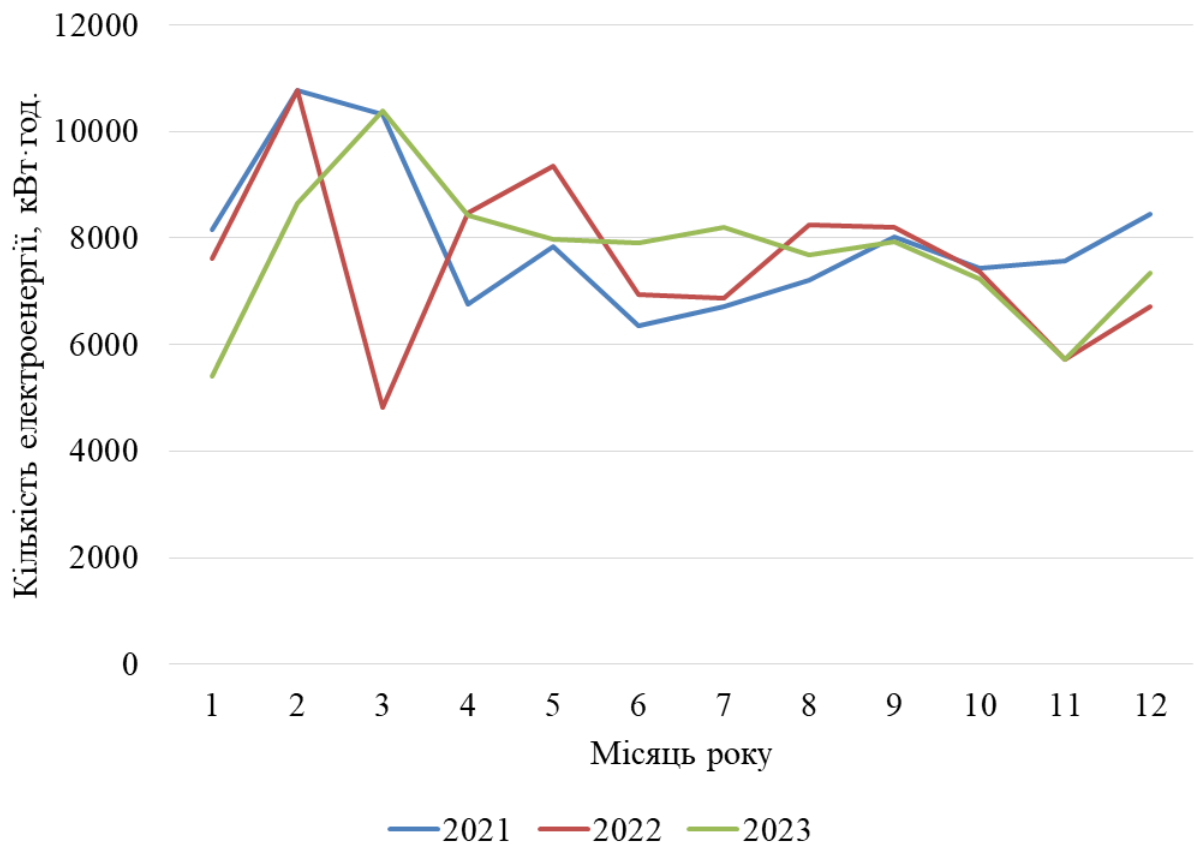


Рисунок 2.2 – Динаміка споживання електроенергії досліджуваним підприємством

Для більш чіткого розуміння та формування динаміки споживання енергетичних ресурсів доцільно здійснити технологічний розрахунок поряд із поточним контролем рівня споживання. Це дозволить виокремити ті процеси, які потребуватимуть коригування стосовно раціонального використання ресурсів, вирішення питання диверсифікації первинного джерела енергії для цих процесів тощо.

Здійснимо технологічний розрахунок помісячного планового рівня споживання енергетичних ресурсів за видами процесів, які потребують різні види енергії, але які на даний час забезпечуються лише електричною енергією.

2.2 Визначення рівня споживання теплової енергії досліджуваним об'єктом

2.2.1 Визначення необхідного обсягу теплової енергії для системи опалення

Потужність системи опалення, яка забезпечить компенсацію тепловтрат будівлі визначається за формулою

$$P_{те} = q_0 \cdot V_{б\ddot{y}д} \cdot (t_{вс} - t_{нс}), \quad (2.1)$$

де q_0 – питома потужність тепловтрат будівлі, Вт/м³·град; $V_{б\ddot{y}д}$ – опалювальний об'єм будівлі за зовнішніми обмірами, м³; $t_{вс}$ – внутрішня температура повітря всередині будівлі, °С; $t_{нс}$ – поточна температура повітря навколишнього середовища, °С.

Цей розрахунок виконується за середньомісячними значенням температури повітря навколишнього середовища, які для умов досліджуваного регіону подано в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Середньомісячні температури навколишнього середовища в умовах досліджуваного регіону $t_{нс}$

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

Для визначення габаритної потужності системи опалення слід розрахувати її максимальну потужність, яка розраховується для умов найхолоднішої п'ятиденки в зимовий період, відповідно до вимог державних будівельних норм України $t_{нс}^{\min}$:

$$P_{он}^{\max} = q_0 V_{б\ddot{y}д} (t_{вс} - t_{нс}^{\min}), \quad (2.2)$$

$$P_{он}^{\max} = 0,45 \cdot 3094 \cdot (18 - (-3,5)) = 29906,6 \text{ Вт.}$$

Це значення буде необхідним для вибору типу та параметрів теплогенерувальної установки, яка повинна забезпечити відповідний тепловий комфорт у вибраних будівлях.

Як було вказано раніше теплове навантаження системи опалення розраховується за даними середньомісячної температури повітря навколишнього середовища t_{nc} :

$$Q_{on}^{\partial} = 86,4 q_0 V_{б\text{уд}} (t_{вс} - t_{nc}). \quad (2.3)$$

$$Q_{on}^{\partial} = 86,4 \cdot 0,45 \cdot 3094 \cdot (18 - -3,5) = 2583,93 \text{ МДж.}$$

За даними середньоденної витрати тепла можна визначити місячну потребу в теплі для системи опалення:

$$Q_{on}^M = Q_{on}^{\partial} \cdot n. \quad (2.4)$$

$$Q_{on}^M = 2583,93 \cdot 31 = 76502 \text{ МДж.}$$

Сумою теплових місячних потреб визначають річну потребу в теплі для системи опалення, з врахуванням фактичного опалювального періоду:

$$Q_{on}^p = \sum_{i=1}^{12} Q_{on}^M. \quad (2.5)$$

$$Q_{on}^p = 76502 + 69682 + 60464 + 32770 + \\ + 33514 + 55221 + 70381 = 398533 \text{ МДж.}$$

Результати розрахунків заносимо у табл. 2.2.

За наявної кількості теплової енергії в розрізі місяців опалювального періоду визначаються поточні значення потужності системи опалення за формулою:

$$P_{mn}^M = \frac{Q_{mn}^M}{24 \cdot n \cdot 3600}, \text{ кВт.} \quad (2.6)$$

$$P_{mn}^M = \frac{76502000}{24 \cdot 31 \cdot 3600} = 28,6 \text{ кВт.}$$

Результати цих розрахунків також заносимо у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Результати розрахунку теплових навантажень системи опалення

Місяць року	Параметр		
	$Q_{оп}^д$, МДж	$Q_{оп}^м$, МДж	$P_{тн}^м$, кВт
січень	2583,93	76502	28,6
лютий	2502,13	69682	27,8
березень	1996,89	60464	22,6
квітень	1116,34	32770	12,6
травень	-	-	-
червень	-	-	-
липень	-	-	-
серпень	-	-	-
вересень	-	-	-
жовтень	1104,31	33514	12,5
листопад	1912,69	55221	21,3
грудень	2466,04	70381	27,2
Разом	х	398533	х

2.2.2 Визначення необхідного обсягу теплової енергії для системи гарячого водопостачання

Гаряча вода на підприємстві використовується на багато цілей: санітарно-побутові потреби для персоналу; напування тварин; миття обладнання та підлоги тощо. За загальною оцінкою на фермі витрачається близько 300 л гарячої води, відповідно й розрахунок проведемо на даний об'єм. З врахуванням сезонної нерівномірності споживання гарячої води необхідно це врахувати коефіцієнтом нерівномірності споживання.

Отже, поточну добову теплову потребу в тепловій енергії для системи гарячого водопостачання визначаємо як:

$$Q_{зв}^i = 1,2 \cdot c_p \cdot \rho \cdot V \cdot (t_{зв} - t_{хв}) \cdot k_c, \text{ кДж.} \quad (2.7)$$

де c_p – 4,19 кДж/кг·град – питома теплоємність води; ρ = 1,0 кг/л – густина води; V – добовий обсяг споживання гарячої води, л; $t_{зв}$ = 55 °С – нормована

температура гарячої води в баку-акумуляторі, °С; $t_{хв}$ – температура холодної водопровідної води, °С; k_c – коефіцієнт нерівномірності споживання гарячої води впродовж року.

Отже, для першого місяця року добова теплова потреба в тепловій енергії для системи гарячого водопостачання буде рівною

$$Q_{зб}^d = 1,2 \cdot 4,19 \cdot 600 \cdot (45 - 5,3) \cdot 1 = 119767 \text{ кДж.}$$

Результати розрахунку подані в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Результати розрахунку потреби теплової енергії для системи гарячого водопостачання

Місяць року	Параметр				
	$t_{хв}$, °С	k_c	$Q_{зб}^d$, МДж	$Q_{зб}^M$, МДж	$P_{зб}^M$, кВт
січень	5,3	1	119,8	3714	0,689
лютий	4,9	1	121	3509	0,696
березень	3,8	1	124,2	3850	0,714
квітень	4,6	0,9	109,62	3289	0,7
травень	6	0,5	58,8	1823	0,676
червень	9,9	0,5	52,9	1587	0,608
липень	14,5	0,5	46	1426	0,529
серпень	16,4	0,5	43,1	1336	0,496
вересень	14,1	0,5	46,6	1398	0,536
жовтень	10,6	0,9	93,42	2896	0,597
листопад	8,1	1	111,4	3342	0,641
грудень	5,8	1	118,2	3546	0,68
Разом			х	31716	х

Тоді можна визначити середньомісячне значення потужності системи гарячого водопостачання за формулою:

$$P_{зб}^M = 1,15 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{зб}^d. \quad (2.8)$$

$$P_{зб}^M = 1,15 \cdot 10^{-5} \cdot 119767 = 1,38 \text{ кВт.}$$

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

$$Q_{zg}^M = Q_{zg}^d \cdot n, \text{ кДж} \quad (2.9)$$

$$Q_{zg}^M = 59883 \cdot 31 = 1856,9 \text{ МДж.}$$

Сумою місячних значень визначимо річну потребу в тепловій енергії для системи гарячого водопостачання:

$$Q_{zg}^P = \sum_{i=1}^{12} Q_{zg}^M, \text{ кДж} \quad (2.10)$$

$$Q_{zg}^P = 3714 + 3509 + 3850 + 3289 + 1823 + 1587 + 1426 + \\ + 1336 + 1398 + 2896 + 3342 + 3546 = 31716 \text{ МДж.}$$

2.2.3 Визначення сумарної кількості теплової енергії для систем тепlopостачання

Сумарна річна кількість теплової енергії для систем тепlopостачання тваринницької ферми визначається за формулою

$$Q^P = \sum_{i=1}^n Q_{on}^M + Q_{zg}^M, \text{ кДж} \quad (2.11)$$

Отже,

$$Q^P = 80216 + 73191 + 64314 + 36059 + 1823 + 1587 + 1426 + \\ + 1336 + 1398 + 36410 + 58563 + 73927 = 430249 \text{ МДж.}$$

2.3 Визначення рівня споживання електричної енергії досліджуваним об'єктом

2.3.1 Визначення рівня споживання електричної енергії на потреби технологічного обладнання

Витрату електроенергії на потреби технологічного обладнання визначимо за даними енергетичного аудиту з використанням вимірювача параметрів електромережі. Зокрема, було виміряно середньодобове споживання електроенергії, яке було інтерпольовано на кожен місяць

дослідження. Результати вимірювання фактичної витрати електроенергії для технологічного обладнання подано в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Помісячна витрата електроенергії для потреб технологічного обладнання

Місяць року	Кількість робочих днів	Добова витрата електроенергії, кВт·год.	Місячна витрата електроенергії, кВт·год.
Січень	31	166,9	5175
Лютий	29	187,5	5438
Березень	31	168,5	5223
Квітень	30	182,4	5472
Травень	31	213,4	6614
Червень	30	219,8	6593
Липень	31	216,5	6710
Серпень	31	200,6	6219
Вересень	30	208,3	6249
Жовтень	31	169,1	5241
Листопад	30	170,7	5121
Грудень	30	177,6	5328
ВСЬОГО	365	x	69383

За даними середньодобових значень можемо визначити середньомісячне споживання електроенергії за формулою

$$E_{то}^M = E_{то}^0 \cdot n_m, \quad (2.12)$$

де n_m – кількість робочих днів в місяці, днів.

Отже, отримаємо

$$E_{то}^M = 166,9 \cdot 31 = 5175 \text{ кВт·год.}$$

Результати розрахунку помісячної витрати електроенергії для потреб технологічного та побутового обладнання подано в табл. 2.5.

Річна витрата електроенергії для потреб технологічного та побутового обладнання визначимо як суму помісячних витрат

$$E_{\text{тор}} = \sum E_{\text{том}}. \quad (2.13)$$

Таким чином, отримаємо

$$E_{\text{тор}} = 5175 + 5438 + 5223 + 5472 + 6614 + 6593 + 6710 + 6219 + \\ + 6249 + 5241 + 5121 + 5328 = 69383 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

2.3.2 Визначення витрати електроенергії на потреби освітлення

Визначення витрати електроенергії для систем освітлення виконаємо за даними фактичної наявності освітлювальних приладів та режиму їх використання. Зокрема, слід виділити системи освітлення на дві частини: основне технологічне освітлення та вуличне освітлення. Проведемо розрахунок для кожної із частин.

Визначення витрати електроенергії на потреби основного технологічного освітлення

Визначимо потужність системи основного технологічного освітлення за формулою

$$P_{\text{ос}} = K_{\text{л}} \cdot P_{\text{л}}, \quad (2.14)$$

де $K_{\text{л}}$ – кількість ламп одного виду, шт.; $P_{\text{л}}$ – потужність лампи одного виду, Вт.

$$P_{\text{ос}} = 36 \cdot 40 = 1440 \text{ Вт.}$$

При роботі системи освітлення протягом 8 годин на добу можна визначити добову і місячну потребу в електроенергії для її живлення за формулою

$$E_{\text{осд}} = P_{\text{ос}} \cdot T_{\text{ос}} \cdot k_{\text{од}}, \quad (2.15)$$

де $T_{\text{ос}}$ – тривалість роботи системи основного освітлення, год.; $k_{\text{од}}$ – коефіцієнт одночасності вмикання освітлювальних приладів.

$$E_{\text{осм}} = N_{\text{ос}} \cdot T_{\text{ос}} \cdot n_{\text{м}} \cdot k_{\text{с}}. \quad (2.16)$$

Таким чином, отримаємо

$$E_{\text{осд}} = 1,44 \cdot 8 \cdot 0,7 = 8 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$E_{осм} = 8 \cdot 31 \cdot 1 = 248 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Результати розрахунку помісячної витрати електроенергії для основної системи освітлення подано в табл. 2.6.

Річна витрата електроенергії для потреб основної системи освітлення визначимо як

$$E_{оср} = \sum E_{осм}. \quad (2.17)$$

Таблиця 2.6 - Витрата електроенергії для потреб основної системи освітлення

Місяць року	Кількість робочих днів	Коефіцієнт одночасності ввімкнення	Коефіцієнт сезонного завантаження	Добова витрата електроенергії, кВт·год.	Місячна витрата електроенергії, кВт·год.
Січень	31	0,7	1	9	279
Лютий	29	0,7	1	9	261
Березень	31	0,6	0,95	8	236
Квітень	30	0,5	0,9	6	162
Травень	31	0,5	0,8	6	149
Червень	30	0,5	0,75	6	135
Липень	31	0,5	0,75	6	140
Серпень	31	0,5	0,8	6	149
Вересень	30	0,6	0,85	8	204
Жовтень	31	0,6	0,9	8	223
Листопад	30	0,7	1	9	270
Грудень	30	0,7	1	9	270
ВСЬОГО	251	x	x	x	2478

Отже, отримаємо

$$E_{оср} = 279 + 261 + 236 + 162 + 149 + 135 + 140 + 149 + \\ + 204 + 223 + 270 + 270 = 2478 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Розрахунок потреби в електроенергії для вуличного освітлення проводимо за методикою, викладеною вище. Вулична система освітлення

організована з використання 7 вуличних світильників типу КР-002 потужністю 38 Вт з світловим потоком 4250 лм.

Визначимо потужність системи вуличного освітлення за формулою

$$N_{\text{во}} = 12 \cdot 38 = 456 \text{ Вт.}$$

Далі розраховуємо добову, місячну та річну потребу в електроенергії для вуличного освітлення, а результати заносимо в табл. 2.7.

$$E_{\text{дод}} = 0,456 \cdot 14,49 = 4 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

$$E_{\text{вом}} = 4 \cdot 31 = 124 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

$$E_{\text{вop}} = 124 + 87 + 93 + 90 + 62 + 60 + 62 + 62 + \\ + 90 + 93 + 120 + 120 = 1063 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Таблиця 2.7 - Витрата електроенергії для вуличного освітлення

Місяць року	Кількість робочих днів	Добова витрата електроенергії, кВт·год.	Місячна витрата електроенергії, кВт·год.
Січень	31	4	124
Лютий	28	3	87
Березень	31	3	93
Квітень	30	3	90
Травень	31	2	62
Червень	30	2	60
Липень	31	2	62
Серпень	31	2	62
Вересень	30	3	90
Жовтень	31	3	93
Листопад	30	4	120
Грудень	31	4	120
ВСЬОГО	365	x	1063

Визначення витрати електроенергії на потреби всіх систем освітлення

Арифметичною сумою можемо визначити добову, місячну та річну потребу в електроенергії для всіх систем освітлення досліджуваного підприємства за формулами

$$E_{од} = E_{осд} + E_{аосд} + E_{вод}, \quad (2.18)$$

$$E_{ом} = E_{осм} + E_{аосм} + E_{вом}, \quad (2.19)$$

$$E_{ор} = \sum E_{осм} + \sum E_{аосм} + \sum E_{вом}. \quad (2.20)$$

Отже, отримаємо.

$$E_{од} = 9 + 4 = 13 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

$$E_{ом} = 279 + 124 = 403 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

Результати розрахунків витрати електроенергії для всіх систем освітлення досліджуваного підприємства заносимо в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 - Сумарна витрата електроенергії для всіх освітлювальних систем досліджуваного підприємства

Місяць року	Кількість робочих днів	Місячна витрата електроенергії, кВт·год.
Січень	31	403
Лютий	28	348
Березень	31	329
Квітень	30	252
Травень	31	211
Червень	30	195
Липень	31	202
Серпень	31	211
Вересень	30	294
Жовтень	31	316
Листопад	30	390
Грудень	31	390
ВСЬОГО	365	3541

$$E_{вор} = 403 + 348 + 329 + 252 + 211 + 195 + 202 + 211 + \\ + 294 + 316 + 390 + 390 = 3541 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

2.3.3 Визначення необхідної кількості електроенергії для потреб системи водопостачання

Тривалість роботи водяної помпи системи водопостачання визначається середньогодинною кількістю відборів води, тривалістю одного циклу водовідбору, а також коефіцієнтом нерівномірності споживання води. Для розрахунку місячного періоду використання електроенергії також необхідно врахувати сезонну нерівномірність водоспоживання.

Визначимо тривалість роботи водяної помпи системи водопостачання за формулою

$$T_g = \tau_g \cdot n_g \cdot \tau_c \cdot k_g, \quad (2.21)$$

де τ_g – тривалість одного циклу водовідбору, год.; n_g – кратність включень водяної помпи протягом години; k_g – коефіцієнт нерівномірності споживання води підприємством.

Отже, отримаємо

$$T_g = 0,04 \cdot 7 \cdot 6,13 \cdot 0,75 = 1,29 \text{ год.}$$

Добову, місячну та річну потребу в електроенергії для роботи водяної помпи системи водопостачання визначимо за аналогічними формулами

$$E_g^d = 1,55 \cdot 1,29 = 2 \text{ кВт}\cdot\text{год.};$$

$$E_{gm} = 2 \cdot 31 \cdot 0,8 = 50 \text{ кВт}\cdot\text{год.},$$

$$E_{gp} = 50 + 49 + 56 + 60 + 62 + 57 + 56 + 59 + \\ 60 + 62 + 54 + 51 = 676 \text{ кВт}\cdot\text{год.},$$

Розрахунок кількості електроенергії на потреби живлення водяної помпи системи водопостачання подано в табл. 2.9.

2.3.4 Визначення загальної кількості електроенергії для потреб об'єкта

Загальну кількість електроенергії, яку споживатиме досліджуваний об'єкт визначається яку алгебраїчна сума всіх технологічних потреб. Тобто

$$\sum E_d = E_{md} + E_{od} + E_{gd}. \quad (2.22)$$

$$\sum E_m = E_{mm} + E_{om} + E_{gm}. \quad (2.23)$$

$$\sum E_p = E_{mp} + E_{op} + E_{ep}. \quad (2.24)$$

Таблиця 2.9 – Потреби в електроенергії для живлення водяної помпи системи водопостачання

Місяць року	Кількість робочих днів	Коефіцієнт сезонності	Місячна витрата електроенергії, кВт·год.
1	31	0,8	50
2	29	0,85	49
3	31	0,9	56
4	30	1	60
5	31	1	62
6	30	0,95	57
7	31	0,9	56
8	31	0,95	59
9	30	1	60
10	31	1	62
11	30	0,9	54
12	30	0,85	51
ВСЬОГО	365		676

Отже, отримаємо

$$\sum E_o = 167 + 13 + 2 = 182 \text{ кВт·год.}$$

$$\sum E_m = 5175 + 403 + 50 = 5628 \text{ кВт·год.}$$

$$\sum E_p = 69383 + 3541 + 676 = 73600 \text{ кВт·год.}$$

З врахуванням того, що всі теплові процеси на підприємстві були організовані електронагрівом, то до загальних витрат електроенергії слід додати витрати електроенергії, які забезпечують отримання тепла на системи опалення та гарячого водопостачання.

Так, на систему опалення потрібно буде використати 23477 кВт·год., а на гаряче водопостачання – 4407 кВт·год.

Тоді сумарна витрата електроенергії на всі потреби досліджуваного підприємства становитиме

$$\sum E_p = 69383 + 3541 + 676 + 23477 + 4407 = 101484 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Якщо порівняти отримане значення із фактичною витратою, то бачимо, що загалом наші розрахунки відображають реальний стан системи електропостачання. Деякі відмінності можуть стосуватися впливу випадкових чинників на процес споживання електроенергії.

2.4 Визначення енергетичного потенціалу відновлюваних джерел

2.4.1 Визначення природного енергетичного потенціалу ґрунту

Якщо дивитися на ґрунт як на джерело тепла, тоді під терміном "верхній шар ґрунту" слід розуміти шар товщиною від 1,2 до 1,5 метра. Для видобуття тепла використовується теплообмінник, який розташований на незабудованій території неподалік від будівлі, яка потребує обігріву. Ґрунтове тепло, необхідне для витягування, представляє собою накопичену сонячну енергію, яка передається в ґрунт завдяки прямому нагріву сонячними променями, тепловіддачі повітря чи атмосферних опадів. Крім того, це джерело тепла відповідає за швидку регенерацію переохолодженого ґрунту після опалювального сезону. Тепло, що йде вгору з глибших шарів, складає всього 0,063 - 0,1 Вт/м², і як джерело тепла для верхніх шарів його можна ігнорувати.

У той час, важливо зазначити, що потужність, яка відбирається від ґрунту, коливається приблизно від 10 до 35 Вт/м² для горизонтального теплообмінника та від 20 до 100 Вт/м² для вертикального.

При розрахунках енергетичного потенціалу ґрунту також необхідно враховувати сезонні зміни температури, спричинені тепловим виснаженням при відборі тепла для потреб теплової помпи.

Для визначення енергетичного потенціалу ґрунту необхідно мати наявності параметри теплової потужності тепlopомпової установки. Зокрема, це включає параметри теплової продуктивності, холодопродуктивності та

потужності електроприводу, які взаємозалежні між собою відповідно до певних залежностей:

$$Q_x = Q_{wp} - P_{wp}, \quad (2.25)$$

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

Ураховуючи раніше розраховану теплову потужність для вивченого корпусу, яка складає 30 кВт. Приймаємо теплову потужність системи опалення на рівні 32,6 кВт. Таким умовам експлуатації буде відповідати теплова помпа типу "ґрунт-вода" BW 232.

З паспортних даних визначаємо холодопродуктивність

$$Q_x = 32,6 - 7,2 = 25,4 \text{ кВт.}$$

Для визначення параметрів системи з вертикальними зондами, довжину трубопроводу слід розраховувати, використовуючи формулу, яка враховує необхідну холодопродуктивність теплової помпи та питому потужність тепловідбору з ґрунту.

$$L_3 = \frac{Q_x}{q_6}, \quad (2.26)$$

де q_6 – питома потужність відбору тепла з ґрунту для вертикального зонда, Вт/м².

$$L_3 = \frac{25400}{45} = 564,4 \text{ м.}$$

Отже, для встановлення вертикальних зондів необхідно використовувати шість таких зондів, кожен довжиною 94 метри. Зважаючи на обмеженість місця, такий варіант первинного джерела тепла можна вважати прийнятним.

2.4.2 Визначення природного вітрового потенціалу в регіоні

Енергія вітрового потоку для заданого поперечного перетину вітрового ротора визначається кубічною залежністю швидкості вітрового потоку

$$E = \frac{\rho_n \cdot S \cdot v^3}{2}. \quad (2.27)$$

де ρ_n – густина повітря, приведена до нормальних умов $1,29 \text{ кг/м}^3$, (при $t_n = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ і $p_a = 101,3 \text{ кПа}$ або 760 мм рт. ст.); S – площа поперечного перерізу вітрового ротора, м^2 ; v – швидкість потоку вітру, м/с .

Оцінку енергетичного потенціалу вітру можна виконати за даними метеорологічної станції регіону, зокрема середні швидкості вітру по місяцях календарного року [2], або ж за даними отриманими з сайту Національного аерокосмічного агентства США (NASA) <https://power.larc.nasa.gov/>.

В табл. 2.10 подано середньомісячні значення швидкості вітрового потоку для с. Селисько, залежно від умов навколишнього середовища.

При використанні даних з табл. 2.10, слід враховувати реальну ситуацію місцевості (затіненість деревами різної висоти, тип ґрунтового покриву, наявність відкритої води тощо).

Місячний потенціал вітрової енергії розраховується за формулою

$$W_j = 0,645 \cdot S \cdot v_\partial^3 \cdot T_j, \quad (2.28)$$

де v_∂ – ефективне діюче середньомісячне значення швидкості вітру, м/с ; T_j – період часу протягом j -го місяця, год.

Діюча швидкість вітру (v_∂) може бути знайдена на основі середньої швидкості з використанням даних відносно розподілу швидкостей вітру в часі, зафіксованих на метеостанції в регіоні дослідження.

У зв'язку з цим вираз (2.39) матиме вигляд

$$W_j = 0,645 \cdot S \cdot (0,638 + 1,082 \cdot v_{cj})^3 \cdot T_j, \quad (2.29)$$

де v_{cj} – середньомісячна швидкість вітру, м/с .

Тепер за формулою (2.29) визначимо місячний енергетичний потенціал вітрового потоку.

Отже,

$$W_{jm} = 0,645 \cdot 1 \cdot (0,638 + 1,082 \cdot 3,88)^3 \cdot 24 \cdot 31 \cdot 10^{-3} = 51,46 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Таблиця 2.10 - Розрахункові значення вітрового енергетичного потенціалу в регіоні (для сприймаючої поверхні 1 м²)

Місяць року	Середня швидкість вітру, м/с	Діюче значення швидкості вітру, м/с	Кількість днів в місяці	Енергія вітру за місяць, кВт·год
1	2	3	4	5
1	3,88	4,84	31	51,46
2	3,69	4,63	29	42,14
3	2,94	3,82	31	25,3
4	2,85	3,72	30	22,61
5	2,53	3,38	31	17,52
6	3,05	3,94	30	26,86
7	3,02	3,91	31	27,13
8	2,9	3,78	31	24,51
9	3,36	4,27	30	34,19
10	2,79	3,66	31	22,25
11	3,02	3,91	30	26,25
12	3,83	4,78	30	47,97
Разом	3,16	4,05	365	368,19

Очевидно, що енергія вітру, яка припадає на одиницю вітрового ротора за всіма місяцями буде рівною

$$W_{\text{вк}} = \sum_{i=1}^{12} W_j. \quad (2.30)$$

Результати розрахунку вітрового потенціалу подано в табл. 2.10.

Отже, отримаємо річний потенціал вітрового потоку

$$W_{\text{вкр}} = 51,46 + 42,14 + 25,3 + 22,61 + 17,52 + 26,86 + 27,13 + 24,51 + \\ + 34,19 + 22,25 + 26,25 + 47,97 = 368,19 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Таким чином, отримане значення кількості виробленої енергії у розмірі 368,19 кВт·год. з одного квадратного метра вітрового ротора використаємо для розрахунку параметрів вітроустановки, яка буде здійснювати електрозабезпечення технологічних процесів досліджуваного об'єкта.

2.4.3 Визначення природного сонячного потенціалу в регіоні

Для розрахунків використовують значення середньоденних надходжень складових сонячної радіації на горизонтальну поверхню, взятих із довідника метеорології [1], або ж за даними отриманими з сайту Національного аерокосмічного агентства США (NASA) <https://power.larc.nasa.gov/>.

За даними on-line сервісу можна отримати табличні значення помісячного рівня надходження сонячної енергії на поверхню південної орієнтації, яка нахилена під різними кутами до горизонту.

Нижче подано приклад даних для с. Селисько та околиць (географічні координати 49° п. ш. і 24° с. д.) (табл. 2.11), де параметри сонячної енергії виражені у кВт·год./день/м².

Таблиця 2.11 - Середньомісячні добові значення надходження сонячної енергії на фотоелектричну панель

Lat 49.665 Lon 24.133	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
SSE HRZ	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,93	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
K	0,40	0,43	0,44	0,44	0,47	0,44	0,44	0,48	0,41	0,38	0,36	0,38	0,42
Diffuse	0,64	0,98	1,55	2,11	2,53	2,73	2,62	2,24	1,61	1,01	0,66	0,51	1,60
Direct	1,58	2,38	2,93	3,40	4,35	3,95	3,93	4,17	2,95	2,24	1,46	1,27	2,89
Tilt 0	0,99	1,75	2,80	3,89	5,07	5,10	4,96	4,52	2,96	1,78	1,05	0,78	2,98
Tilt 35	1,60	2,52	3,44	4,20	5,00	4,85	4,79	4,75	3,46	2,43	1,60	1,30	3,33
Tilt 50	1,73	2,65	3,45	4,02	4,62	4,39	4,37	4,49	3,42	2,51	1,72	1,43	3,24
Tilt 65	1,78	2,65	3,30	3,67	4,05	3,86	3,80	4,03	3,21	2,47	1,75	1,47	3,01
Tilt 90	1,65	2,35	2,72	2,79	2,91	2,70	2,72	2,96	2,56	2,14	1,60	1,38	2,37
OPT	1,78	2,67	3,47	4,22	5,19	5,15	5,04	4,81	3,47	2,51	1,75	1,47	3,47
OPT ANG	65,0	57,0	44,0	28,0	16,0	10,0	12,0	24,0	38,0	53,0	62,0	67,0	39,5

Враховуючи загальні рекомендації щодо вибору кута налаштування фотопанелей, зазвичай рекомендується використовувати кут, відповідний географічній широті. У даному регіоні цей кут складає 50° північної широти. При такому куті установки фотопанелей середньорічна добова кількість сонячної енергії становить 3,24 кВт·год./м².

Аналіз даних з табл. 2.11 підтверджує, що для отримання максимальної кількості електроенергії оптимально розміщувати фотопанелі під кутом 35° . За таких умов середньорічна кількість сонячної енергії протягом доби становить $3,33 \text{ кВт}\cdot\text{год./м}^2$. При можливості регулювання кута нахилу фотопанелей до горизонту можливе отримання надходження енергії на рівні $3,47 \text{ кВт}\cdot\text{год./м}^2$. Отже, за визначеними умовами доцільним є використання системи із можливістю зміни кута нахилу фотопанелей.

Щоб розрахувати помісячні та річне надходження сумарної сонячної радіації на 1 м^2 похилої поверхні сонячних фотопанелей, проводимо множення на кількість днів у місяці та наступне підсумовування місячних значень.

Отже, отримаємо місячний енергетичний потенціал

$$H_{\beta}^M = n H_{\beta}^{\circ}; \quad (2.31)$$

$$H_{\beta}^P = n_p H_{\beta}^{\circ}, \quad (2.32)$$

Підставивши числові значення отримаємо

$$H_{\beta}^M = 31 \cdot 3,47 = 107,57 \text{ кВт}\cdot\text{год./м}^2;$$

$$H_{\beta}^P = 365 \cdot 3,47 = 1266,55 \text{ кВт}\cdot\text{год./м}^2.$$

Надалі, за відомих значень споживання теплової та електричної енергії, а також потенційних можливостей обладнання відновлюваної енергетики можна здійснювати обґрунтування раціональних їх параметрів, в тому числі й за умови їх сумісного використання.

3 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТА

3.1 Розробка схеми комбінованої системи енергозабезпечення об'єкта

В системах енергозабезпечення промислових об'єктів є суттєва відмінність як у видах енергії, які необхідно виробити, транспортувати та подати до споживача, так і у їх кількості та регулярності споживання. Динаміка росту вартості традиційних енергоносіїв зумовлює пошук нових методів вирішення енергетичного питання, і як варіант у цьому напрямку є часткове або повне заміщення енергії від відновлюваних джерел енергії. До таких видів відновлюваної енергетики можна віднести, як найбільш поширені та ефективні, сонячна, вітрова та геотермальна.

Природні умови виникнення і поширення відновлюваної енергії характеризується різними видами нерівномірності: добовою, сезонною та річною. Аналогічна ситуація спостерігається і у споживанні енергії різного виду на підприємствах та в житловій сфері, які також характеризуються добовою, сезонною та річною нерівномірністю. Це певним чином створює ряд проблем щодо ефективного використання відновлюваних джерел енергії для енергозабезпечення промислових та житлових об'єктів.

Наприклад, динаміку нерівномірного надходження енергії від сонця та вітру, може бути проілюстрована помісячним графіком для регіону застосування розробки (рис. 3.1).

Як видно з рис. 3.1, залежності надходження енергії від сонця та вітру мають взаємопротилежний характер, тому є доцільність у застосуванні цих видів енергії у єдиній енергетичній системі.

Однак, слід зауважити, що подані залежності є лише теоретичним потенціалом регіону. Фактичну ситуацію можна оцінити лише після розрахунку роботи фотоелектричної та вітроелектричної установок в системі.

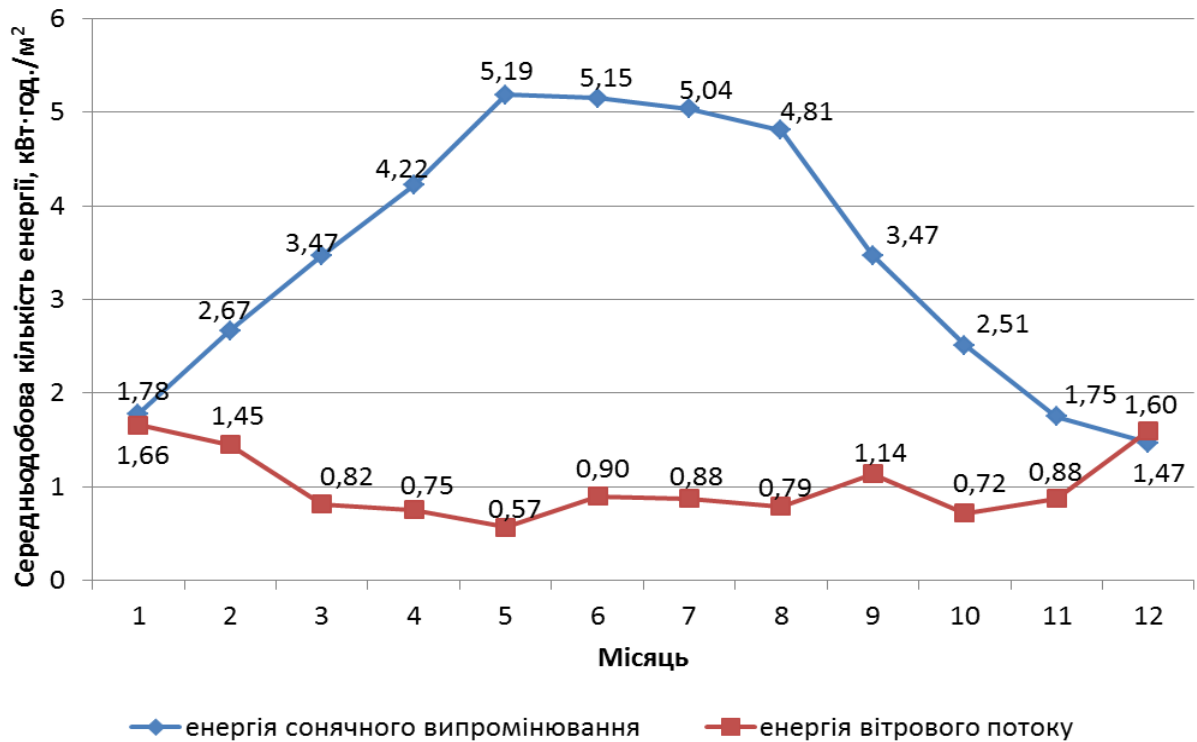


Рисунок 3.1 – Надходження енергії сонця та вітру на одиницю сприймаючої поверхні

Стосовно системи теплопостачання, то графіки навантаження теплової помпи та вітроелектричної установки мають близьку динаміку зміни. Це створює передумови до комплексного використання і цих видів відновлюваних джерел. Щоправда необхідно собі чітко розуміти, що за певних обставин неможливо буде реалізувати певну комбінацію, наприклад, внаслідок суттєвої невідповідності у потужностях складових систем.

Проектування системи комплексного енергозабезпечення досліджуваного об'єкта передбачає: розподіл енергетичних потреб за видами використовуваної енергії; оптимізація параметрів технічних засобів реалізації системи комплексного енергозабезпечення стосовно структури природних енергетичних ресурсів регіону. За загальною динамікою надходження енергетичних потоків та потребою можна обґрунтувати реалізацію системи комплексного енергозабезпечення (рис. 3.2).

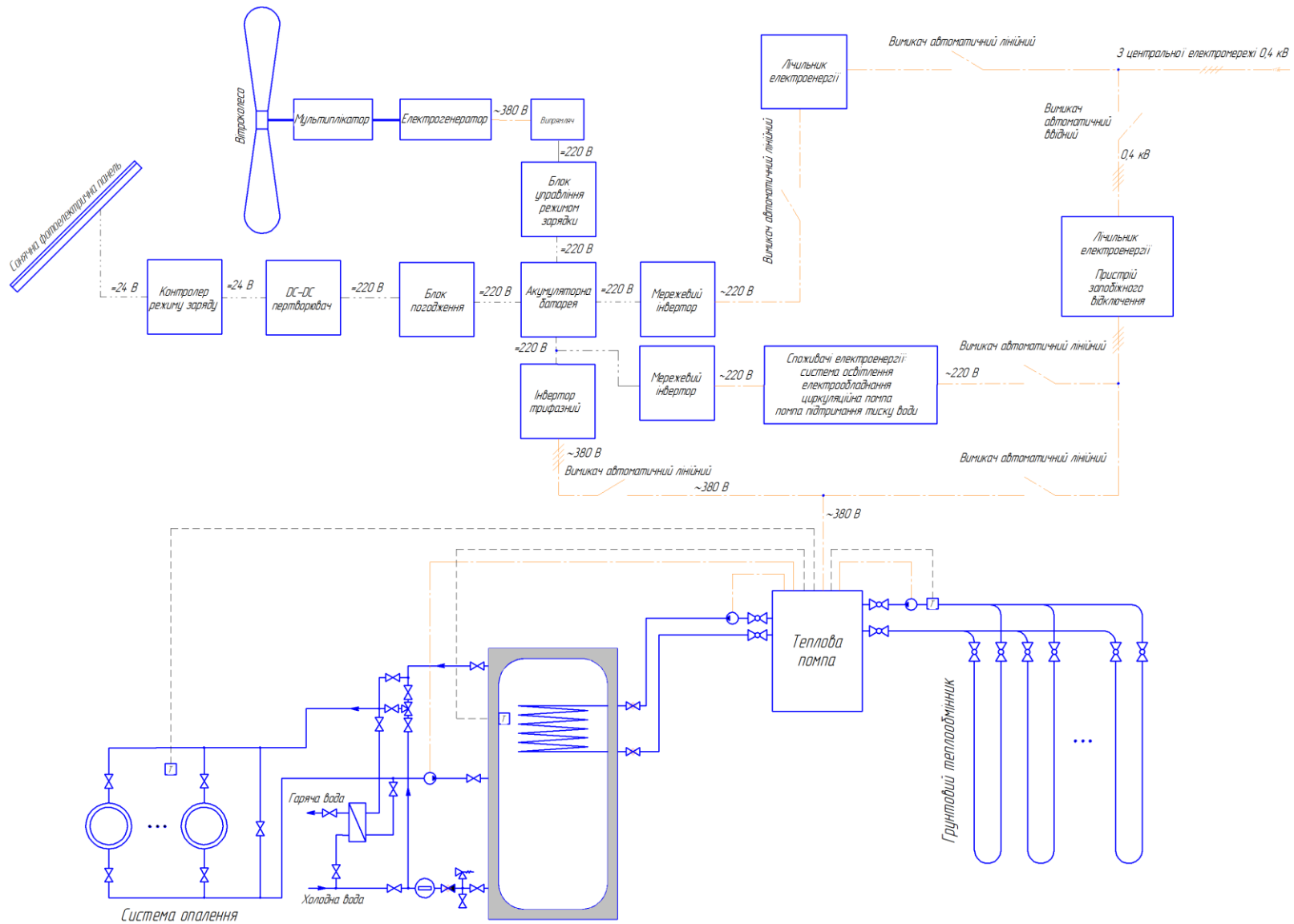


Рисунок 3.2 – Схема комбінованого енергозабезпечення тваринницької ферми підприємства

В даній енергетичній системі поєднано різні види відновлюваних джерел енергії для енергозабезпечення тваринницької ферми, який вибрано за основу для застосування результатів розробки.

Практично для кожного виду технологічної потреби існує декілька варіантів енергозабезпечення. Причому, практично всі варіанти енергозабезпечення будуть виконувати необхідну роботу з достатнім рівнем якості та надійності. Однак найбільш важливим в роботі комбінованої системи є застосування різних видів джерел для енергозабезпечення одного і того ж виду технологічної потреби. За рахунок такої системи можна досягти високого рівня надійності системи, універсализації роботи енергетичної системи, яка буде мати близьке до оптимального рівень навантаження, зменшення кількості резервувальних та акумулювальних засобів тощо.

Роботу даної системи за основними етапами її роботи проілюструємо, виходячи з рис. 3.2.

Вітроелектрична установка, яка є основним джерелом надходження електроенергії для досліджуваного об'єкта, забезпечує потребу в електроенергії на потреби теплопомпової установки та потреби, які не можуть бути забезпечені сонячною фотоелектричною установкою. Для потреб приводу теплопомпової установки в схемі передбачено встановлення трифазного інвертора, який забезпечить перетворення постійного струму у змінний, як цього вимагає електродвигун приводу компресора.

Інший вид пристрою, який вироблятиме електроенергію постійного струму з напругою 24 В відноситься до сонячної енергетичної системи. Виробником електроенергії від сонячної енергії є сонячна фотоелектрична панель. Залежно від освітленості виробництво електроенергії буде постійно змінюватись, тому обов'язковим є застосування в системі акумулятора для накопичення виробленої електроенергії, оскільки потреба у електроенергії не завжди співпадає з періодом її виробництва.

Електроенергія, яка виробляється сонячною фотоелектричною установкою подається на живлення всіх малопотужних електроспоживачів.

Для виробництва теплоти в системах гарячого водопостачання опалення застосовано теплопомпову установку. Привід помпи, як було сказано раніше, здійснюватиметься електроенергією, яка буде вироблена вітроелектричною установкою. За умови недостатнього виробництва електроенергії від вітроустановки буде використовуватись стандартна електромережа.

3.2 Теплозабезпечення об'єкта за рахунок відновлюваних джерел енергії

Умовам роботи в системі опалення досліджуваного підприємства відповідає тепла помпа Vitocall 300 BW232 типу "розсіл-вода" фірми "Viessmann".

Для даної марки теплової помпи визначимо поточні середньомісячні режими роботи: потужності: теплову $P_{ТП}^M$, електричну $P_{ел}^M$; коефіцієнт перетворення.

Режими роботи помпи встановлюються з робочої характеристики відповідно до середньомісячної температури ґрунту, рівної температурі сольового розчину на вході помпи (рис. 3.3).

За сталої температури ґрунту, а значить, і теплової потужності помпи, тривалість її роботи τ у тепліші періоди року скорочується. Середньоденну τ^∂ 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), на поточну потужність теплової помпи $P_{ТП}^M$ з врахуванням числа днів n у місяці:

$$\tau^\partial = \frac{24P_{тн}^M}{P_{ТП}^M}; \quad (3.1)$$

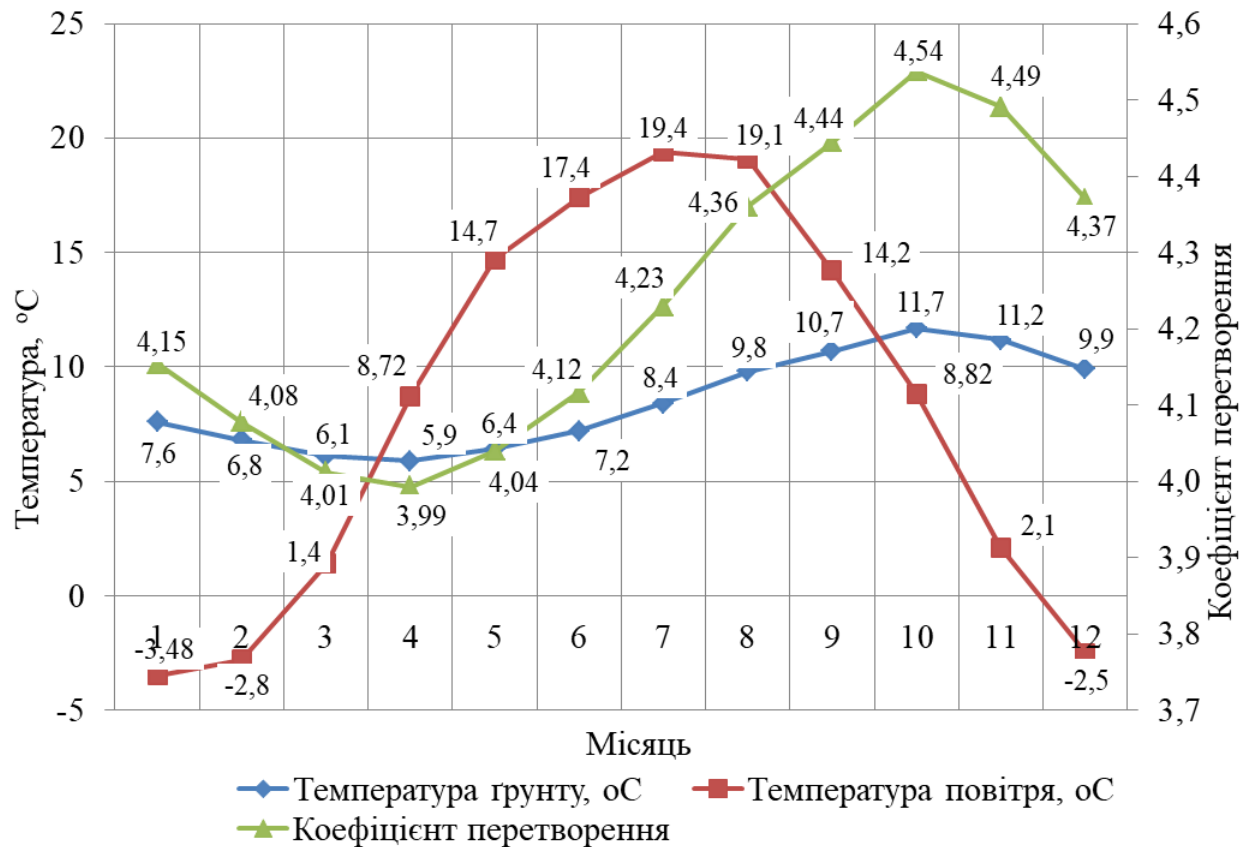


Рисунок 3.3 – Умови роботи теплової помпи в регіоні дослідження

$$\tau^M = n \tau^\delta. \quad (3.2)$$

$$\tau^\delta = \frac{24 \cdot 29,95}{40,25} = 17,9 \text{ год.}$$

$$\tau^M = 31 \cdot 17,9 = 554,9 \text{ год.}$$

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

$$W_{el}^M = \tau^M P_{el}^M, \text{ кВт}\cdot\text{год.} \quad (3.3)$$

$$W_{el}^P = \sum_{m=1}^{12} W_{el}^M. \quad (3.4)$$

$$W_{el}^M = 554,9 \cdot 9,69 = 5377 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

$$W_{el}^P = 5377 + 4992 + 4458 + 2518 + 120 + 116 + 90 + \\ + 91 + 88 + 2216 + 3609 + 4708 = 28383 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Результати визначення режимів роботи теплової помпи заносимо в табл. 3.1.

Як видно з результатів розрахунку, поданих у табл. 3.1, тепла помпа відповідає умовам використання для системи опалення та гарячого водопостачання. Причому в літній період вона буде суттєво недовантаженою, оскільки відсутня потреба у великій кількості теплоти (рис. 3.4).

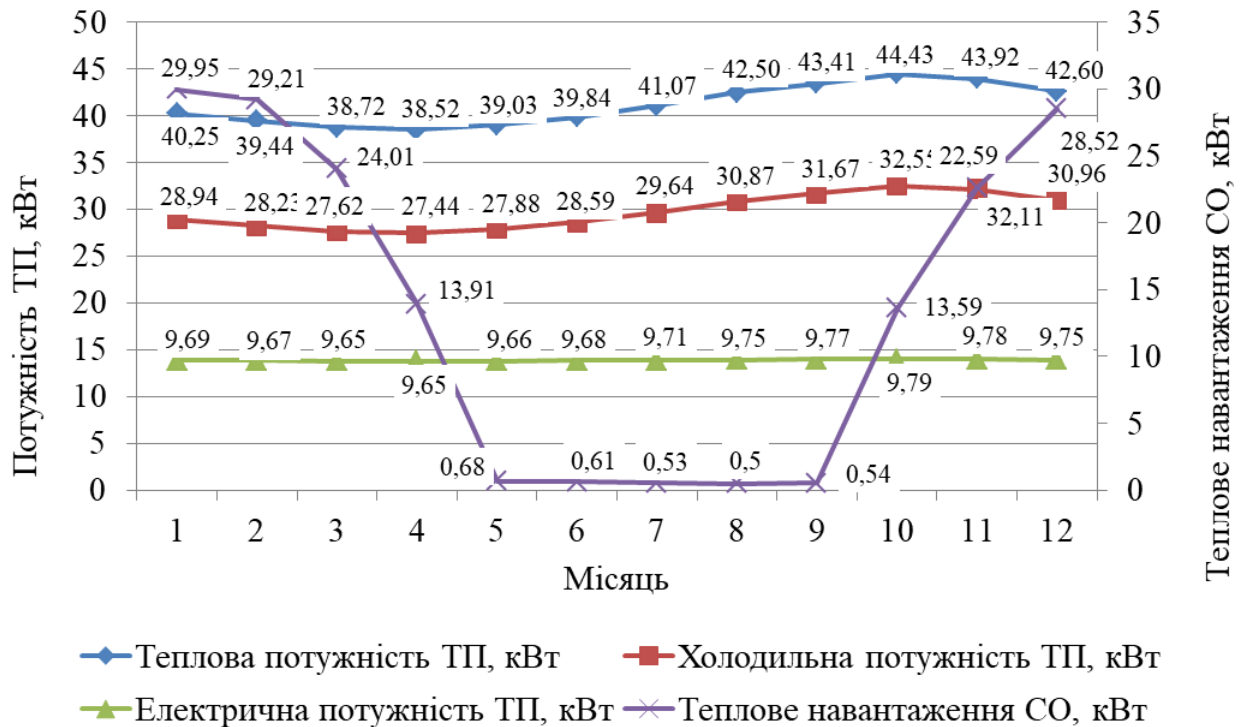


Рисунок 3.4 – Параметри теплової помпи для умов роботи в досліджуваному підприємстві

3.3 Електрозабезпечення об'єкта за рахунок відновлюваних джерел енергії

Для розрахунку можливого електрозабезпечення технологічних процесів досліджуваного об'єкта здійснимо умовний поділ технологічних процесів, які будуть забезпечені енергією від кожного із застосовуваних відновлюваних джерел енергії.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунку енергетичних параметрів тепломппової установки

Параметр	Місяць року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Теплова потужність теплової помпи, $P_{ТП}$, кВт	40,25	39,44	38,72	38,52	39,03	39,84	41,07	42,50	43,41	44,43	43,92	42,60
Електрична потужність теплової помпи, $P_{ел}$, кВт	9,69	9,67	9,65	9,65	9,66	9,68	9,71	9,75	9,77	9,79	9,78	9,75
Холодопродуктивність, P_x , кВт	28,94	28,23	27,62	27,44	27,88	28,59	29,64	30,87	31,67	32,55	32,11	30,96
Коефіцієнт перетворення фактичний, ε	4,15	4,08	4,01	3,99	4,04	4,12	4,23	4,36	4,44	4,54	4,49	4,37
Потужність навантаження системи опалення, $P_{тн}^m$, кВт	29,95	29,21	24,01	13,91	0,68	0,61	0,53	0,5	0,54	13,59	22,59	28,52
Тривалість годин роботи теплової помпи, t^o , год	17,9	17,8	14,9	8,7	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	7,3	12,3	16,1
Тривалість годин роботи теплової помпи, t^m , год	554,9	516,2	461,9	261	12,4	12	9,3	9,3	9	226,3	369	483
Витрата електроенергії на привід теплової помпи, W_m , кВт·год	5377	4992	4458	2518	120	116	90	91	88	2216	3609	4708

За рахунок енергії сонця з використанням фотоелектричних панелей буде здійснено електрозабезпечення усіх електроспоживачів обсягом необхідної електроенергії 73600 кВт·год, за винятком теплової помпи.

За рахунок енергії вітру можливим є електрозабезпечення основної потреби в електроенергії для теплової помпи, та компенсація недовиробництва електроенергії від сонячної фотоелектричної установки. Загальна кількість необхідної енергії для приводу компресора теплової помпи становить 28383 кВт·год.

На рис. 3.5 подано графіки помісячних технологічних потреб в електроенергії.

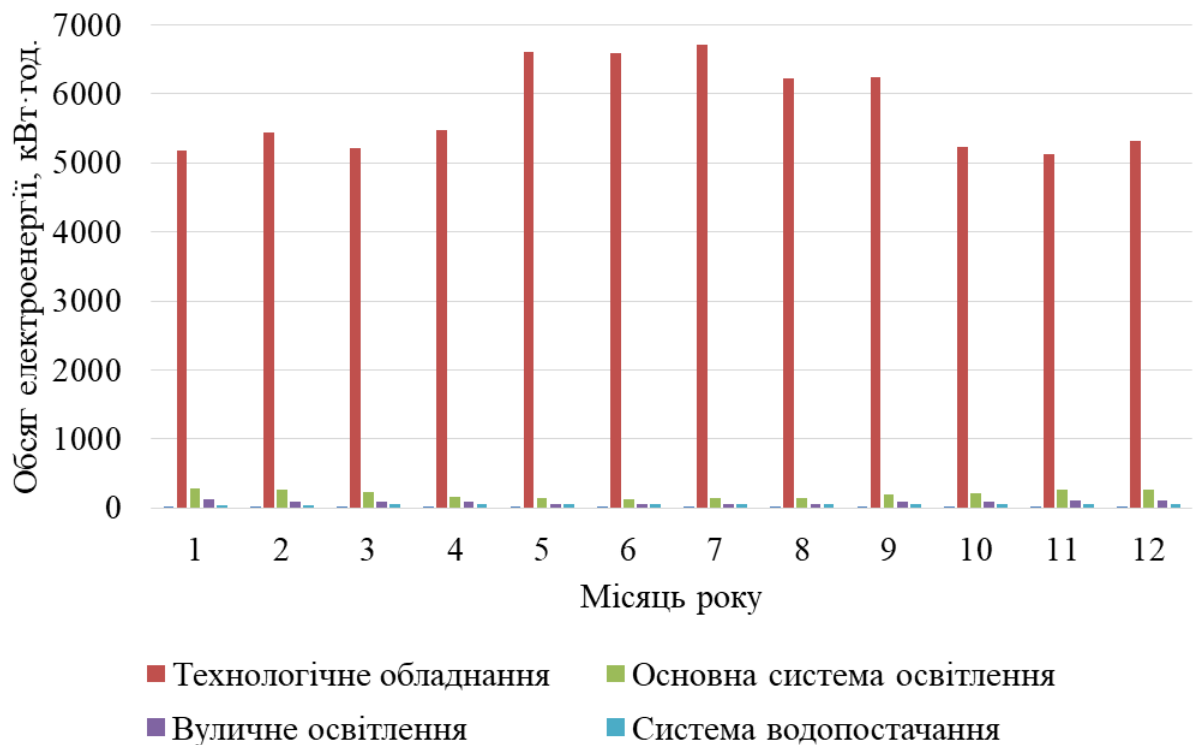


Рисунок 3.5 – Технологічні потреби в електроенергії без врахування теплової помпи

3.3.1 Електрозабезпечення об'єкта за рахунок енергії сонця

Для забезпечення електроенергією системи освітлення можливим є застосування фотоелектричних модулів типу 300М виробництва фірми

Energeko. Номінальна потужність фотоелектричного модуля стандартного розміру становить 300 Вт за умови освітленості $E=1000 \text{ Вт/м}^2$.

Продуктивність сонячного фотоелектричного модуля можна оцінити через сумарну сонячну енергію, яка надходить на горизонтальну поверхню протягом світлового дня.

Для розрахунку середньоденного виробництва електроенергії з одного елемента сонячної фотоелектричної панелі скористаємось формулою

$$W_{cd} = \eta \cdot H_{\beta} \cdot S, \quad (3.5)$$

де η - коефіцієнт корисної дії фотоелектричної панелі;

H_{β} - інтенсивність надходження сонячної енергії, кВт·год.;

S – площа сприймаючої поверхні фотоелектричної панелі, м².

Так, для січня місяця середньоденне виробництво електроенергії буде рівним

$$W_{cd} = 0,154 \cdot 1,78 \cdot 1,949 \cdot 0,9 = 0,481 \text{ кВт·год.}$$

Визначимо місячне виробництво електроенергії за формулою

$$W_{mic} = W_{cd} \cdot n_{md}, \quad (3.6)$$

де n_{md} – кількість днів у місяці, днів.

Тобто, протягом січня місяця сонячна фотоелектрична панель зможе виробити

$$W_{mic} = 0,481 \cdot 31 = 14,91 \text{ кВт·год.}$$

Річне виробництво електроенергії сонячною фотоелектричною панеллю визначиться як

$$W_{pich} = \sum_{i=1}^n W_{mic_i}. \quad (3.7)$$

Результати розрахунку за формулами (3.5)-(3.7) подано в табл. 3.2.

Таким чином за результатами розрахунку табл. 3.4 можна визначити річне виробництво електроенергії з однієї сонячної фотоелектричної панелі типу GT-300M

$$W_{річ} = 14,91 + 20,91 + 29,05 + 34,2 + 43,46 + 41,73 + 42,19 + 40,27 + \\ + 28,11 + 21,02 + 14,19 + 11,91 = 341,95 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Таблиця 3.2 - Розрахунок виробництва електроенергії сонячним фотоелектричним модулям типу GT-300M

Параметр	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H_{β} , кВт·год	1,78	2,67	3,47	4,22	5,19	5,15	5,04	4,81	3,47	2,51	1,75	1,47
$W_{сд}$, кВт·год	0,481	0,721	0,937	1,14	1,402	1,391	1,361	1,299	0,937	0,678	0,473	0,397
$W_{міс}$, кВт·год	14,91	20,91	29,05	34,2	43,46	41,73	42,19	40,27	28,11	21,02	14,19	11,91

Для визначення кількості сонячних фотоелектричних панелей, які забезпечать електроенергією споживачів досліджуваного об'єкта скористаємось формулою

$$N_{сфп} = \frac{E_{оп}}{W_{річ}}. \quad (3.8)$$

Отже,

$$N_{сфп} = \frac{73600}{341,95} = 215 \text{ шт.}$$

Таким чином, для потреб всіх електроспоживачів досліджуваного об'єкта необхідно використати 215 сонячні фотоелектричні панелі. Таким чином, номінальна потужність фотоелектричної системи буде становити 64,5 кВт.

Енергетичний баланс сонячної фотоелектричної системи можна подати у вигляді табл. 3.3 та проілюструвати графіком, поданим на рис. 3.6.

3.3.2 Електрозабезпечення об'єкта за рахунок енергії вітру

Для визначення габаритних розмірів вітроустановки, яка забезпечить виробництво необхідної кількості електроенергії для живлення технологічних потреб слід скористатись формулою

Таблиця 3.3 - Енергетичний баланс сонячної фотоелектричної установки

Місяць року	Потреба в електроенергії, кВт·год.	Виробництво електроенергії, кВт·год.	Необхідне дублювання від електромережі, кВт·год.
1	5628	3206	-2422
2	5835	4496	-1339
3	5608	6246	638
4	5784	7353	1569
5	6887	9344	2457
6	6845	8972	2127
7	6968	9071	2103
8	6489	8658	2169
9	6603	6044	-559
10	5619	4519	-1100
11	5565	3051	-2514
12	5769	2561	-3208
ВСЬОГО	73600	73521	-11142



Рисунок 3.6 – Енергетичний баланс сонячної фотоелектричної системи

$$S = \frac{E_p}{W_{вк}}, \quad (3.9)$$

де E_p – річна необхідна кількість електроенергії на потреби тваринницької ферми, кВт·год;

$W_{вк}$ – теоретична кількість енергії, яку може виробити 1 м² поверхні вітрового ротора в реальних умовах регіону, кВт·год.

$$S = \frac{76300}{368,19 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 694 \text{ м}^2.$$

Визначимо діаметр вітроколеса такої вітроустановки

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}. \quad (3.10)$$

Отже, отримаємо

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 694}{3,14}} = 29,7 \text{ м}.$$

Визначимо габаритну номінальну потужність вітроустановки скориставшись формулою

$$N_{вк} = 0,5 \cdot D_{вк}^2 \cdot v^3 \cdot \xi \cdot \eta_m \cdot \eta_e, \quad (3.11)$$

де v - швидкість вітру, м/с;

ρ - густина повітря, кг/м³, $\rho = 1,27$;

ξ - коефіцієнт використання енергії вітру, для вибраного типу вітрового колеса $\xi = 0,4$.

$$N_{вкн} = 0,5 \cdot 30^2 \cdot 8^3 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 66,4 \text{ кВт}.$$

Таким чином, номінальна потужність вітроустановки буде становити 66,5 кВт, що не відповідає класу сільськогосподарського типу.

Проведемо розрахунок вітроустановки для умов покриття потреб всіх електропотреб за вищенаведеною методикою.

Енергетичний баланс вітроелектричної системи можна подати у вигляді табл. 3.4 та проілюструвати графіком, поданим на рис. 3.7.

Таблиця 3.4 - Енергетичний баланс вітроелектричної установки для покриття потреб електрообладнання, систем освітлення та водопостачання

Місяць року	Потреба в електроенергії, кВт·год.	Виробництво електроенергії, кВт·год.	Необхідне дублювання від електромережі, кВт·год.
1	5628	10287	4659,00
2	5835	8424	2589,00
3	5608	5057	-551,00
4	5784	4520	-1264,00
5	6887	3502	-3385,00
6	6845	5369	-1476,00
7	6968	5423	-1545,00
8	6489	4899	-1590,00
9	6603	6834	231,00
10	5619	4448	-1171,00
11	5565	5247	-318,00
12	5769	9589	3820,00
ВСЬОГО	73600	73599	-11300



Рисунок 3.7 – Енергетичний баланс вітроелектричної системи для покриття потреб електрообладнання, систем освітлення та водопостачання

За аналогічною методикою здійснимо оцінку можливості електрозабезпечення вітроелектричною установкою потреб теплової помпи.

Енергетичний баланс вітроелектричної системи для покриття потреб теплової помпи можна подати у вигляді табл. 3.5 та проілюструвати графіком, поданим на рис. 3.8.

Таблиця 3.5 - Енергетичний баланс вітроелектричної установки для покриття потреб теплової помпи

Місяць року	Потреба в електроенергії, кВт·год.	Виробництво електроенергії, кВт·год.	Необхідне дублювання від електромережі, кВт·год.
1	5377	3898	-1479
2	4992	3192	-1800
3	4458	1916	-2542
4	2518	1713	-805
5	120	1327	1207
6	116	2034	1918
7	90	2055	1965
8	91	1856	1765
9	88	2590	2502
10	2216	1685	-531
11	3609	1988	-1621
12	4708	3633	-1075
ВСЬОГО	28383	27887	-9853

Отже, для збалансованого електрозабезпечення теплової помпи необхідно застосувати вітроустановку з діаметром та потужністю

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 263}{3,14}} = 18,3 \text{ м.}$$

$$N_{\text{вкн}} = 0,5 \cdot 18,5^2 \cdot 8^3 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 25 \text{ кВт.}$$

А для повного електрозабезпечення слід застосувати вітроустановку

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 400}{3,14}} = 22,6 \text{ м.}$$



Рисунок 3.8 – Енергетичний баланс вітроелектричної системи для покриття потреб теплової помпи



Рисунок 3.9 – Енергетичний баланс вітроелектричної системи для максимального покриття потреб теплової помпи

Таблиця 3.6 - Енергетичний баланс вітроелектричної установки для покриття потреб теплової помпи з максимальним рівнем забезпечення

Місяць року	Потреба в електроенергії, кВт·год.	Виробництво електроенергії, кВт·год.	Необхідне дублювання від електромережі, кВт·год.
1	5377	5928	551
2	4992	4855	-137
3	4458	2915	-1543
4	2518	2605	87
5	120	2018	1898
6	116	3094	2978
7	90	3125	3035
8	91	2824	2733
9	88	3939	3851
10	2216	2563	347
11	3609	3024	-585
12	4708	5526	818
ВСЬОГО	28383	42416	-2265

$$N_{вкн} = 0,5 \cdot 23^2 \cdot 8^3 \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 39 \text{ кВт.}$$

Якщо у першому випадку обсяг нестачі електроенергії становив 9853 кВт·год., то у другому випадку нестача зменшилась до 2265 кВт·год. Крім того слід зауважити, що у випадку застосування вітроелектричної установки на максимальне покриття потреб теплової помпи, то виникатиме значний обсяг надлишку електроенергії у розмірі 16298 кВт·год., який може бути скерований на покриття інших потреб досліджуваного підприємства. Однак, слід зауважити, що потужність вітроелектричної установки змінилась від 25 кВт до 39 кВт. В першому випадку вітроустановка ще могла бути віднесена до сільськогосподарського типу, що не потребує дозволів на її встановлення для таких підприємств, а в другому випадку – вона виходить за цю межу, що може спричинити додаткові витрати на отримання дозвільних документів.

3.4 Комбіноване енергозабезпечення об'єкта за рахунок відновлюваних джерел енергії

Розрахунки, проведені в п. 3.3.1 і 3.3.2 засвідчили можливість реалізації системи електрозабезпечення досліджуваного об'єкта за рахунок енергії вітру та сонця окремо, а також тепло забезпечення з використанням теплової помпи. Однак, такі варіанти не можна вважати оптимальним як з точки зору надійності системи енергозабезпечення, так і з точки зору економічної доцільності.

Для виявлення необхідності побудови комбінованої системи енергозабезпечення проаналізуємо помісячні баланси потреби та виробництва енергії для кожного з варіантів окремо, графіки яких були подано раніше.

Як видно з рис. 3.6 і 3.7, при загальному позитивному балансі енергій за рік, спостерігається суттєва нерівномірність виробництва енергії одним видом відновлюваного джерела.

Наприклад, при використанні тільки сонячної фотоелектричної системи, в осінньо-зимовий період спостерігається суттєве недовиробництво електроенергії, в той же час в літній період спостерігається її суттєве перевиробництво.

Аналогічна ситуація є з вітроелектричною системою. Хоча для роботи теплової помпи помісячна потреба енергії і її виробництва вітроелектричною установкою мають близьку тенденцію, тут також спостерігається недовиробництво електроенергії в найбільш навантажений зимовий період.

У випадку електрозабезпечення теплової помпи вітроелектричною установкою за оптимальним (цілорічним) обсягом генерованої електроенергії (рис. 3.8), існує значна нестача в електроенергії в зимовий період. При збільшенні потужності вітроустановки з метою максимального

електрозабезпечення теплової помпи отримуємо ситуацію, коли в зимовий період є незначна нестача, але виникає великий надлишок в літній період.

Тому, для більшої стабільності тепло- та електропостачання слід використовувати комбіновану систему. В такій системі вся електроенергія, яка буде вироблятися засобами відновлюваної енергетики буде спрямовуватись в єдину електромережу для покриття потреб в електроенергії тих чи інших технологічних процесів. Тобто, сонячна фотоелектрична система і вітроелектрична установка працюватимуть на єдину внутрішню електромережу без витоків електроенергії у зовнішню електромережу.

Загальний баланс потреб в електроенергії та її виробництва комбінованою електрогенерувальною системою подано в табл. 3.7 та проілюстровано на рис. 3.10.

Таблиця 3.7 - Енергетичний баланс комбінованої установки для покриття потреб електрообладнання, систем освітлення та водопостачання

Місяць року	Сумарна потреба в електроенергії, кВт·год.	Сумарне виробництво ФЕУ+ВЕУ, кВт·год.	Необхідне дублювання від електромережі, кВт·год.
1	5628	6748	1120
2	5835	6462	627
3	5608	5655	47
4	5784	5941	157
5	6887	6428	-459
6	6845	7176	331
7	6968	7252	284
8	6489	6784	295
9	6603	6442	-161
10	5619	4486	-1133
11	5565	4151	-1414
12	5769	6077	308
ВСЬОГО	73600	73602	-3167

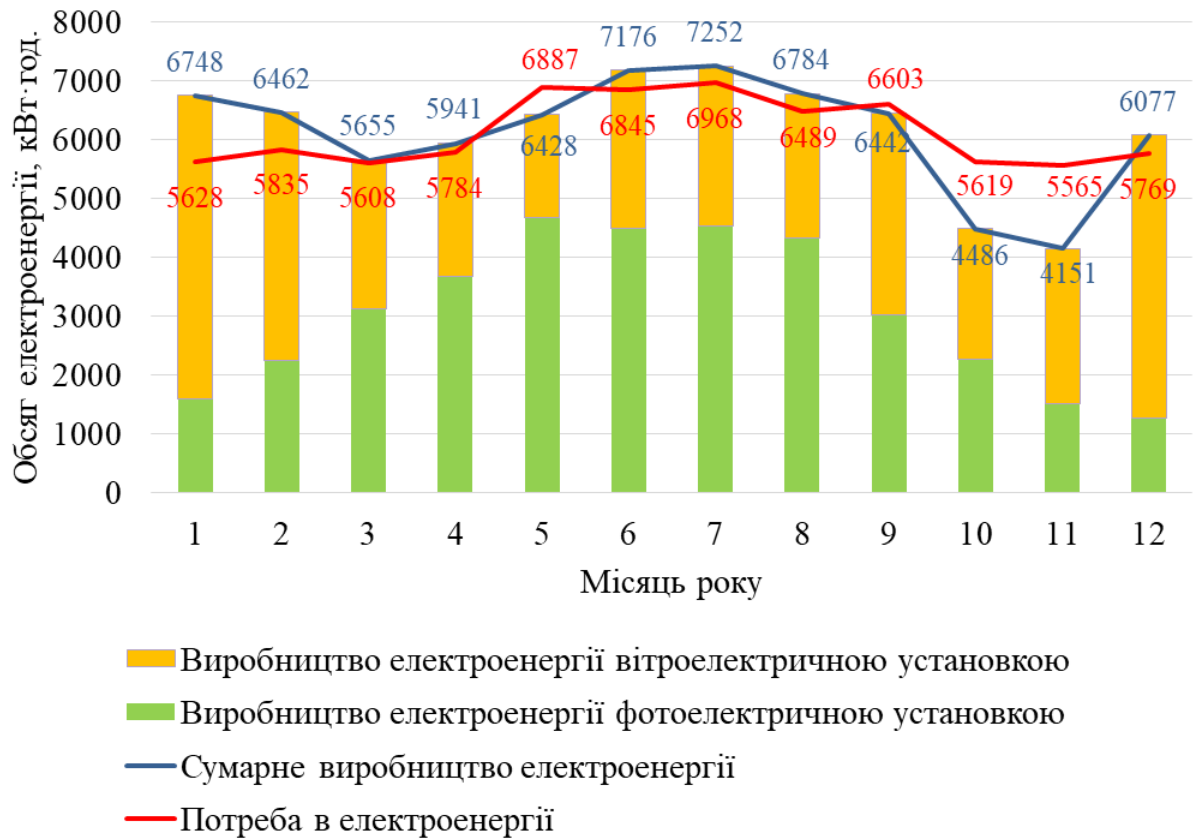


Рисунок 3.10 – Енергетичний баланс комбінованої установки для покриття потреб електрообладнання, систем освітлення та водопостачання

Як видно з рис. 3.10., загалом, для даних умов застосування вдається забезпечити задовільне електрозабезпечення. За рахунок комбінування сонячної і вітрової електроустановок забезпечується певна стабільність у виробництві електроенергії, за рахунок чого знижується потреба у постачанні електроенергії з зовнішньої електромережі. Зокрема, обсяг нестачі електроенергії для досліджуваного об'єкта, за рівня заміщення 1:1, становитиме 3167 кВт·год., у той час, періодично спостерігається надлишок у тому ж обсязі.

Якщо ж спробувати забезпечити електроенергією ще й потребу для теплової помпи, що загалом є цілком задовільним для варіанта тільки з вітроелектричною установкою, то пропорція буде дещо змінена. Отже, для забезпечення всіх потреб в електроенергії в обсязі 101983 кВт·год., необхідно

буде застосувати комбіновану установку у складі 89 фотопанелей та вітроустановки з площею обмаху 673 м². Баланс потреб в електроенергії та її виробництва комбінованою електрогенерувальною системою подано в табл. 3.8 та проілюстровано на рис. 3.11.

Таблиця 3.8 - Енергетичний баланс комбінованої установки для покриття потреб електрообладнання, систем освітлення, водопостачання та теплової помпи системи тепlopостачання

Місяць року	Сумарна потреба в електроенергії, кВт·год.	Сумарне виробництво ФЕУ+ВЕУ, кВт·год.	Необхідне дублювання від електромережі, кВт·год.
1	5628	6748	1120
2	5835	6462	627
3	5608	5655	47
4	5784	5941	157
5	6887	6428	-459
6	6845	7176	331
7	6968	7252	284
8	6489	6784	295
9	6603	6442	-161
10	5619	4486	-1133
11	5565	4151	-1414
12	5769	6077	308
ВСЬОГО	73600	73602	-3167

Слід зауважити, що в даному випадку було застосовано іншу пропорцію рівня заміщення енергетичними установками. Так, сонячна фотоелектрична установка покриває потреби в обсязі 30%, а вітроелектрична установка – 70%. Тоді, потужність сонячної фотоелектричної установки становитиме 26,7 кВт, а вітроелектричної установки – 62 кВт, отже сумарна потужність установки буде рівна – 88,7 кВт. За такої конфігурації системи нестача електроенергії буде рівна 8770 кВт·год.

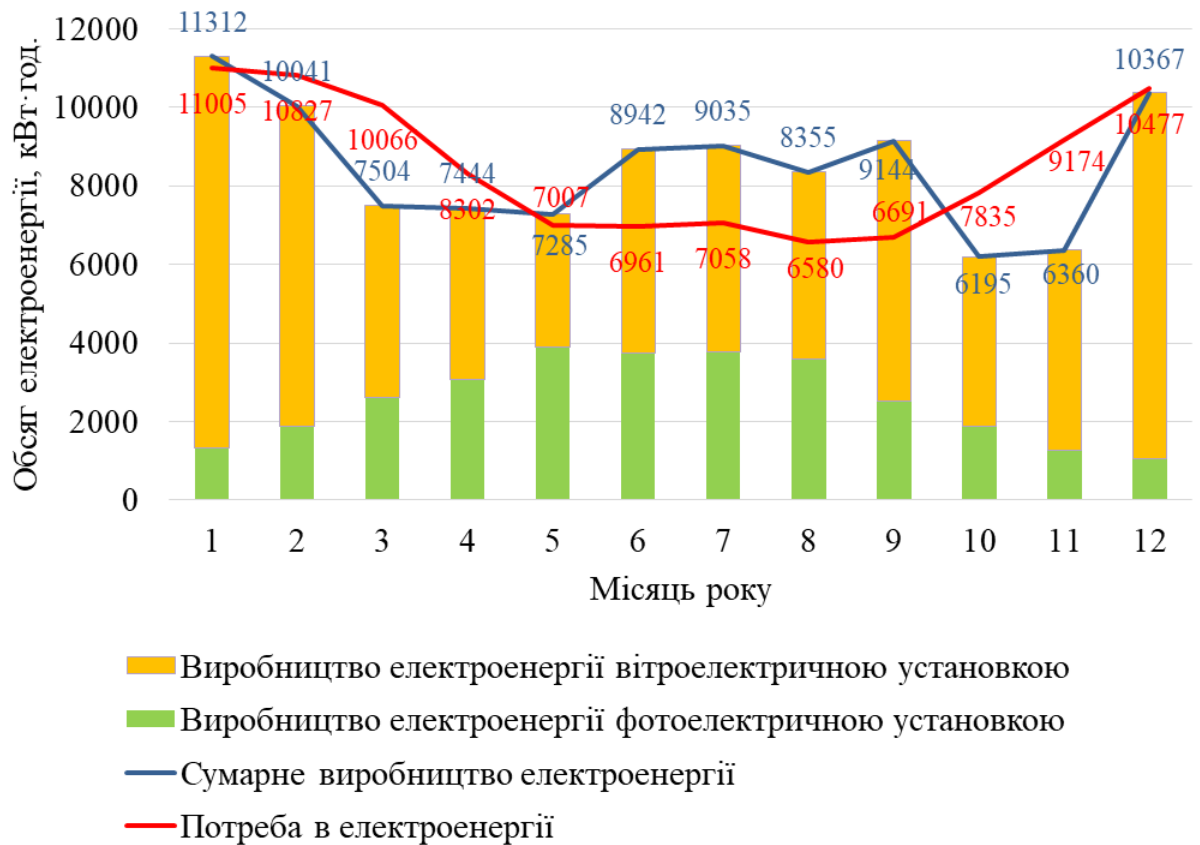


Рисунок 3.11 – Енергетичний баланс комбінованої установки для покриття потреб електрообладнання, систем освітлення, водопостачання та теплової помпи системи теплопостачання

Для мінімізації потужності вітроелектричної установки можна розглянути варіант з рівнем заміщення 1:1. Тоді обсяг нестачі електроенергії буде становити 12930 кВт·год. За таких умов необхідно буде встановити 149 фотопанелей, що забезпечуватиме потужність 44,7 кВт, а також вітроелектричну установку з площею вітрового ротора 481 м², що забезпечуватиме потужність 46 кВт.

Для вибору варіанта електрогенерувальної системи необхідно буде також провести економічне обґрунтування, що буде виконане у 6 розділі роботи.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації електроенергетичного обладнання

При оцінці технологій виробництва електричної та теплової енергії з використанням засобів відновлюваної енергетики, зокрема, сонячних фотоелектричних 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.

Якщо в наслідок аварії технологічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистеми одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Для виявлення можливості виникнення травматичної ситуації на виробництві необхідно використовувати різні методи їх прогнозування. Одним із варіантів є логічне моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків.

Метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також споруд, виробничих процесів і технологій. Але як показали дослідження, будь-яка аварія або катастрофа може бути наслідком однієї із багатьох потенційних небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому метод логічного моделювання не може бути застосований для моделювання складних процесів, що імітують формування і виникнення складних аварій.

Даний метод дає можливість шляхом побудови "дерева" відмов і помилок операторів різних систем вести математичну обробку моделі з метою одержання ймовірності виникнення таких подій, як аварія, травма і катастрофа. Обчисленням рівня безпеки можна спрямувати удосконалення конструкції технічних засобів на зниження їх небезпек, а також вживати термінованих заходів для усунення небезпек з більш високим рівнем.

Метод "дерева несправностей" або "дерева помилок оператора" застосовують для аналізу складних систем [5]. Основні принципи побудови моделі такі: вивчається виробництво, на якому мали місце раніше або можуть мати місце аварії, виробничі травми.

Для побудови логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи, що характеризують ті чи інші події. Як правило, побудова моделі починається з головної операції, а наступні розміщуються зверху вниз аж до базових подій (рис. 4.1).

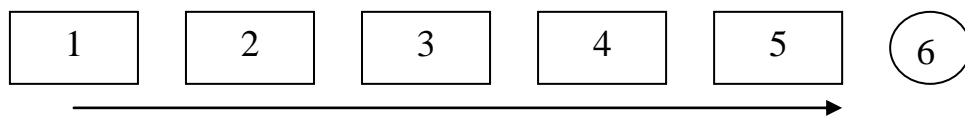


Рисунок 4.1 – Модель дерева помилок: 1-відмова системи – головна подія; 2-послідовність подій, що призводять до відмови (аварія) системи; 3-послідовність подій зображується за допомогою логічних операторів "І", "АБО" та інші; 4-усі входні і вихідні події, що входять до моделі, зображуються у вигляді прямокутників з відповідними написами.; 5-послідовний підхід до базових подій, частоти виникнення яких відомі; 6-базові події зображують у вигляді кружечків із написами всередині, вони є межею аналізу побудованої моделі ("дерева помилок")

Кожен блок рисунка, позначений відповідним номером, означає подію або окремий етап побудови моделі [5].

Аналіз умов, обставин та причин різних аварій, виробничих травм та деяких катастроф показав, що процеси формування та виникнення цих явищ можна заздалегідь моделювати, застосовуючи метод побудови "дерева" відмов та помилок оператора людино-машинних систем у народному господарстві. Так побудовані операторні або логіко-імітаційні моделі травм.

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. Потім модель представляємо до математичного виконання ймовірностей випадкових подій, застосовуючи формули:

1. Базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "І" входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P_3 можна визначити так:

$$P_3 = P_1 \cdot P_2. \quad (4.1)$$

Таблиця 4.1 – Ймовірності подій

Шифр	Назва події	Ймовірність
P_1	Відсутність захисного заземлення	0,02
P_2	Пошкодження захисного заземлення	0,04
P_3	Спрацювання складових установки	0,1
P_4	Неправильна експлуатація обладнання	0,02
P_5	Відсутність профілактичних заходів	0,2
P_6	Відсутність захисного щита	0,12
P_7	Недотримання правил вибору взуття	0,15
P_8	Незнання правил техніки безпеки	0,1
P_9	Відсутність засобів індивідуального захисту	0,2
P_{10}	Халатність	0,15

2. За допомогою оператора "І" три події з ймовірностями P_1 , P_2 і P_3 формують четверту випадкову подію. Тоді ймовірність цієї події P_4 обчислюють так:

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (4.2)$$

3. Оператор "І" об'єднує n події з ймовірностями P_1 , P_2 , P_3 , ..., P_n тоді ймовірність вихідної події P буде

$$P = P_1 \cdot P_2 \dots P_n. \quad (4.3)$$

4. Дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "АБО" входять до третьої події. Тоді ймовірність P_3 буде

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2. \quad (4.4)$$

5. Оператор "АБО" об'єднує три базові події з ймовірностями P_1, P_2, P_3 , які за допомогою цього оператора входять у наступні події з ймовірністю P_4 . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (4.5)$$

6. Якщо до оператора "АБО" входять чотири і більше випадкових базових події з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згруповують по дві або по три події і застосовують наведені формули. Після визначення ймовірностей вихідних подій кожної з таких груп, їх знову необхідно згрупувати і провести аналогічні обчислення, аж поки не залишаться дві або три події, над якими необхідно провести ті ж операції. Так поступово обчислюючи ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення.

Для проведення обчислень ймовірності травми використовуємо логіко-імітаційну модель процесу її формування (рис. 4.2).

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:

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

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

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

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

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

$$P_{17} = P_{13} + P_{14} - P_{13} \cdot P_{14} = 0,592 + 0,0236 - 0,0592 \cdot 0,0236 = 0,0814;$$

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

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

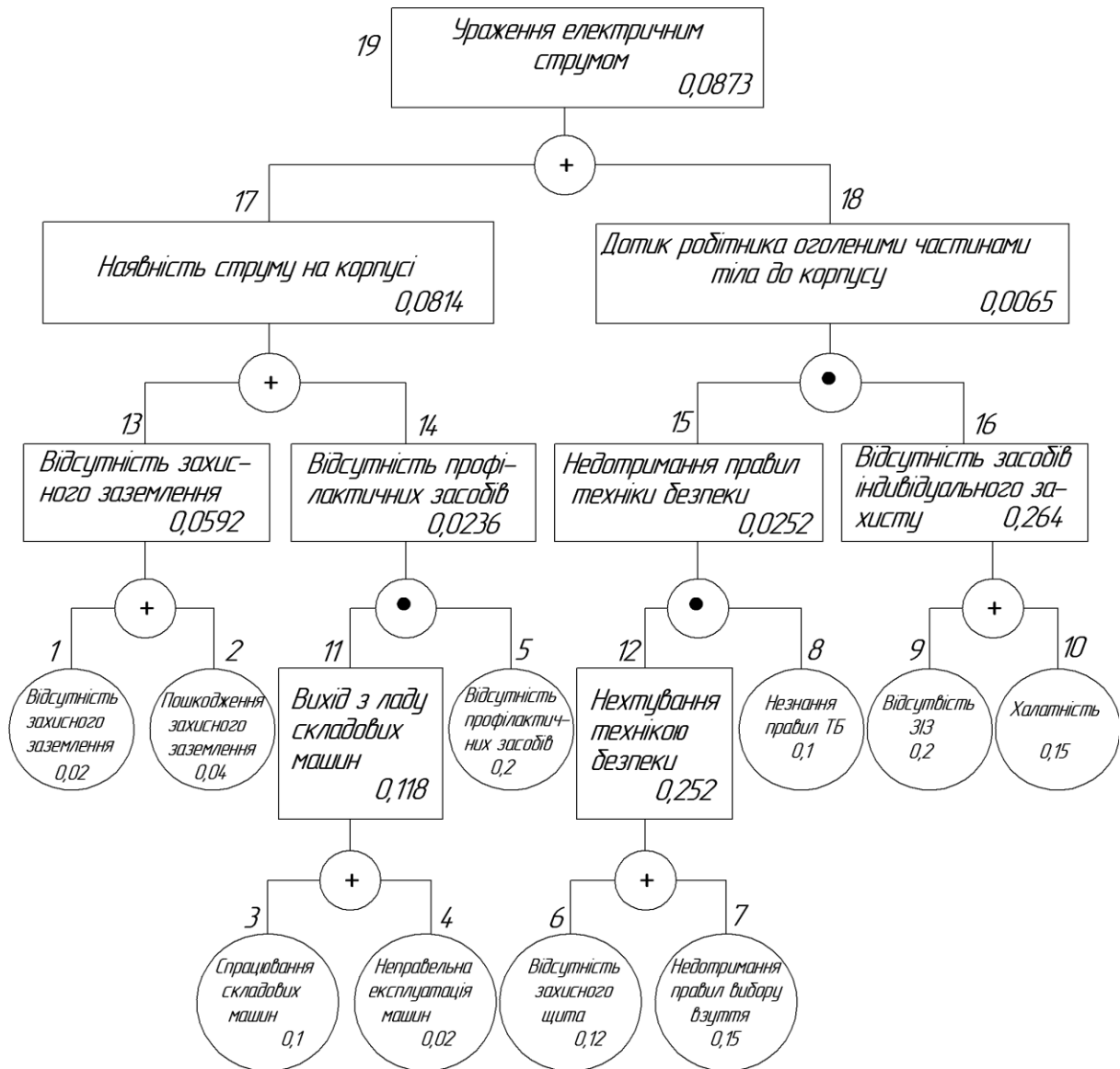


Рисунок 4.2 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травм при експлуатації електрообладнання

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 травми. 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 тваринницьких ферм

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.

При експлуатації енергогенеруючого обладнання, таких як сонячна фотоелектрична, вітроелектрична та тепломппова установки необхідно керуватися "Інструкцією з експлуатації сонячної фотоелектричної установки", "Інструкцією з експлуатації сонячної вітроелектричної установки", "Інструкцією з експлуатації холодильного обладнання" та "Правилами технічної експлуатації електрогенерувальних установок".

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.

При порушенні вимог даної інструкції з техніки безпеки робітники несуть відповідальність згідно з важкістю наслідків і заподіяної ним шкоди. Порушення інструкції розглядається як невикористання правил внутрішнього трудового розпорядку.

4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Забезпечення захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань не лише підприємства, але й цілої держави. Актуальність проблеми забезпечення природо-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей і шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами.

Захист населення є системою загальнодержавних заходів, які реалізуються центральними і місцевими органами виконавчої влади, виконавчими органами влад, органами управління з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення, підпорядкованими їм силами та підприємств, що забезпечують виконання організаційних, інженерно-

технічних, санітарно-гігієнічних, протиепідемічних та інших заходів у сфері запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Загрози життєво важливих інтересів громадян, держави, суспільства поділяються на зовнішні та внутрішні і виникають під час надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру та воєнних конфліктів.

Зовнішні загрози безпосередньо пов'язані з безпекою життєдіяльності населення і держави у разі розв'язання сучасної війни або локальних збройних конфліктів, виникнення глобальних техногенних екологічних катастроф за межами України, які можуть спричинити негативний вплив на населення та територію держави.

Внутрішні загрози пов'язані з надзвичайними ситуаціями техногенного і природного характеру або можуть бути спровоковані терористичними діями.

З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій має право проводитися спеціальний комплекс заходів.

Спостереження і контроль за довкіллям, продуктами харчування і водою забезпечується створенням і підтримкою в постійній готовності загальнодержавної і територіальних систем спостереження і контролю з включенням до існуючих сил та засобів контролю незалежно від підпорядкованості.

5 ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Як було зазначено раніше для енергозабезпечення досліджуваного підприємства заплановано використати гібридну систему, до складу якої входить вітроелектрична та сонячна фотоелектрична установки системи електропостачання та теплопомпова установка системи теплопостачання.

Визначимо загальну вартість первинного джерела теплоти для систем опалення та гарячого водопостачання, яке було організоване на базі дров'яного котла.

Річна витрата коштів на опалення при використанні дров'яного котла

$$B_{po} = W_{др} \cdot C_{др} \quad (5.1)$$

де $W_{др}$ – кількість твердого палива, яке було спалено впродовж року, м³;

$C_{др}$ – ціна 1 м³ твердого палива, грн.

$$B_{po} = 43,1 \cdot 1800 = 77580 \text{ грн.}$$

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

$$Q_{зм} = Q_{ел} \cdot K_{пер}, \quad (5.2)$$

де $Q_{ел}$ – 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 виробить 398533 МДж, що потребуватиме електроенергії в розмірі 27677 кВт·год.

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

$$B_{зм} = Q_{зм} \cdot C_{ел}, \quad (5.3)$$

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

$$B_{зм} = 27677 \cdot 6,72 = 185989 \text{ грн.}$$

Визначимо сумарну вартість електроенергії, яку споживає підприємство.

$$B_{елсп} = C_{ел} \cdot E_{елсп}, \quad (5.4)$$

де $C_{ел}$ – ціна 1 кВт·год. електроенергії, грн.;

$E_{ел}$ – сумарна кількість електроенергії, яка споживається досліджуваним об'єктом, кВт·год.

Отже,

$$B_{елсп} = 73600 \cdot 6,72 = 494592 \text{ грн.}$$

Вартість енергії, яку забезпечуватиме сонячна фотоелектрична система, або вітроелектрична установки визначаються їх річною продуктивністю.

Таким чином отримаємо вартість електроенергії виробленої сонячною фотоелектричною установкою становить

$$B_{фey} = 73521 \cdot 6,72 = 494061 \text{ грн.}$$

Аналогічним чином здійснимо розрахунок для вітроелектричної установки.

$$B_{вey} = 73599 \cdot 6,72 = 494585 \text{ грн.}$$

У випадку застосування гібридної системи можна отримати наступні показники:

$$\sum B_{ел} = 73602 \cdot 6,72 = 494605 \text{ грн.}$$

Якщо використати вітроелектричну установку для електрозабезпечення теплової помпи, то вартість електроенергії становитиме

$$B_{вey-ТПУ} = 27877 \cdot 6,72 = 187333 \text{ грн.}$$

І незалежно від рівня заміщення повнокомплектна комбінована установка, яка покриватиме всі енергетичні потреби буде виробляти електричну енергію вартістю 494592 грн, а також теплову енергію вартістю 77580 грн. Тобто сумарна вартість виробленої енергії становитиме 572172 грн.

Слід також зауважити, що у кожному із варіантів є періоди, коли є нестача виробленої електроенергії. Цю нестачу слід отримати із зовнішньої електромережі за стандартною вартістю.

Таким чином економічний ефект від застосування гібридної системи буде визначатися вартістю виробленої енергії за виключенням вартості електроенергії, яку слід купити із зовнішньої електромережі, тобто для варіанта тільки фотоелектрична установка отримаємо

$$E_{\text{сФЕУ}} = 73521 \cdot 6,72 - 11142 \cdot 6,72 = 419187 \text{ грн.}$$

В інших випадках виконуємо аналогічні розрахунки.

Визначимо термін окупності гібридної системи енергозабезпечення досліджуваного об'єкта за формулою

$$T_{\text{ок}} = \frac{B_{\text{гібр}}}{\sum E_{\text{гібр}}}, \quad (5.5)$$

де $B_{\text{гібр}}$ – вартість гібридної системи, грн., яка визначиться як сума вартості складових елементів.

Отже, отримаємо для фотоелектричної установки

$$T_{\text{ок}} = \frac{1909200}{419187} = 4,55 \text{ років.}$$

Як видно з розрахунку термін окупності гібридної системи є дуже добрим.

Аналогічні розрахунки виконаємо для інших варіантів системи енергозабезпечення. Результати розрахунків наведено в табл. 5.1.

Виходячи із даних табл. 5.1, найдешевшим варіантом з мінімальним терміном окупності є варіант з використанням лише фотоелектричної установки. З точки зору використання комбінованої установки, то незалежно від варіанта її виконання отримуються близькі за вартістю показники.

Таблиця 5.1 – Розрахунок економічної ефективності застосування комбінованих енергетичних установок

Варіант системи	К-сть нестачі електроенергії, кВт·год.	Вартість нестачі електроенергії, грн.	Вартість тепла, грн.	Вартість системи, грн	Вартість електроенергії, кВт·год.	Термін окупності, років
ФЕУ	11142	74874	-	1909200	494061	4,55
ВЕУ	11300	75936	-	2952600	494585	7,05
ВЕУ - ТПУ	9853	66212	77580	1576200	187333	7,93
ФЕУ і ВЕУ в пропорції 1:1 на електропотреби	3167	21282	-	2402040	494605	5,07
ФЕУ і ВЕУ в пропорції 1:3 на всі електропотреби разом з ТПУ	8770	58934	77580	4009320	494592	7,81
ФЕУ і ВЕУ в пропорції 1:1 на всі електропотреби разом з ТПУ	12930	86890	77580	3831720	494592	7,9

А з точки зору раціоналізації використання енергетичного обладнання найкращим варіантом слід вважати варіант з повним електрозабезпеченням всіх процесів, в тому числі й на потреби живлення теплової помпи в пропорції фотоелектрична установка – вітроелектрична установка 1:1.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Постійне зростання вартості енергетичних ресурсів призводить до поетапного переходу у сфері енергетики до використання відновлюваних джерел енергії. Це дозволяє зменшити залежність від викопних видів палива, поліпшити екологічні показники природного середовища та забезпечити потреби сучасних технологій в енергії для господарства. Зрозуміло, що це визначатиме необхідність нових стандартів і підходів до організації систем енергозабезпечення, зокрема, електропостачання.

В рамках дослідження тваринницької ферми передбачено реалізацію часткового або повного електропостачання за допомогою засобів відновлюваної енергії. Особливо перспективними є сонячна та вітрова енергії, які, працюючи взаємодією, можуть забезпечити певний рівень сталості у виробництві електроенергії. Також важливим є використання теплових pomp для забезпечення теплових процесів, таких як: опалення та гаряче водопостачання.

На підставі технологічного розрахунку було визначено обсяги споживання електричної енергії для потреб електрообладнання, гарячого водопостачання та освітлення.

Згідно з розрахунками, виконаними у другому розділі, для технологічних потреб електропостачання необхідно згенерувати наступні обсяги електроенергії: 69383 кВт·год. для електрообладнання технологічних процесів на фермі, 3541 кВт·год. для систем освітлення, 676 кВт·год. для системи водопостачання та 27884 кВт·год. для опалення та приготування гарячої води. Загальна кількість необхідної електроенергії складає 101848 кВт·год.

Для впровадження системи тепло- та електрогенерації з використанням відновлюваних джерел енергії проведено аналіз природних енергетичних ресурсів вітрового потоку, сонячного випромінювання та тепла ґрунту.

На основі середньомісячної швидкості вітру в досліджуваному регіоні був розрахований природний потенціал вітрового потоку, який складає 106,04 кВт·год./м² на сприймаючій поверхні для мережевої системи. Ця система визначена як основний варіант будівництва енергетичної системи. Щодо сонячної енергії, для даного регіону отримано ймовірне надходження сонячної енергії на рівні 321,05 кВт·год./м² для сприймаючої поверхні мережевої системи. Отримані результати свідчать про перспективність використання відновлюваних джерел енергії в цьому регіоні.

Було проведено розрахунки параметрів технічних засобів для електрогенерації за допомогою вітроелектричних та сонячних фотоелектричних установок при їхньому незалежному використанні.

За результатами розрахунків вияснили, що габаритна потужність вітроелектричної установки складатиме 66,5 кВт. Габаритна потужність сонячної фотоелектричної установки дорівнюватиме 64,5 кВт. З точки зору рівня енергозабезпечення, сонячна фотоелектрична установка при її незалежному використанні виявила більш оптимальні результати, що відображено у рівні недовиробництва електричної енергії на рівні 11142 кВт·год. Щодо вітроелектричної установки, розмір невиробництва електричної енергії становитиме 11300 кВт·год.

З метою визначення можливості створення гібридної системи електропостачання для досліджуваного об'єкта з використанням вітроелектричної та сонячної фотоелектричної установок, були проведені розрахунки параметрів комбінованої енергетичної системи з різним рівнем заміщення від кожного джерела. Зокрема, вивчалися такі варіанти: ФЕУ – ВЕУ – 1:1, ФЕУ – ВЕУ – 1:3, в комбінаціях із забезпеченням електроенергією теплової помпи системи опалення та гарячого водопостачання.

Графічні представлення енергетичних балансів показали, що серед комбінованих варіантів для забезпечення електропотреб комбінація системи з рівнем заміщення ФЕУ – ВЕУ 1:1 є найкращою. У випадку повного

енергозабезпечення підприємства як електричною, так і тепловою енергією, то варіанти ФЕУ – ВЕУ 1:1 і ФЕУ – ВЕУ 1:3 не виявили явно кращого варіанта. Для кінцевого вибору варіанта комбінації слід проаналізувати ще й економічні показники.

Для забезпечення безпечних умов праці, слід належну увагу приділяти заходам охорони праці. Був проведений аналіз стану техніки безпеки, і були розроблені відповідні заходи для його поліпшення. Також було розглянуто заходи щодо захисту цивільного населення у надзвичайних ситуаціях.

Для кінцевого рішення у виборі варіанта комбінації енергетичної системи проведено розрахунок економічного ефекту від їх застосування. На основі цього розраховано термін окупності капіталовкладень у впровадження енергетичної системи.

Зокрема, для забезпечення суто електричних потреб найкращим варіантом комбінації виявилась система з пропорцією ФЕУ – ВЕУ 1:1, яка має термін окупності 5,07 років. У випадку комбінованої системи для забезпечення всіх енергопотреб, включаючи теплові процеси, то варіанти ФЕУ – ВЕУ 1:1 і ФЕУ – ВЕУ 1:3 виявились практично однаковими. Однак, з точки зору мінімізації потужності одиначної установки вважаємо за доцільне застосування варіанта ФЕУ – ВЕУ 1:1, в якій термін окупності становить 7,9 років, з врахуванням вартості ще й теплової помпи системи тепlopостачання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. POWER Data Access Viewer. Prediction Of Worldwide Energy Resource – [Electronic resource]. Загол. з титул екрану. Access mode: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
2. Szymanski B. Instalacje fotowoltaiczne. Wydanie III. Krakow: Redakcja GLOBEnergia, 2014. 249 s.
3. Tytko R. Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej. Wydanie piąte uzupełnione. Krakow: Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Slowakow w Polsce, 2014. 671 s.
4. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: вид. ЛНАУ, 2008. 135 с.
5. 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.
6. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. К. : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
7. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підруч. К. : НТУУ "КПІ", 2012. 492 с.
8. Серіков Я. О. Основи охорони праці: Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти. Харків : ХНАМГ, 2007. 227с.
9. 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.

10. 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.
11. 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. 17 с.
12. Сиротюк С. В., Боярчук В. М., Гальчак В. П. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру. Львів: "Магнолія 2006", 2017. 182 с.