

**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: **„ГІБРИДНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЛОГО  
ПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ВІТРО-  
СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ”**

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

Мазур Роман Романович  
(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  
Мазуру Роману Романовичу

1. Тема роботи: "ГІБРИДНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЛОГО ПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ВІТРО-СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ"

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. Теоретичні основи розробки системи електрозабезпечення об'єктів з використання обладнання відновлюваної енергетики.

4.3. Обґрунтування структури та параметрів системи електрозабезпечення об'єктів з використання обладнання відновлюваної енергетики.

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	Теоретичні основи розробки системи електрозабезпечення об'єктів з використання обладнання відновлюваної енергетики	1.06.2023-15.08.2023	
3	Обґрунтування структури та параметрів системи електрозабезпечення об'єктів з використання обладнання відновлюваної енергетики	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 \_\_\_\_\_ Мазур Р. Р.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Сиротюк С. В.  
(підпис)

УДК 631.3

Гібридна система електропостачання малого переробного підприємства з використанням вітро-сонячної енергетичної установки. Мазур Р. Р. Кваліфікаційна робота. Кафедра енергетики. Дубляни. Львівський НУП, 2024.

61 с. текст. част., 18 рис., 7 табл., бібл. джерел 18 найм.

Подано характеристику предмету та об'єкта дослідження, зокрема розглянута загальна характеристика регіону та кліматична ситуація. Виконано обґрунтування теми роботи, виходячи із аналізу існуючих систем енергопостачання з відновлюваних джерел енергії. Визначено мету та основні завдання роботи.

Досліджено потреби в електроенергії для забезпечення технологічних процесів малого переробного підприємства. Проаналізовано енергетичний потенціал швидкості вітру та сонячного випромінювання.

Здійснено обґрунтування структури системи електропостачання малого переробного підприємства з використанням гібридної вітро-сонячної системи та визначено основні параметри складових цієї системи.

Обґрунтовано заходи безпечної експлуатації електроенергетичних установок електропостачання, розглянуто захист в надзвичайних ситуаціях.

Здійснено економічне моделювання параметрів гібридних вітро-сонячних енергетичних установок, на основі чого вибрано раціональний варіант для практичної реалізації.

**ЗМІСТ**

	Стор.
Вступ	6
<b>1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	<b>8</b>
1.1 Характеристика предмету і об'єктів дослідження	8
1.2 Обґрунтування актуальності теми роботи	17
1.3 Мета і завдання роботи	19
<b>2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ</b>	<b>20</b>
2.1 Визначення потреб в електроенергії для досліджуваного об'єкта	20
2.2 Визначення природного енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії	27
<b>3 ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ</b>	<b>30</b>
3.1 Обґрунтування структури системи електрозабезпечення переробного підприємства з використанням гібридної вітро-сонячної системи	30
3.2 Обґрунтування параметрів системи електрозабезпечення переробного підприємства з використанням вітроелектричної та сонячної фотоелектричної установок	33
3.3 Визначення параметрів системи акумуляції електроенергії	37
3.4 Обґрунтування параметрів гібридної вітро-сонячної електрогенерувальної системи	38

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	46
4.1 Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації електроенергетичних установок та систем	46
4.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час експлуатації електроенергетичних установок та систем	47
4.3 Розробка заходів запобігання травм і аварій під час експлуатації електроенергетичних установок та систем	50
4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях	51
5 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ	52
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	60

## ВСТУП

Хлібобулочні вироби є одними з основних винаходів в історії людства. Виробництво хлібобулочних виробів, яке в побуті вважаються відносно простим процесом, фактично є складним комплексом фізичних, колоїдних і біохімічних змін, як відбуваються в борошні, тісті, виробках.

Перспективним для господарства є створення власних переробних цехів, для забезпечення харчовими продуктами працівників господарства. Це дозволить вирішити цілий ряд проблем, тобто від зменшення витрат на продукцію під час завантаження-розвантаження до скорочення відстані перевезень, що займає значну частину затрат на виробництво сільськогосподарської продукції.

Проблема якості охоплює всі сторони господарської діяльності. Висока якість - це збереження праці і матеріальних ресурсів, ріст експортних можливостей, а в кінцевому випадку краще, більш повне задоволення потреб населення. Ось чому на підвищення якості продукції хліба повинні бути націлені весь механізм планування й управління, вся система матеріального та морального заохочення, зусилля інженерів і конструкторів, майстерність робітників.

Електропостачання як сільськогосподарських, так і переробних підприємств доволі сильно потерпає від якості електричної енергії, яка в сільській місцевості зазвичай є нижчої якості та рівня надійності. Це пов'язане із значною розсосередженістю сільськогосподарських об'єктів на значних територіях з відносно малим рівнем потужності споживання. Зважаючи на зношеність значної частини електромереж питання електропостачання потребує суттєвої уваги, а також і вирішення. Одним із рішень, які можуть допомогти знизити рівень залежності від зовнішньої електромережі, підвищення рівня надійності електропостачання, зниження рівня економічної залежності від тарифів на електричну енергію є

встановлення власних генерувальних установок, які базуються на використанні відновлюваних джерел енергії, зокрема, енергії сонячної радіації та вітрового потоку.

Такі установки можуть вирішити низку технологічних завдань як економічного, енергетичного, так і політичного характеру. Крім того, добрі практики реалізації об'єктів відновлюваної енергетики можуть бути стимулом для послідовників таких технологій електропостачання, що також може мати значний екологічний ефект, який викликається значною мірою роботою традиційних електростанцій на викопному паливі.



## **1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **1.1 Характеристика предмету і об'єктів дослідження**

1.1.1 Загальна характеристика об'єкта дослідження та клімату в регіоні

Створене сільськогосподарське товариство з обмеженою відповідальністю “Добротвір” на базі колективного сільськогосподарського підприємства. Село Старий Добротвір знаходиться на півдні Червоноградського району Львівської області з населенням близько 1200 осіб. Відстань від села до ближніх міст не перевищує 40 км (до м. Львів). Від районного центру (м. Червоноград) 30 км, від м. Кам'янка-Бузька – 15 км, від м. Радехів – 25 км.

Товариство займається виробництвом сільськогосподарської продукції, в основному тваринницької та зерна. Основними покупцями продукції, що виробляє товариство є хлібоприймальне підприємство, молокозавод. Постачальниками даного підприємства є нафтобаза, міжагротехсервіс тощо, а також приватні підприємства. Таке вигідне розташування населеного пункту до своїх покупців і постачальників сприяє кращому веденню господарства та зменшенню витрат на реалізацію та придбання товарно-матеріальних цінностей.

Старий Добротвір характеризується помірно теплим кліматом з м'якою зимою та теплим літом з середньою температурою повітря на рівні 9.0 °С за середньорічної норми опадів – 785 мм. Середньомісячна температура повітря становить –3°С у січні і +19 °С у липні - серпні. Середньорічна вологість повітря становить 79 %. Щодо вітрів, то найчастіше фіксуються західні вітри, а найрідше – північно-східні.

На рис. 1.1, подано максимальні і мінімальні температури в розрізі місяців року, а також рівень атмосферних опадів.

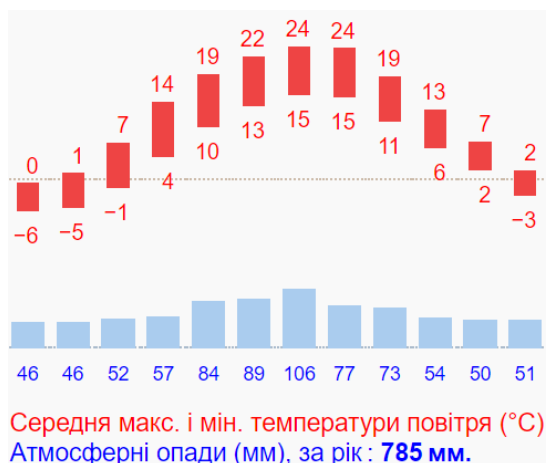


Рисунок 1.1 - Максимальні і мінімальні температури та також рівень атмосферних опадів на території с. Старий Добротвір

### 1.1.2 Загальні відомості про технологічний процес

Провівши аналіз економічного стану господарства, а також ситуацію, яка склалась в рослинницькій галузі, яка є однією із основних в досліджуваному господарстві, на нашу думку, можливим було б організувати у СТЗОВ "Добротвір" хлібопекарне підприємство.

Підбір асортименту та реалізація вироблюваної продукції, як продукту першої необхідності, повинна сприяти збалансованому харчуванню населення та повному використанню поживних речовин як сировини із забезпеченням безвідходності виробництва.

Зокрема, планується виробництво хліба вищого і першого ґатунків, а також батонів вищого ґатунку, на які спостерігається стійкий попит населення. Виробництво хлібобулочних виробів інших ґатунків, а також виробів зі специфічними смаками та ароматами може здійснюватись лише як експериментальний варіант, з метою вивчення попиту та задоволення потреб окремих верств населення.

Створення такого підприємства, значною мірою, покращить економічний стан господарства, покращить забезпеченість населення

високоцінними продуктами харчування, підвищить рівень зайнятості населення тощо.

На даний час у хлібопекарному виробництві застосовують два основних способи виробництва виробів з борошна: приготування прісних продуктів, для яких характерна відсутність бродіння в проміжному продукті (тісті); макаронні вироби, печиво та інші; приготування хлібних виробів способом бродіння тіста протягом декількох годин.

Існують різні способи замісу тіста: безопарний; приготування тіста на густій основі опарі; приготування тіста рідкій опарі; приготування тіста на заквасці (частина дозрілого тіста); приготування тіста на молочнокислій заквасці.

Найбільш розповсюдженими є перші два способи. При безопарному способі одразу замішують всю кількість борошна, води, дріжджів і соляний розчин та піддають механічній обробці у певній послідовності. В борошно заливають воду, соляний розчин і перемішують, після цього добавляють дріжджі і продовжують перемішувати до утворення однорідної маси.

При правильному співвідношенні борошна і допоміжних компонентів тісто після замісу стає сухим на дотик і еластичним. Таке безопарне тісто бродить 2,5-3 години. Для його приготування необхідно не менше 2-2,5% дріжджів (від маси борошна). Температура тіста при цьому повинна бути в межах 28-32°C. Вона залежить головним чином від температури води (молока) і температури борошна.

Приготування тіста на густій опарі використовується для випікання виробів з характерним смаком, а також з метою зменшення витрат дріжджів. Цей спосіб передбачає дві стадії. В першій стадії приготують опару, до її складу вносять 40–50 % борошна, дріжджі, 60 % води. Отримана після замісу густа, в'язка маса (опара) бродить при температурі 20–28 °C протягом 4–4,5 год. Потім до неї добавляють решту компонентів, тісто знову замішують і залишають для бродіння при температурі 28–30 °C протягом 1–1,5 год.

Вказаним способом тісто замішують з борошна, що характеризується невеликою підйомною силою, з борошна грубого помелу, що має низьку еластичність клейковини, а також з борошна з якого в результаті зберігання погіршилися властивості крохмалю. Недоліком цього способу є необхідність застосовувати великі місткості для бродіння опари і тіста, а також складність регулювання температури.

Головним критерієм вибору способу приготування тіста будемо вважати попит споживачів. Дослідження показують, що місцеве населення схиляється до вживання хлібобулочних виробів високої якості і відмінними смаковими властивостями.

З огляду на це, а також з врахуванням можливості більшого надходження грошових коштів на підприємство від реалізації високоякісного хліба, раціональним є впровадження технології приготування тіста на густій опарі. Крім того, що даний спосіб не характеризується високими експлуатаційними затратами на виробництво, ми можемо забезпечити вищі смакові та споживчі властивості хлібобулочних виробів.

Технологічний процес виробництва хлібобулочних виробів на даному підприємстві буде передбачати виконання наступних операцій: транспортування і зберігання сировини; підготовка сировини до застосування: підготовка борошна (просіювання, змішування, аерація); підготовка води і приготування розчинів (соляний, дріжджовий, цукровий); дозування компонентів; заміс тіста: приготування опари; приготування тіста; бродіння тіста; приготування виробів з тіста: розділення тіста; формування тістових заготовок (округлення); вистоювання тістових заготовок: завантаження тістових заготовок у шафу вистоювання; випікання виробів: змащення виробів з тіста; завантаження виробів з тіста у піч; випікання виробів; виймання готових виробів з печі; експедиція: охолодження готових виробів; укладання готових виробів у лотки, контейнери; транспортування хліба на реалізацію.

### 1.1.3 Відомості про системи енергозабезпечення об'єктів

Для зниження енергоємності виробництва хлібобулочних виробів на досліджуваному підприємстві доцільним було б застосувати енергоощадну систему електрозабезпечення з використанням поновлюваних джерел енергії. Застосування такої системи електрозабезпечення дозволить певною мірою знизити електронавантаження на місцеву електромережу, а також покращити екологічний стан місцевості, яка серйозно потерпає від наявності поблизу потужної теплової електростанції.

Одним із найбільш поширеним варіантом електрозабезпечення технологічних потреб об'єкта є застосування вітроенергетичних установок. Серед великої різноманітності вітроенергетичних установок умовам використання у системах електрозабезпечення відповідають вітроелектричні установки з безпосереднім перетворенням енергії вітру в електроенергію.

Серед вітроелектричних установок набули поширення системи з вихідною напругою змінного струму на виході електрогенератора 12, 24, 36, 110, 220 та 380 В. Причому перші три варіанти зорієнтовані на використання для акумуляції надлишку енергії свинцево-кислотних або лужних акумуляторів з номінальною напругою постійного струму 12 В (рис. 1.2). Забезпечення напруги на системі акумуляції 24 і 36 В досягається паралельним під'єднанням акумуляторних батарей. Ємність акумуляторних батарей вибирається після проведення відповідного розрахунку виходячи з виробничої необхідності забезпечення гарантованого електропостачання.

Подальше використання накопиченої енергії здійснюється двома способами: безпосереднє використання постійного струму; перетворення відповідної напруги постійного струму у змінну синусоїдальну або модифіковану синусоїду напругу 220 В. Таку систему можна рекомендувати для децентралізованого енергозабезпечення об'єктів. Слід зауважити, що такого виду системи не можуть забезпечити гарантоване енергопостачання з високим рівнем надійності.

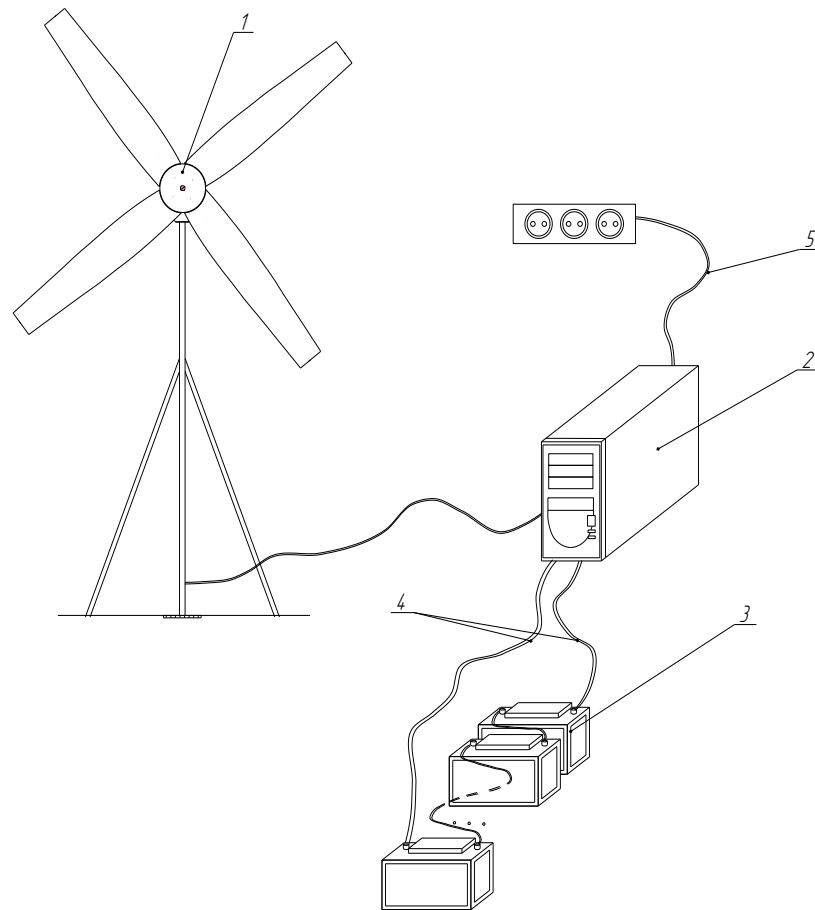


Рисунок 1.2 – Схема вітроелектричної системи малої потужності:  
 1-вітроелектроустановка; 2-блок управління зарядними струмами та перетворення енергії; 3-акумуляторні батареї; 4-низьковольтні з'єднувальні проводи з робочою напругою 12, 24 та 36 В; 5-високовольтні з'єднувальні проводи з робочою напругою 220 В

Це викликано в першу чергу великою нерегулярністю надходжень енергії вітру, яка пов'язана з регіональними та кліматичними особливостями місцевості. З іншого боку, для підвищення надійності функціонування автономної системи енергозабезпечення можливим є збільшення ємності акумулятора енергії, однак, таке збільшення ємності може бути економічно невиправданим. Крім того, такий варіант можливо застосовувати лише для малопотужних споживачів. Це викликано зростанням перетікаючих струмів в локальній електросистемі, що вимагатиме збільшення перетину електропроводки.

При використанні електрогенераторів з вихідною напругою 110, 220 і 380 В, які зазвичай є трифазними, робота організовується таким чином, що акумулятором надлишку електроенергії виступає централізована електромережа. Тобто, таку систему енергозабезпечення можна розуміти як частково автономну, і, яка характеризується найвищим рівнем надійності. Такого виду вітроелектроустановки проектуються великої потужності, вони оснащені складними механізмами регулювання частоти обертання вітроколеса та пристроями синхронізації частоти вироблюваної електроенергії з промисловою, яка є в централізованій електромережі.

Однією із особливостей вітроустановок, які використовуються для енергопостачання сільськогосподарських об'єктів є їх відносно мала одинична потужність, яка для окремих випадків може сягати близько 20 кВт. Встановлення вітроустановки більшої потужності спричинює не тільки фінансові труднощі реалізації таких проектів, а й низку організаційних та технологічних труднощів. Якщо розглянути встановлену потужність електрообладнання малих переробних підприємств, яка для різних об'єктів може сягати понад 100 кВт, то видно, що вітроустановки такої потужності неспроможні повністю забезпечити такі підприємства енергією. Одним із способів застосування вітроустановок є їх використання для енергозабезпечення окремих технологічних операцій відповідної потужності. Оскільки на малих переробних підприємствах з виробництва хлібобулочних та кондитерських виробів є ціла низка високоенергетичних процесів, які вимагають якісного постачання електроенергії, то такий варіант використання вітроустановки є нераціональним. Виходячи з цього, перспективним є використання вітроустановок для енергозабезпечення загальногосподарських потреб, таких як: водопостачання, освітлення, вентиляції, кондиціонування тощо.

Для невибагливих технологічних потреб також можна використати сонячні фотоелектричні панелі, які забезпечать живлення змінним струмом з

напругою 220-380 В. З врахуванням того, що використання електроенергії можливе тоді, коли практично відсутня сонячна радіація, то вироблену енергію необхідно накопичувати і зберігати у системі акумуляції, ємність якої повинна бути достатньою для використання на технологічні потреби протягом визначеного періоду часу. З огляду на те, що споживачі повинні житись від електроенергії змінного струму з напругою 220 В або 380 В, необхідним елементом в сонячній фотоелектричній системі, яка генеруватиме електроенергію постійного струму, є пристрій перетворення електроенергії з постійного струму у змінний.

На рис. 1.3 подано варіант структурної схеми комбінованого електрозабезпечення об'єкта з використанням сонячних фотоелектричних панелей.

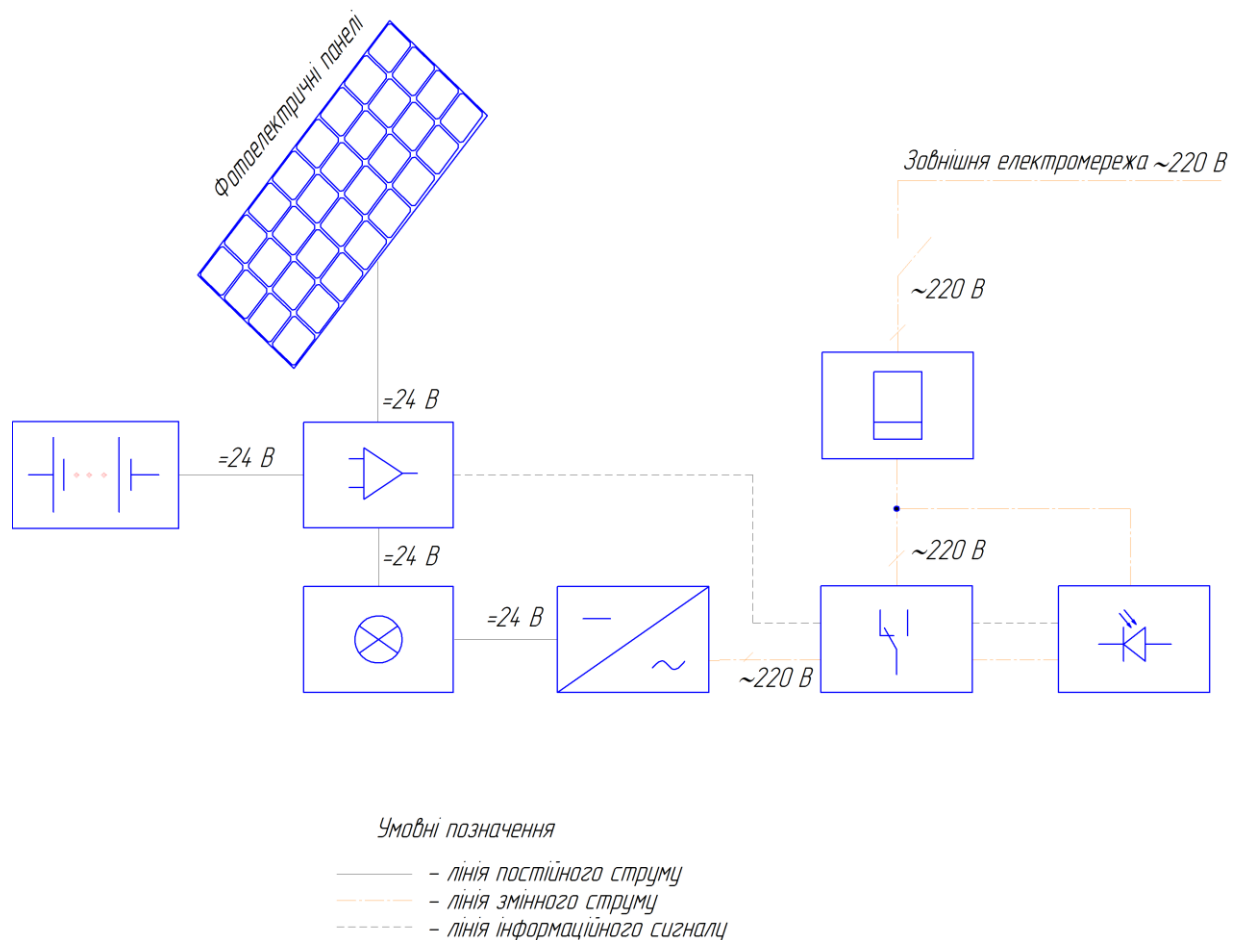


Рисунок 1.3 – Структурна схема системи сонячного електрозабезпечення з акумуляцією енергії



Як видно з рис. 1.3, в системі енергозабезпечення об'єкта можна виділити наступні енергетичні потоки, які характеризуються специфічними властивостями, як щодо виду електроенергії, яка використовується, так і щодо набору властивих саме цим ланкам елементній базі.

Охарактеризуємо роботу кожної із складових системи енергозабезпечення досліджуваного об'єкта.

Лінія трифазної та однофазної електроенергії з центральної електромережі, використовується для живлення основного електрообладнання об'єкта. Складовими елементами даної ланки є: ввідна електромережа 0,2 кВ; ввідний автоматичний вимикач; пристрій обліку електроенергії; пристрій запобіжного відключення; лінійний пакетний вимикач.

Лінія генерування та накопичення електроенергії від сонячних фотоелектричних панелей, складається з наступних складових елементів: фотоелектрична установка, до складу якої входять сонячні фотоелектричні панелі; блок управління режимами зарядки; блок акумуляторних батарей; блок контролю глибини розряду акумуляторних батарей; блок перетворення електроенергії постійного струму з напругою 24 В у напругу 220 В змінного струму.

Робота запропонованої системи електропостачання з використанням сонячних фотоелектричних панелей здійснюється наступним чином. Протягом світлового періоду доби здійснюється генерування електроенергії постійного струму з напругою 24 В, яка подається на акумуляцію в блок акумуляторних батарей. За режимом зарядки акумуляторів слідкує блок управління режимами зарядки. За глибиною допустимої розрядки акумуляторів слідкує пристрій контролю глибини розрядки акумуляторних батарей.

За необхідності живлення електрообладнання і за достатності акумуляованої енергії в акумуляторній батареї блок управління живлення

здійснює вмикання лінії сонячної фотоелектричної системи на технологічні потреби. Для перетворення електроенергії постійного струму у змінний використовується пристрій перетворення напруги.

У випадку перевищення глибини розряду акумуляторних батарей, який контролюється пристроєм контролю глибини розряду блок управління живлення здійснює перемикає системи технологічних потреб на живлення від зовнішньої електричної мережі з відповідним перемиканням вимикачів.

Об'єднавши у єдину енергетичну систему вітроелектричну та сонячну фотоелектричну установки можна забезпечити не тільки більший обсяг генерування електроенергії, а й підвищити рівень надійності цієї гібридної електрогенерувальної системи.

**Предметом дослідження** є процес хлібобулочного виробництва, який організовується з метою підвищення рівня економічної ефективності функціонування сільськогосподарського підприємства.

**Об'єктом дослідження** є обґрунтована структура системи енергозабезпечення переробного підприємства на базі вітроелектричної та фотоелектричної установок, яка підвищує рентабельність виробництва, знижує електронавантаження на зовнішню електромережу, а також покращує екологічну ситуацію в регіоні.

## **1.2 Обґрунтування актуальності теми роботи**

Провівши аналіз економічного стану господарства, а також ситуацію, яка склалась в рослинницькій галузі, яка є однією із основних в досліджуваному господарстві, на нашу думку, можливим було б організувати у СТзОВ "Добротвір" переробний цех з виробництва хлібобулочних виробів.

Підбір асортименту та реалізація вироблюваної продукції, як продукту першої необхідності, повинна сприяти збалансованому харчуванню

населення та повному використанню поживних речовин як сировини із забезпеченням безвідходності виробництва.

Створення такого підприємства, значною мірою, покращить економічний стан господарства, покращить забезпеченість населення високоцінними продуктами харчування, підвищить рівень зайнятості населення тощо.

Для зниження енергоємності виробництва хлібобулочних виробів на досліджуваному підприємстві доцільним було б застосувати енергоощадну систему електрозабезпечення з використанням поновлюваних джерел енергії. Застосування такої системи електрозабезпечення дозволить певною мірою знизити електронавантаження на місцеву електромережу, а також покращити екологічний стан місцевості, яка серйозно потерпає від наявності поблизу потужної теплової електростанції.

Крім того, реалізація такої системи дозволить оцінити можливості подальшої мультиплікації кращих практик застосування відновлюваних джерел енергії в системах електропостачання промислових та житлових об'єктів, що у свою чергу дозволить значно наростити темпи впровадження енергоощадних технологій. Все це в комплексі із загальнодержавними програми розвитку відновлюваної енергетики та формування механізмів так званого "зеленого переходу" підвищить рівень використання відновлюваних джерел енергії. Всі ці аспекти можуть бути ще одним інструментом реалізації завдання збільшення встановленої потужності об'єктів відновлюваної енергетики, які на себе взяла Україна за договорами співпраці з європейським співтовариством.

Окремо слід вказати на значний екологічний ефект, який може бути отриманий за рахунок суттєвого зниження споживання електроенергії із зовнішньої електромережі. Такого типу системи покликані не тільки розв'язати енергетичну проблему, але й проблему чистоти навколишнього середовища.

### 1.3 Мета і завдання роботи

Метою даної роботи є обґрунтування структури та параметрів гібридної вітро-сонячної системи електропостачання переробного підприємства.

Відповідно до мети роботи, завданням є:

- аналіз рівня споживання електроенергії за видами технологічних потреб;
- оцінка можливості використання обладнання відновлюваної енергетики для електропостачання досліджуваного об'єкта;
- дослідження енергетичного потенціалу вітрового потоку та сонячної радіації для можливої реалізації гібридної вітро-сонячної системи електропостачання досліджуваного об'єкта;
- обґрунтування параметрів структурних компонентів гібридної вітро-сонячної системи електропостачання досліджуваного об'єкта;
- обґрунтування раціональної структури гібридної вітро-сонячної системи електропостачання досліджуваного об'єкта залежно від рівня заміщення обсягів генерування електроенергії структурними компонентами;
- оцінка ефективності прийнятих рішень.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

### 2.1 Визначення потреб в електроенергії для досліджуваного об'єкта

Визначення витрати електроенергії на потреби досліджуваного об'єкта передбачає оцінку всіх енергетичних потреб, виявлення режиму споживання електроенергії, а також розрахунок відповідного обсягу споживання. Серед споживачів електричної енергії є основне технологічне обладнання, системи основного технологічного, охоронного та аварійного освітлення.

2.1.1 Розрахунок витрати електроенергії для потреб основного технологічного обладнання

Витрата електроенергії на існуючих підприємствах зазвичай оцінюється за реальним режимом споживання за показами лічильників електроенергії, дата-логерів тощо. У випадку проектування нових, або є реконструкції об'єктів такий метод застосувати неможливо. Тому тут здійснюється розрахунковий метод визначення обсягів споживання електроенергії основним технологічним обладнанням.

Добова витрата електроенергії  $E_{\text{д}}$  для усталеного часового режиму роботи технологічного обладнання може бути розрахована за формулою:

$$E_{\text{мо}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{м}}} P_i \cdot t_i \cdot K_{\text{д}}, \quad (2.1)$$

де  $P_i$  - потужність електропривода  $i$ -ї машини, кВт;

$t_i$  - тривалість циклу роботи  $i$ -ї машини, год;

$K_{\text{д}}$  - кількість включень  $i$ -ї машини протягом доби.

$$E_{\text{мод}} = (5,5 + 0,55 + 14,5 + 1,87 + 2 \cdot 0,25 + 3 + 1,1 + 8,6 + 71,1)1,4 \cdot 6 = 896 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Однак, цей метод не достатньо точно відображає специфіку реального використання технологічного обладнання, відповідно до виробничого процесу.

Одним із методів визначення витрати електроенергії є розробка лінійного графіка роботи обладнання, на якому можна відобразити погодинну витрату електроенергії (рис. 2.1). Побудова таких графіків дозволяє виявити пікові навантаження електромережі під час роботи підприємства.

Зміст операції	Тривалість роботи, год	Марка машини	Встановлена потужність,	Години роботи													
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1.Накопичення і дозування борошна	2,9	A1-ХБУ-39 +ДББ-500	5,5														
2.Приготування розчинів	0,91	T1-ХСП	14,5														
3.Просіювання і дозування борошна	2,32	A2-ХПГ	1,5														
4.Приготування тіста	3,83	A2-ХТМ	1,87														
5.Бродіння тіста	8,19	И8-ХТА-12/6	0,25														
6.Поділ тіста на заготовки	1,8	A2-ХТН	3														
7.Округлювання тістових заготовок	1,2	T1-ХТН	1,1														
8.Вистоювання тістових заготовок	4,14	T1-ХР-2А-72	8,6														
9.Випікання хліба	5	Щ2-ХПА-10	71,1														
10.Вистоювання хліба	2	A2-ХМТ/25	0														

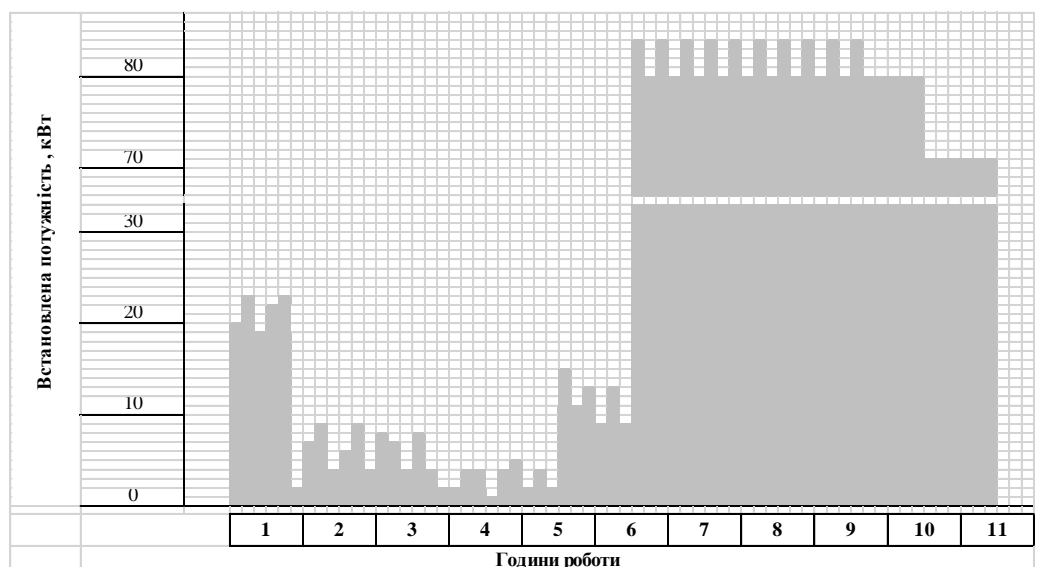


Рисунок 2.1 – Лінійний графік роботи основного технологічного обладнання

Як видно з лінійного графіка, поданого на рис. 2.1, перша половина робочої зміни не характеризується значними обсягами споживання електроенергії, однак у другій половині спостерігається багатократне збільшення обсягів витрати електроенергії. Зважаючи на те, що робота таких підприємств зазвичай припадає на ранній ранковий або пізній вечірній періоди, або ж у нічний (в період дії нічного тарифу) період, а також є необхідність забезпечити високу надійність електропостачання, то рекомендувати застосування систем електропостачання засобами відновлюваної енергетики є недоцільно.

Місячну витрату електроенергії можна визначити як добуток добового споживання на кількість робочих днів у поточному місяці. З врахуванням специфіки виробництва, кількість робочих днів у місяці відповідає кількості днів у цьому місяці.

$$E_{mo} = E_{mod} \cdot n, \quad (2.4)$$

де  $n$  – кількість днів у поточному місяці, днів.

Отже, для січня місяця отримаємо

$$E_{mo} = 896 \cdot 31 = 27776 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Результати розрахунку помісячної витрати електроенергії для потреб основного технологічного обладнання заносимо у табл. 2.1.

#### 2.1.2. Необхідна кількість енергії для системи гарячого водопостачання

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

Розрахунок теплового навантаження системи гарячого водопостачання здійснюється відповідно до технологічних потреб, згідно з технологічною картою, що передбачає потреби на миття підлоги, миття технологічного обладнання, санітарно-побутові потреби. Так, згідно з технологічною картою, на потреби системи гарячого водопостачання необхідно готувати 850 л гарячої води з температурою 55 °С. Отже, споживання електроенергії

Таблиця 2.1 – Розрахунок помісячної витрати електроенергії для потреб виробничого цеху

Місяць року	Основне технологічне обладнання	Гаряче водопостачання	Основне освітлення	Охоронне освітлення	Разом	Разом без основного технологічного обладнання
1	27776	1812	253	67	29908	2132
2	25088	1623	228	60	26999	1911
3	27776	1778	253	67	29874	2098
4	26880	1640	245	65	28830	1950
5	27776	1656	253	67	29752	1976
6	26880	1604	245	65	28794	1914
7	27776	1658	253	67	29754	1978
8	27776	1670	253	67	29766	1990
9	26880	1676	245	65	28866	1986
10	27776	1774	253	67	29870	2094
11	26880	1780	245	65	28970	2090
12	27776	1824	253	67	29920	2144
Сума	327040	20495	2979	789	351303	24263



для нагріву води буде визначатися обсягом води, кінцевою та початковою температурою, яка подана в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Середньомісячні температури водопровідної води  $t_{xe}$

Темпе- ратура	Місяць року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{xe}$	5,78	6,18	6,68	8,96	10	9,96	9,94	9,63	7,94	6,79	5,03	5,43

За відомих значень впливових чинників можемо виконати розрахунок середньодобового споживання електроенергії для нагріву води за формулою:

$$E_{ze} = 1,2 a c_p \rho (t_{ze} - t_{xe}) \cdot 0,2778 \cdot 10^{-3} \cdot n, \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (2.2)$$

де  $a$  – кількість гарячої води, л/добу;

$c_p$  – 4,19 кДж/кг·град. – питома теплоємність води;

$\rho$  = 1,0 кг/л – густина води;

$t_{ze} = 55^\circ\text{C}$  – температура гарячої води;

$t_{xe}$  – температура холодної води;

$0,2778 \cdot 10^{-3}$  – коефіцієнт перерахунку теплового еквіваленту енергії у електричний, кДж/кВт·год.

Отже, отримуємо для січня місяця

$$E_{ze} = 1,2 \cdot 850 \cdot 4,19 \cdot 1(55 - 5,78) \cdot 0,2778 \cdot 10^{-3} \cdot 31 = 1812 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Аналогічним чином здійснюємо розрахунок для кожного із місяців, відповідно до зміни температури холодної води.

Сумарна річна потреба в електроенергії для системи гарячого водопостачання визначиться як сума місячних.

Результати розрахунку потреби в електроенергії для системи гарячого водопостачання заносимо у табл. 2.1.

### 2.1.3 Розрахунок витрати електроенергії для потреб основного технологічного освітлення

Для визначення обсягів споживання електроенергії на потреби системи основного технологічного освітлення застосовують метод світлового потоку. Тут визначаються тип і кількість освітлювальних приладів, які забезпечать відповідний рівень освітленості.

В нашому випадку нам необхідно визначити лише рівень споживання електроенергії для системи, які була спроектована відповідно до чинних нормативів. Витрату електроенергії для потреб системи освітлення визначимо через споживану потужність та режим її використання.

Потужність системи основного освітлення виробничого цеху визначається як добуток кількості освітлювальних приладів на їх одиничну потужність

$$P_{oc} = K_{on} \cdot P_{on}, \quad (2.3)$$

де  $K_{on}$  – кількість освітлювальних приладів одного виду, шт.;

$P_{on}$  – потужність освітлювальних приладів одного виду, Вт.

Отже,

$$P_{oc} = 34 \cdot 30 = 1020 \text{ Вт.}$$

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

$$E_{oc} = P_{oc} \cdot T_{oc} \cdot n, \quad (2.4)$$

де  $P_{oc}$  – потужність системи основного освітлення приміщення, кВт;

$T_{oc}$  – тривалість роботи системи основного освітлення, год.

Таким чином, для січня місяця отримаємо

$$E_{oc} = 1,020 \cdot 8 \cdot 31 = 253 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Річна кількість електроенергії для потреби системи основного технологічного освітлення визначиться як сума помісячних значень. Результати розрахунків місячної витрати електроенергії заносимо у табл. 2.1.

#### 2.1.4 Розрахунок витрати електроенергії для потреб охоронного та аварійного освітлення

Розрахунок параметрів охоронного та аварійного освітлення можна провести за методикою, яка викладена вище. Тобто, необхідно визначити місячне споживання електроенергії.

Тоді для січня місяця отримаємо

$$E_{aoc} = 12 \cdot 15 \cdot 12 \cdot 31 \cdot 10^{-3} = 67 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Сумарно для потреб систем обсяг необхідної електроенергії становитиме

$$E_o = E_{oc} + E_{aoc} . \quad (2.5)$$

Отже, для потреб системи освітлення необхідно

$$E_o = 253 + 67 = 320 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

З врахуванням інших енергетичних потреб сумарне споживання електроенергії переробним цехом становитиме

$$E = E_{mo} + E_{zg} + E_o . \quad (2.6)$$

Отже, для січня місяця витрата електроенергії становитиме

- з врахуванням основного технологічного обладнання

$$E = 27776 + 1812 + 320 = 29908 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

- без врахування основного технологічного обладнання

$$E = 1812 + 320 = 2132 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Результати розрахунків заносимо у табл. 2.1.

Отже, як було вказано раніше, будувати систему електропостачання на базі гібридної вітро-сонячної установки для повного покриття потреб є недоцільним. Тому, очевидно слід сконцентруватися на потребах, які не такі вибагливі до надійності електропостачання, і які можуть легко бути обладнані системи акумулювання енергії, як теплової, так і електричної.

## 2.2 Визначення природного енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії

Визначення природного енергетичного потенціалу вітрового потоку та сонячної радіації виконаємо за даними відкритого сервісу Національного аерокосмічного агентства Сполучених Штатів Америки (NASA) за адресою: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (рис. 2.2).

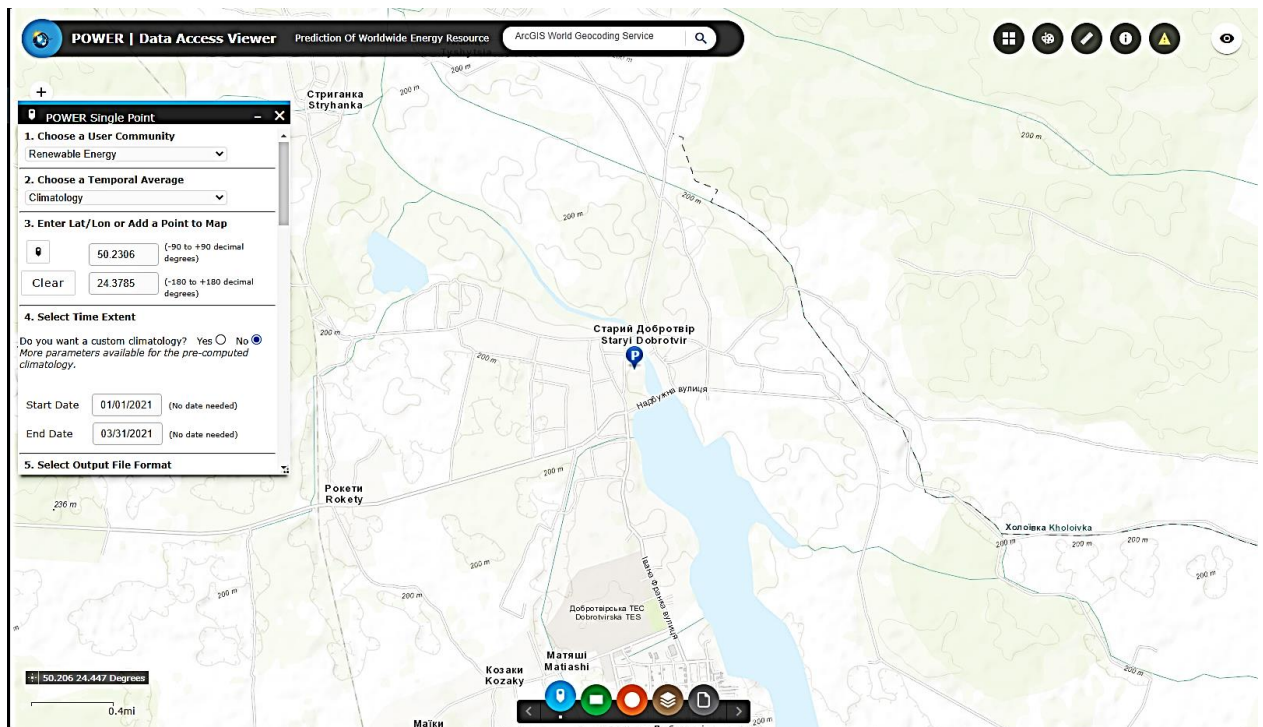


Рисунок 2.2 – Фрагмент робочого вікна сервісу глобального моніторингу кліматичної ситуації

За запитом необхідних типів даних було згенеровано файл у форматі "\*.csv", які містили дані про середньомісячну швидкість вітру та середньодобове надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню. На підставі отриманих даних було визначено енергетичний потенціал відповідного енергетичного ресурсу (табл. 2.3 і табл. 2.4) з графічним відображенням річної динаміки (рис. 2.3 і рис. 2.4, для вітрового потоку та сонячної радіації, відповідно).

Таблиця 2.3 – Розрахунок питомого енергетичного потенціалу вітрового потоку

Місяць року	Середня швидкість вітру, м/с	Кількість днів в місяці	Встановлена швидкість вітру, м/с	Енергія вітру за місяць, кВт·год./м <sup>2</sup>	Енергія вітру за місяць в системі, кВт·год./м <sup>2</sup>
1	5,22	31	6,29	119,42	28,63
2	5,02	29	6,07	100,4	24,07
3	4,96	31	6	103,65	24,85
4	4,37	30	5,37	71,91	17,24
5	3,94	31	4,9	56,46	13,53
6	3,72	30	4,66	46,99	11,26
7	3,51	31	4,44	42	10,07
8	3,42	31	4,34	39,23	9,40
9	3,86	30	4,81	51,68	12,39
10	4,46	31	5,46	78,11	18,72
11	4,84	30	5,87	93,93	22,52
12	5,2	30	6,26	113,92	27,31
Разом за рік	4,38	365	5,37	917,7	219,99

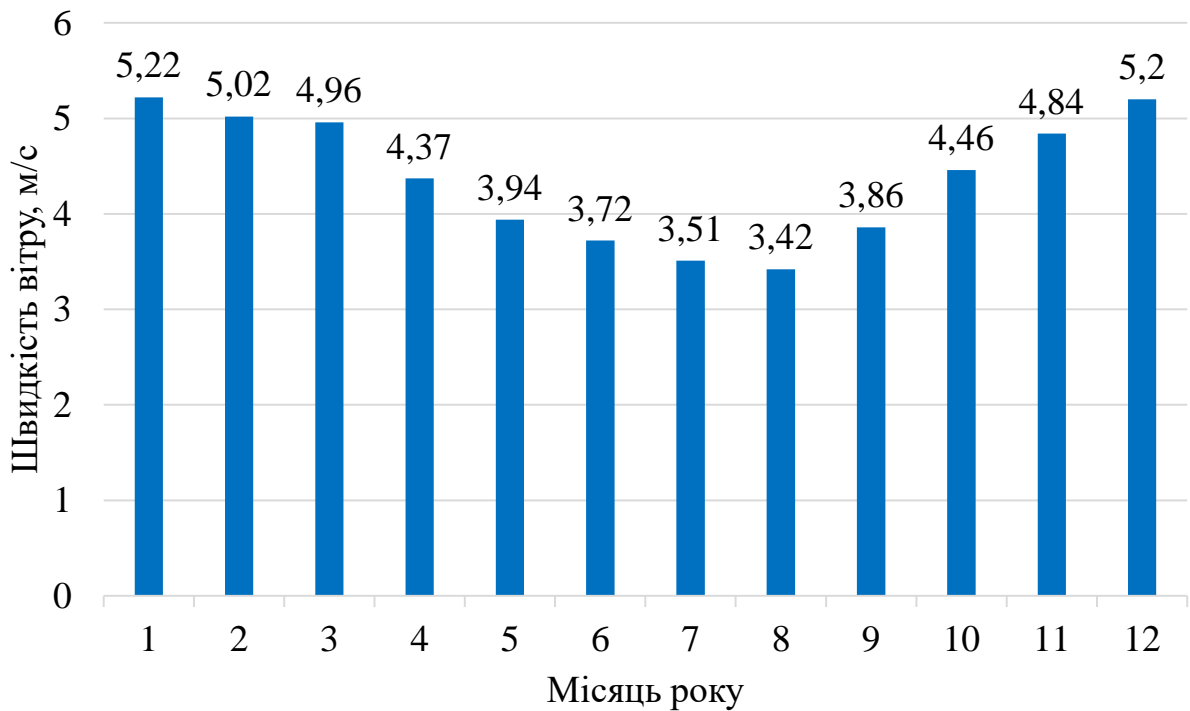


Рисунок 2.3 – Середньомісячна швидкість вітрового потоку

Таблиця 2.4 – Надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню, що зорієнтована на південний напрямок, кВт·год./м<sup>2</sup>/день

PARAMETER	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL	0,85	1,68	2,87	4,32	5,32	5,83	5,59	4,94	3,37	1,97	0,9	0,64
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15	1,39	2,35	3,57	4,74	5,3	5,59	5,43	5,2	4,04	2,72	1,39	1,09
SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE	1,51	2,47	3,6	4,54	4,89	5,07	4,96	4,89	3,99	2,82	1,49	1,19
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15	1,56	2,48	3,46	4,13	4,3	4,39	4,32	4,38	3,74	2,76	1,51	1,24
SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL	1,46	2,24	2,88	3,04	2,96	2,94	2,92	3,11	2,93	2,36	1,37	1,16

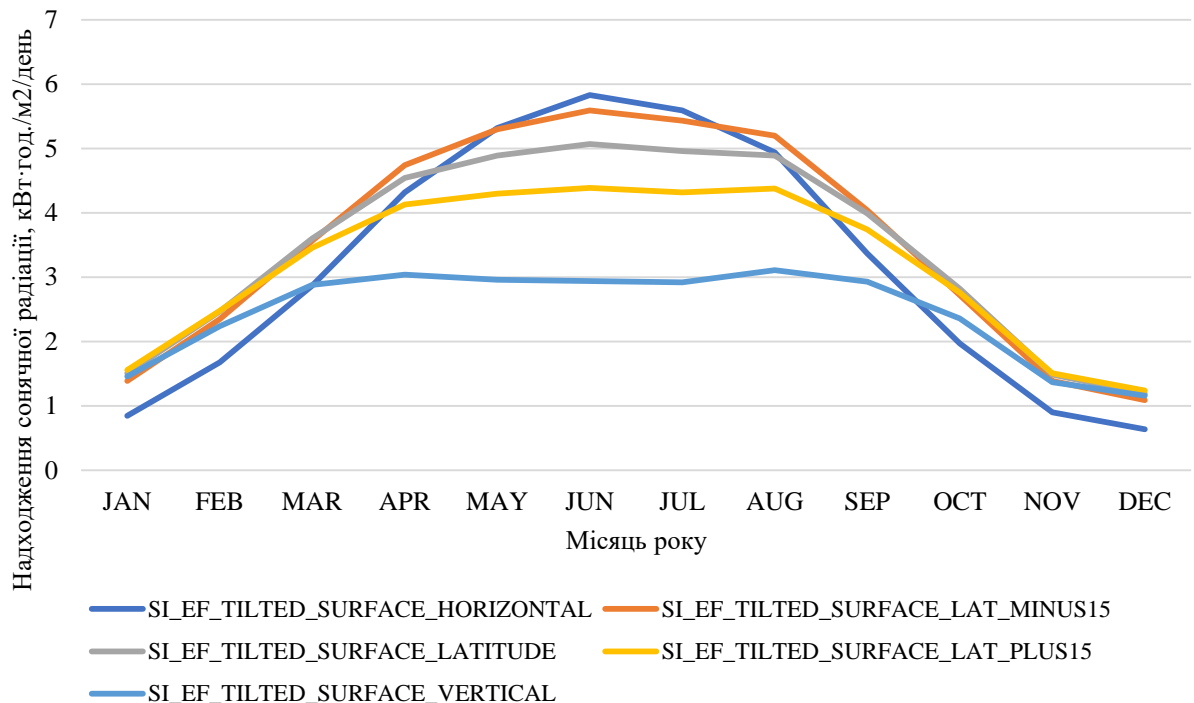


Рисунок 2.4 - Надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню, що зорієнтована на південний напрямок залежно від кута її розташування до горизонту

За наявних даних про питомий енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії можна обґрунтувати параметри технічних засобів перетворення відповідного енергетичного ресурсу у електричну енергію, що дозволить сформувати раціональну структуру гібридної системи.

## **3 ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

### **3.1 Обґрунтування структури системи електрозабезпечення переробного підприємства з використанням гібридної вітро-сонячної системи**

Для розробки схеми електрозабезпечення необхідним є виявлення можливості електрозабезпеченості виробничого об'єкту від кожного з вибраних відновлюваних джерел енергії. Розрахунки, виконані в розділі 2 підтверджують наявність енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії, що дозволить забезпечити повне або часткове електрозабезпечення виробничих потреб підприємства.

Таким чином, у розроблюваній схемі енергозабезпечення може бути багатоваріантність та багато потоковість енергетичних потоків, які викликана можливістю використання різних джерел енергії. В даному випадку пропонується для електрозабезпечення енергомістких технологічних процесів виробництва хлібобулочних виробів використати централізовану електромережу, а для малопотужних технологічних потреб, які не висувають жорстких вимог щодо якості та надійності електрозабезпечення, як нагрів води, основна, охоронна та аварійна системи освітлення – засоби перетворення відновлюваних джерел енергії. Зокрема, для живлення основної технологічної системи освітлення рекомендується застосувати вітроелектричну установку, яка забезпечить живлення даної системи освітлення змінним струмом з напругою 220 В. Живлення охоронної та аварійної системи освітлення слід забезпечити за рахунок використання сонячних фотоелектричних панелей, із виробництвом електроенергії

постійного струму напругою 12, 24 або 36 В. Оскільки, використання даної енергії необхідне лише тоді, коли практично відсутня сонячна радіація, то всю вироблену енергію необхідно запасти у системі акумуляції, ємність якої повинна бути достатньою для роботи мережі охоронної та аварійної освітлення протягом визначеного періоду часу. Враховуючи те, що система охоронного та аварійного освітлення повинна житись від електроенергії змінного струму з напругою 220 В, необхідним елементом в сонячній фотоелектричній системі є пристрій перетворення електроенергії з постійного струму у змінний.

На рис. 3.1 подано структурну схему системи енергозабезпечення малого переробного підприємства.

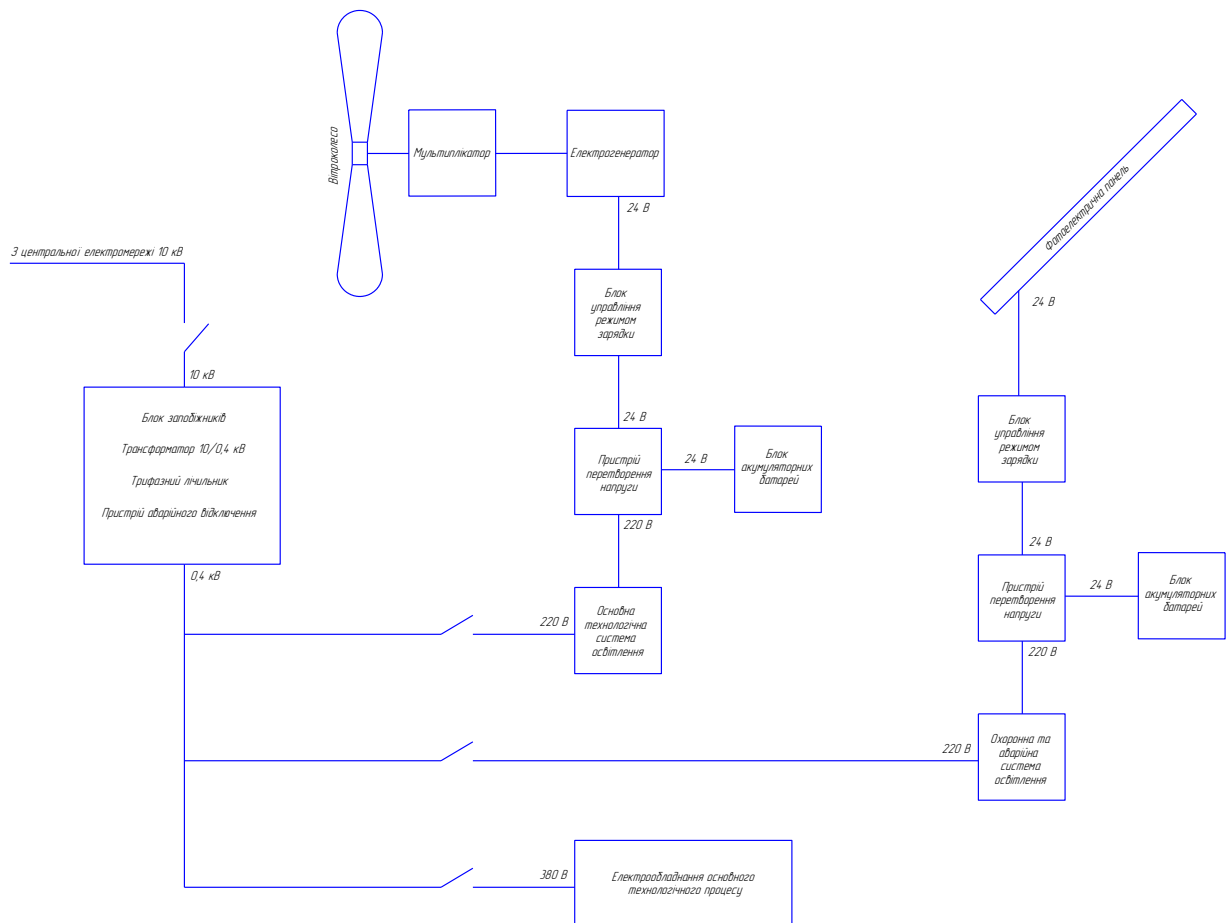


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи електрозабезпечення переробного підприємства з використанням гібридної вітро-сонячної установки



Як видно з рис. 3.1, в системі енергозабезпечення можна виділити три ланки, які характеризуються специфічними властивостями, як щодо виду електроенергії, яка використовується для технологічної потреби, так і щодо набору властивих саме цим ланкам елементній базі.

Охарактеризуємо роботу кожної із складових системи енергозабезпечення досліджуваного хлібопекарного підприємства.

Ланка трифазної електроенергії з центральної електромережі (рис. 3.1, а), яка використовується безпосередньо для технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів. Складовими елементами даної ланки є: ввідні дроти електромережі 10 кВ; до яких під'єднаний ввідний силовий автомат; високовольтні запобіжники; понижувальний трансформатор напруги з перетворенням на 0,4 кВ; пристрій обліку електроенергії; пристрій аварійного відключення; розгалужувальна шина; лінійні пакетні вимикачі.

Ланка нагріву води та основної технологічної системи освітлення (рис. 3.1, б), складається з наступних складових елементів: вітроелектрична установка в структурі якої можна виділити вітроколесо, опору, опорно-поворотний вузол, мультиплікатор, електрогенератор; блок управління і перетворення, в структурі якого можна виділити пристрій керуванням зарядними струмами, перетворювачі з змінного струму на постійний та з постійного струму на змінний; блок акумуляторних батарей; електромережа основного освітлення; освітлювальні прилади.

Ланка системи охоронного та аварійного освітлення (рис. 3.1, в), складається з наступних складових елементів: фотоелектрична установка, до складу якої входить певна кількість сонячних фотоелектричних панелей; блок управління, в структурі якого можна виділити блок управління зарядними струмами, блок навантаження фотопанелей; блок акумуляторних батарей; блок перетворення електроенергії постійного струму з напругою 12, 24 або 36 В у напругу 220 В змінного струму; електромережа охоронного та аварійного освітлення; освітлювальні прилади.

Оскільки, енергозабезпечення систем освітлення не може бути повністю забезпечене за рахунок відновлюваних джерел енергії з високим рівнем надійності, то обов'язковим є під'єднання їх до основної електромережі підприємства.

Слід зауважити, що на структурній схемі подано лише умовний поділ електрогенерувальної установки на структурні елементи. Насправді всі електрогенерувальні установки працюють на одну внутрішню електромережу, звідки живиться необхідне технологічне обладнання. Однак, такий поділ дозволить на етапі обґрунтування параметрів гібридної установки визначити орієнтовні параметр як вітроелектричної, так і сонячної фотоелектричної установок.

## **3.2 Обґрунтування параметрів системи електрозабезпечення переробного підприємства з використанням вітроелектричної та сонячної фотоелектричної установок**

### **3.2.1 Визначення параметрів вітроелектричної установки**

Для визначення габаритної потужності вітроустановки, яка забезпечить виробництво необхідної кількості електроенергії слід скористатись формулою

$$P_{\text{вкз}} = \frac{E_{\text{вв}} + E_{\text{ос}}}{n_p \cdot t_d}, \quad (3.1)$$

де  $n_p$  – кількість днів у році, днів;

$t_d$  – тривалість доби, год.

Тоді отримаємо

$$P_{\text{вкз}} = \frac{23474}{24 \cdot 365} = 2,68 \text{ кВт.}$$

Визначимо потужність, яку повинне розвивати вітрове колесо за формулою

$$P_{\text{вк}} = \frac{P_{\text{вкз}}}{\eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{з}}}, \quad (3.2)$$

де  $\eta_{\text{м}}$  і  $\eta_{\text{з}}$  – коефіцієнти корисної дії мультиплікатора і електричного генератора, відповідно.

Тоді, підставивши значення в (3.2) одержимо

$$P_{\text{вк}} = \frac{2680}{0,91 \cdot 0,86} = 3424 \text{ Вт.}$$

Приймаємо потужність вітроколеса рівною 3400 Вт.

Діаметр вітрового колеса  $D_{\text{вк}}$  можна визначити скориставшись формулою

$$D_{\text{вк}} = \sqrt{\frac{8 \cdot P_{\text{вк}}}{\pi \cdot \nu^3 \cdot \rho_{\text{п}} \cdot C_p \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{з}}}}, \quad (3.3)$$

де  $\nu$  – швидкість вітру, м/с, за даними сервісу NASA середньокубічна швидкість рівна 5,8 м/с;

$\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho = 1,27$  кг/м<sup>3</sup>;

$C_p$  – коефіцієнт потужності, для вибраного типу вітрового колеса  $C_p = 0,35$ .

Для наших значень параметрів

$$D_{\text{вк}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 3400}{3,14 \cdot 5,37^3 \cdot 1,27 \cdot 0,35 \cdot 0,91 \cdot 0,86}} = 12,68 \text{ м.}$$

Таким чином, для необхідного виробництва електроенергії за існуючих кліматичних та географічних умов доцільним є застосування вітроустановки з діаметром робочого колеса 13 м.

Якщо ж забезпечити за рахунок вітроелектричної установки всі малопотужні енергетичні потреби, то потужність вітроустановки зросте до 3,5 кВт, а заокруглений діаметр вітрового ротора відповідатиме новим умовам застосування.

### 3.2.2 Визначення параметрів сонячної фотоелектричної установки

Одним із варіантів електропостачання малоенергетичних технологічних процесів, які не висувають жорстких вимог щодо регулярності та надійності надходження є застосування для виробництва електроенергії сонячних фотоелектричних модулів.

Для забезпечення електроенергією системи освітлення, як основного технологічного, так і охоронного та аварійного освітлення можливим є застосування фотоелектричних модулів типу Ja Solar JAM72S30-555/MR китайського виробництва. Номінальна потужність фотомодуля стандартного розміру становить 555 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

$$W_{cd} = \eta \cdot H_{\beta} \cdot S \cdot \eta_{in} \cdot \eta_k, \quad (3.4)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії фотоелектричної панелі;

$H_{\beta}$  – інтенсивність надходження сонячної енергії, кВт·год;

$S$  – площа сприймаючої поверхні фотоелектричної панелі, м<sup>2</sup>;

$\eta_{in}$  – коефіцієнт корисної дії інвертора;

$\eta_k$  – коефіцієнт корисної дії кабелів.

Так, для січня місяця середньоденне виробництво електроенергії буде рівним

$$W_{cd} = 0,215 \cdot 1,39 \cdot 2,48 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 0,712 \text{ кВт·год.}$$

Визначимо місячне виробництво електроенергії за формулою

$$W_{mic} = W_{cd} \cdot n_{md}, \quad (3.5)$$

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

Тобто, протягом січня місяця сонячна фотоелектрична панель зможе виробити

$$W_{\text{міс}} = 0,712 \cdot 31 = 22,07 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Річне виробництво електроенергії сонячною фотоелектричною панеллю визначиться як

$$W_{\text{річ}} = \sum_{i=1}^n W_{\text{місі}} \cdot \quad (3.6)$$

Результати розрахунку за формулами (3.4)-(3.5) подано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок виробництва електроенергії сонячним фотоелектричним моделям типу Ja Solar JAM72S30-555/MR

Параметр	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$H_{\beta}$ , кВт·год.	1,39	2,35	3,57	4,74	5,3	5,59	5,43	5,2	4,04	2,72	1,39	1,09
$W_{\text{сд}}$ , кВт·год.	0,712	1,203	1,828	2,427	2,714	2,862	2,78	2,663	2,069	1,393	0,712	0,558
$W_{\text{міс}}$ , кВт·год.	22,07	34,89	56,67	72,81	84,13	85,86	86,18	82,55	62,07	43,18	21,36	16,74

Таким чином за результатами розрахунку табл. 3.1 можна визначити річне виробництво електроенергії з однієї сонячної фотоелектричної панелі типу Ja Solar JAM72S30-555/MR

$$W_{\text{річ}} = 22,07 + 34,89 + 56,67 + 72,81 + 84,13 + 85,86 + 86,18 + 82,55 + 62,07 + \\ + 43,18 + 21,36 + 16,74 = 668,51 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Для визначення кількості сонячних фотоелектричних панелей, які забезпечать електроенергією систему охоронного освітлення досліджуваного підприємства скористаємось формулою

$$N_{\text{сфп}} = \frac{E_o}{W_{\text{річ}}} \cdot \quad (3.7)$$

Отже,

$$N_{cfn} = \frac{3768}{668,51} = 5,6 \text{ шт.}$$

Таким чином, для потреб системи освітлення підприємства необхідно використати 6 сонячних фотоелектричних панелей, які при габаритній потужності 555 Вт складатимуть повну потужність 3,33 кВт.

Якщо ж використати лише фотоелектричну установку для покриття всіх енергетичних потреб, то кількість фотопанелей зросте до 36 одиниць, які при габаритній потужності 555 Вт складатимуть повну потужність 19,98 кВт.

### 3.3 Визначення параметрів системи акумуляції електроенергії

Для акумулювання енергії, яка буде вироблятися від сонячної фотоелектричної панелі за умови, що період роботи цієї панелі не буде співпадати з періодом використання виробленої енергії необхідним є встановлення блоку акумуляторних батарей з ємністю, яка визначатиметься тривалістю роботи системи охоронного та аварійного освітлення та її споживаною потужністю.

Визначимо струми, які будуть протікати в електромережі системи охоронного та аварійного освітлення

$$I = \frac{P_{aoc}}{U_b}, \quad (3.8)$$

де  $U_b$  – напруга на блоці акумуляторних батарей, В.

Отже,

$$I = \frac{180}{24} = 7,5 \text{ А.}$$

Тоді можна визначити кількість акумуляторних батарей за формулою

$$N_{ab} = \frac{T_{aoc} \cdot I_p}{C_{ab} \cdot \eta_b}, \quad (3.9)$$

де  $I_p$  – допустимі струми розрядки акумуляторної батареї, А;  
 $C_{аб}$  – ємність акумуляторної батареї, А·год;  
 $\eta_b$  – к.к.д. акумуляторної батареї.

$$N_{аб} = \frac{12 \cdot 7,5}{120 \cdot 0,85} = 0,88 \text{ шт.}$$

Тобто для потреб системи охоронного та аварійного освітлення достатнім буде застосувати 2 акумуляторні батареї з ємністю 120 А·год.

Аналогічним чином розрахуємо ємність акумуляторних батарей необхідних для основної технологічної системи освітлення.

За формулою (3.9) визначимо струми в мережі основного технологічного освітлення

$$I = \frac{1020}{36} = 28,3 \text{ А.}$$

Тоді за формулою (3.9) визначимо кількість акумуляторних батарей

$$N_{аб} = \frac{8 \cdot 28,3}{250 \cdot 0,85} = 1,07 \text{ шт.}$$

Таким чином, для потреб основного технологічного освітлення необхідно 3 акумуляторні батареї ємністю 250 А·год.

### **3.4 Обґрунтування параметрів гібридної вітро-сонячної електрогенерувальної системи**

Для обґрунтування параметрів гібридної вітро-сонячної електрогенерувальної системи здійснимо моделювання параметрів для різних умов заміщення необхідного обсягу електроенергії. Тобто, змодельуємо ситуацію, коли для забезпечення електроенергією вибраних технологічних потреб буде застосовано різну структуру енергетичних установок. На підставі аналізу рівня їх відповідності умовам застосування, а також економічної доцільності буде здійснено вибір оптимального варіанта. Таким

чином, розглянемо варіанти електрозабезпечення вибраних технологічних потреб за рахунок моноенергетичних установок вітроелектричної та фотоелектричної установок, а також за рахунок різного варіанта їх поєднання в гібридній системі.

Зокрема, було розглянуто варіанти гібридних установок для покриття потреб системи гарячого водопостачання, освітлення, а також всіх малопотужних енергетичних потреб з рівнем заміщення виробництва електроенергії окремою структурною одиницею (сонячною фотоелектричною та вітроелектричною установками), який змінювався від 30%/70%, 70%/30%, 50%/50%, 60%/40% і 40%/60%.

На рис. 3.2-3.6, подано енергетичні баланси гібридних установок для покриття потреб системи гарячого водопостачання з варіантами рівня заміщення 30%/70%, 70%/30%, 50%/50%, 60%/40% і 40%/60%.

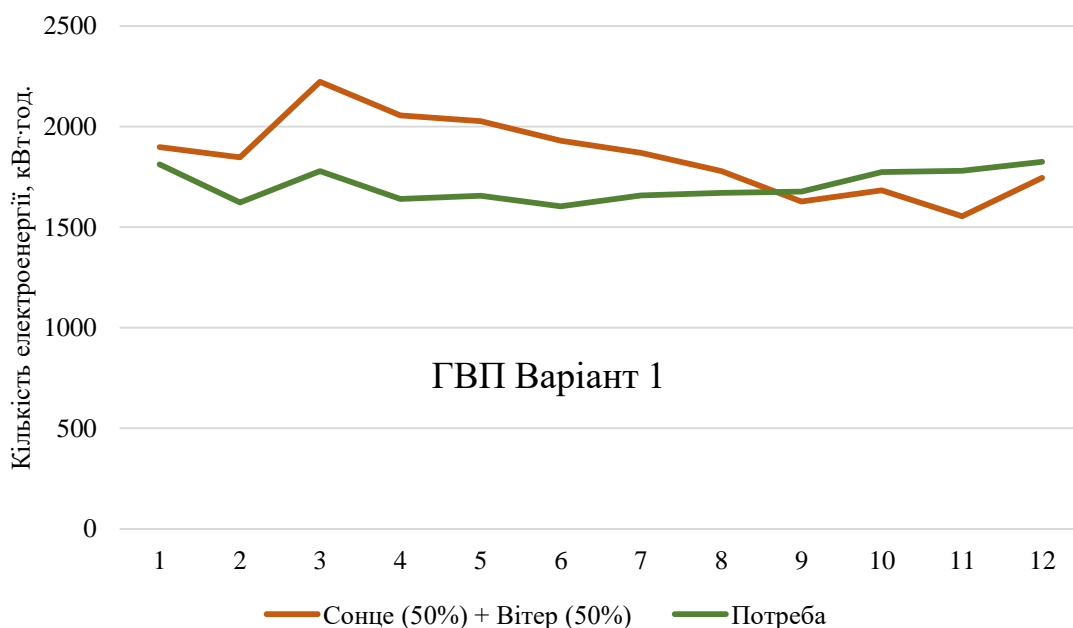


Рисунок 3.2 – Енергетичний баланс вітро-сонячної енергетичної системи для покриття потреб системи гарячого водопостачання з рівнем заміщення потреб сонячною установкою 50% і вітроелектричною установкою 50%

Як видно, з рис. 3.2-3.6, варіанти з рівнем заміщення сонячна установка/вітрова установка на рівні 50%/50% і 40%/60%, характеризуються



відносно кращими показниками відносно інших варіантів, в яких спостерігається значне недовиробництво електроенергії.

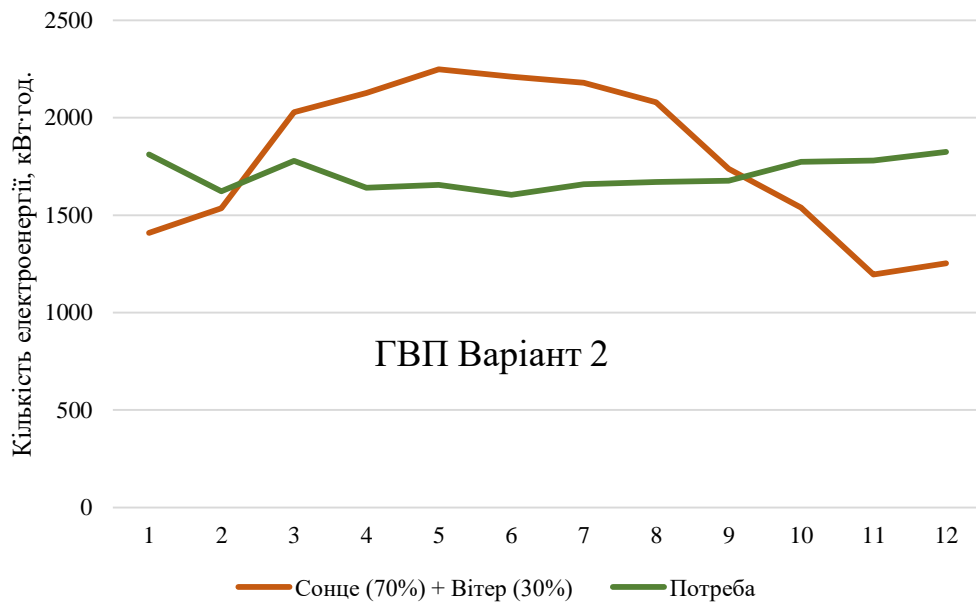


Рисунок 3.3 – Енергетичний баланс вітро-сонячної енергетичної системи для покриття потреб системи гарячого водопостачання з рівнем заміщення потреб сонячною установкою 70% і вітроелектричною установкою 30%

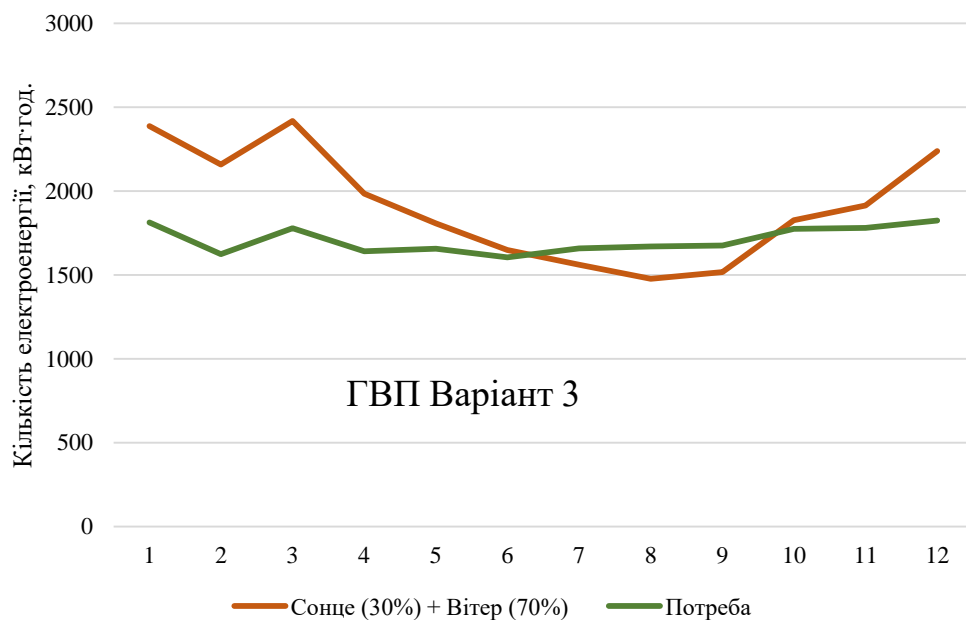


Рисунок 3.4 – Енергетичний баланс вітро-сонячної енергетичної системи для покриття потреб системи гарячого водопостачання з рівнем заміщення потреб сонячною установкою 30% і вітроелектричною установкою 70%

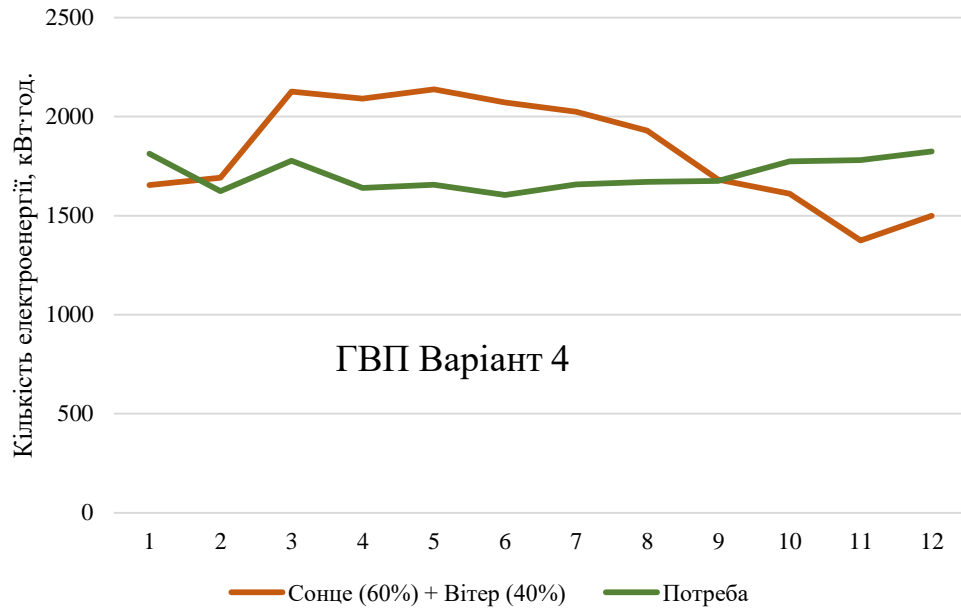


Рисунок 3.5 – Енергетичний баланс вітро-сонячної енергетичної системи для покриття потреб системи гарячого водопостачання з рівнем заміщення потреб сонячною установкою 60% і вітроелектричною установкою 40%

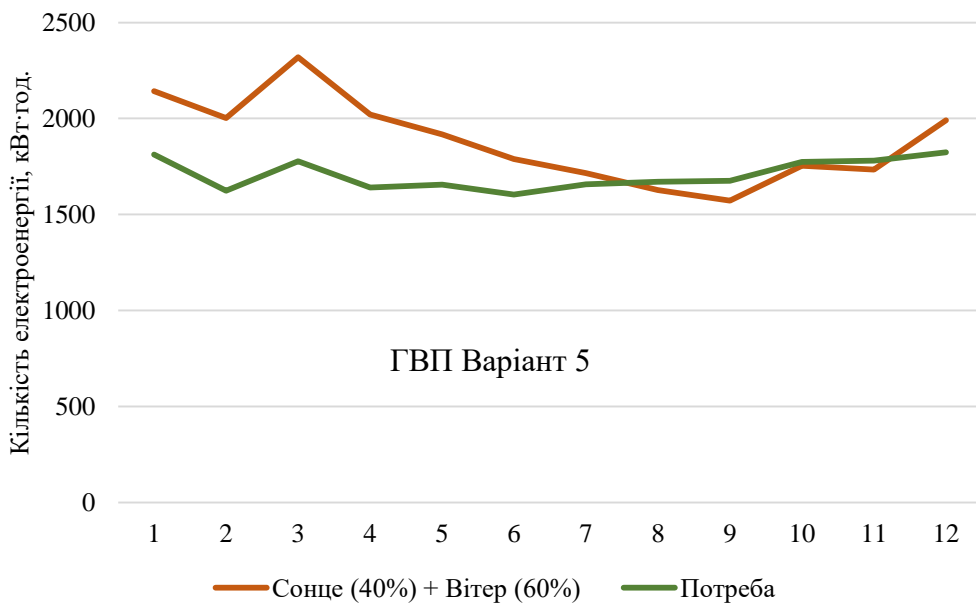


Рисунок 3.6 – Енергетичний баланс вітро-сонячної енергетичної системи для покриття потреб системи гарячого водопостачання з рівнем заміщення потреб сонячною установкою 40% і вітроелектричною установкою 60%

Системи з співвідношенням, де сонячна енергоустановка має перевагу є менш доцільними з точки зору забезпечення рівномірності генерування електроенергії впродовж цілого року, оскільки внаслідок специфіки виробництва споживання енергії є майже вирівнене в річному циклі. Тому в подальшому розглядаємо варіанти з рівнем заміщення на рівні 50%/50% та 40%/60%.

На рис. 3.7-3.8, подано енергетичні баланси гібридної установки для покриття потреб системи освітлення.

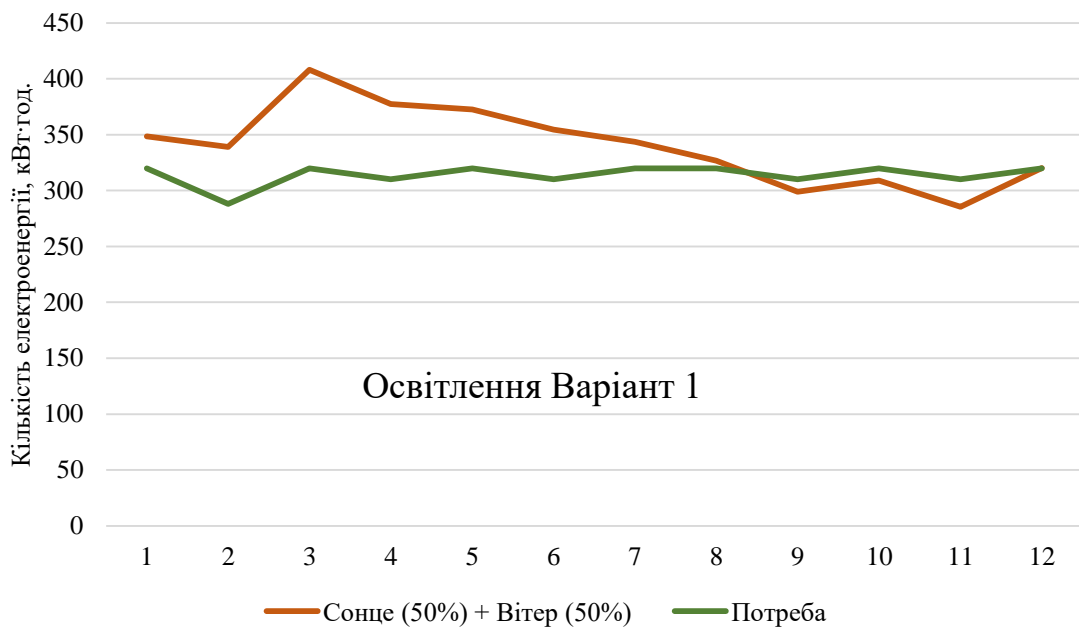


Рисунок 3.7 – Енергетичний баланс вітро-сонячної енергетичної системи для покриття потреб системи освітлення з рівнем заміщення потреб сонячною установкою 50% і вітроелектричною установкою 50%

На рис. 3.9-3.10, подано енергетичні баланси гібридної установки для покриття всіх малопотужних потреб з варіантами рівня заміщення 50%/50% і 40%/60%.

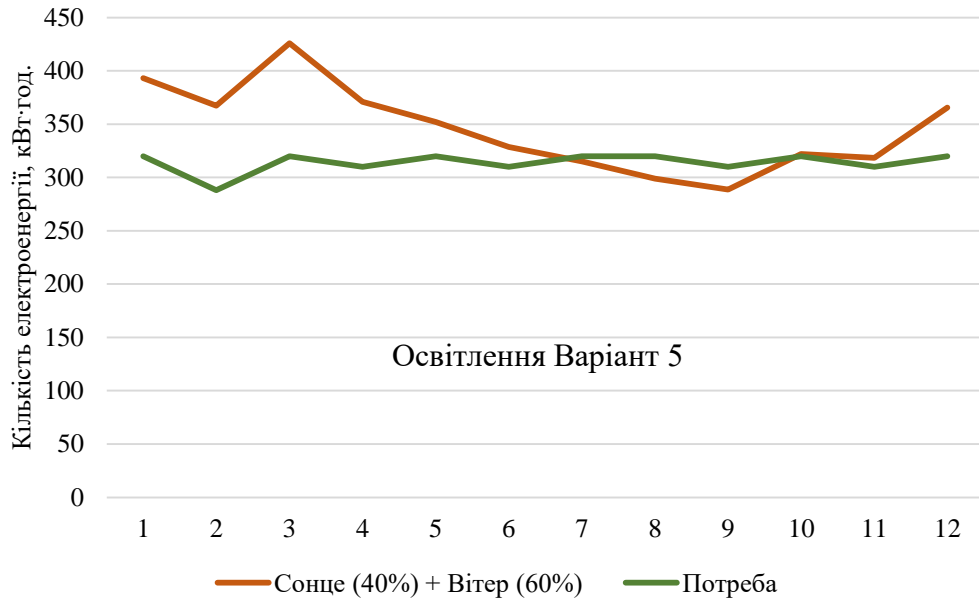


Рисунок 3.8 – Енергетичний баланс вітро-сонячної енергетичної системи для покриття потреб системи освітлення з рівнем заміщення потреб сонячною установкою 40% і вітроелектричною установкою 60%

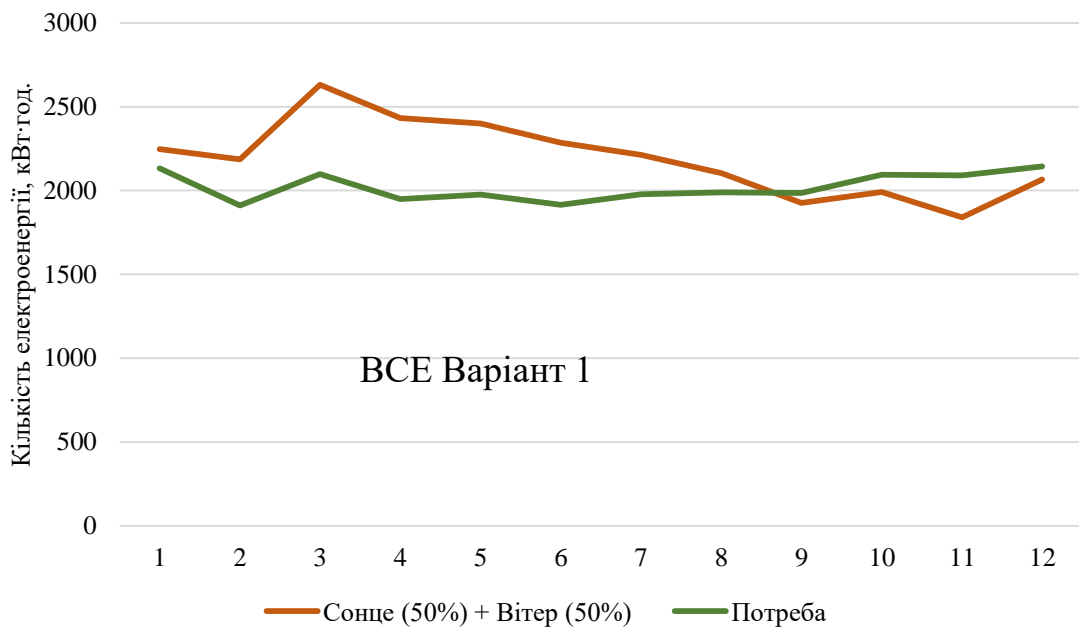


Рисунок 3.9 – Енергетичний баланс вітро-сонячної енергетичної системи для покриття всіх малопотужних потреб з рівнем заміщення потреб сонячною установкою 50% і вітроелектричною установкою 50%

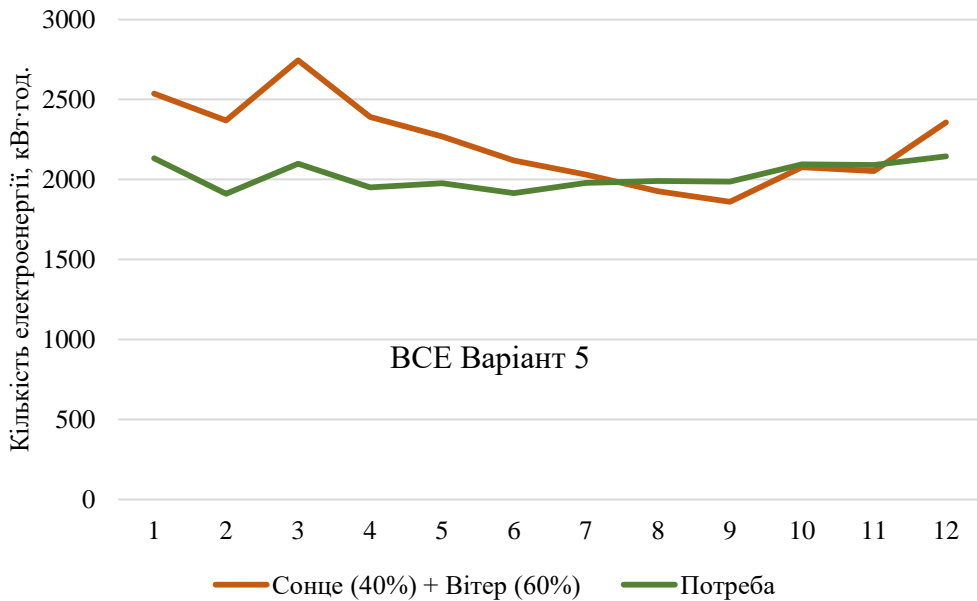


Рисунок 3.10 – Енергетичний баланс вітро-сонячної енергетичної системи для покриття всіх малопотужних потреб з рівнем заміщення потреб сонячною установкою 40% і вітроелектричною установкою 60%

Для обґрунтування структури гібридної системи електропостачання досліджуваного об'єкта слід проаналізувати не тільки динамічні характеристики генерування електроенергії, а й числові значення, за якими можна здійснити первинний відбір раціонального варіанта виконання.

Зокрема, в табл. 3.2, подано результати моделювання структури вітро-сонячної енергетичної системи для покриття потреб досліджуваного об'єкта з різним рівнем заміщення, де вміщено обсяги недовиробництва та перевиробництва електричної енергії, якими характеризується кожен із досліджуваних варіантів.

Як видно з табл. 3.2, результати за електропостачанням систем освітлення можна не брати до уваги з огляду незначного обсягу споживаної електроенергії. Щодо інших варіантів технологічних потреб, то за рівнем недовиробництва рекомендованим є використання варіантів забезпечення потреб гарячого водопостачання з рівнем заміщення 50%/50%, а також забезпечення всіх енергетичних потреб з рівнем заміщення 40%/60%.

Таблиця 3.2 – Результати моделювання структури вітро-сонячної енергетичної системи для покриття потреб досліджуваного об'єкта з різним рівнем заміщення

Технологічна потреба	Варіант виконання (сонце%/вітряк%)	Обсяг недовиробництва електроенергії, кВт·год.	Обсяг перевиробництва електроенергії, кВт·год.
Гаряче водопостачання	50%/50%	-445,50	2187,31
Гаряче водопостачання	70%/30%	-1881,65	2926,73
Гаряче водопостачання	30%/70%	-450,29	2888,82
Гаряче водопостачання	60%/40%	-1052,04	2445,48
Гаряче водопостачання	40%/60%	-212,68	2302,84
Освітлення	50%/50%	-46,63	362,77
Освітлення	40%/60%	-47,32	426,37
Всі потреби	50%/50%	-492,14	2549,81
Всі потреби	40%/60%	-244,71	2713,92

Однак зважаючи на різний обсяг споживання електроенергії, що відповідно спричинюватиме різну вартість гібридної системи, доцільним є також додаткового аналізу економічної доцільності у застосуванні того, чи іншого варіанта виконання енергетичної установки, що буде виконано у шостому розділі, на основі чого буде прийняте кінцеве рішення про раціональну структуру гібридної вітро-сонячної системи електропостачання.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації електроенергетичних установок та систем**

Використання гібридних енергетичних установок для різних технологічних потреб вимагає уважного відношення до вимог техніки безпеки, оскільки вони можуть містити певну небезпеку для користувачів.

Щодо електробезпеки, то тут висуваються типові вимоги безпеки, які стосуються організації внутрішньої електромережі об'єкта, яка має власну систему захисту від ураження персоналу струмом.

Для попередження виникнення небезпечних ситуацій при експлуатації гібридних енергетичних установок виконують моделювання виникнення таких явищ. Так, можна скористатись методом логічного моделювання процесів формування та виникнення небезпечних ситуацій, а також їх наслідків. Цей метод необхідно застосовувати для аналізу існуючих небезпек, які виявлені при обстеженні гібридної вітро-сонячної системи. Як свідчать дослідження, будь-яка аварія може бути наслідком окремої або сукупності потенційних небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому цей метод не може бути застосований для моделювання складних процесів, під якими розуміють процеси формування і виникнення складних аварійних ситуацій. Серед основних принципів побудови моделі є наступні. На початку вивчаються технологічні процеси, на яких раніше виникали або можуть виникати аварії та виробничі травми. Для побудови логіко-імітаційних моделей доцільно застосовувати різноманітні символи, які графічно відображають відповідні події. Зазвичай, побудова моделі розпочинається з

основної події, а наступні за нею події розміщують зверху вниз до базових [13].

Відповідні події моделі зображують у вигляді різних символів: коло – це базова подія з певними числовими даними, які її характеризують; ромб – це подія, яка вимагає виконання відповідних досліджень; прямокутник – це подія, яка виникає в результаті дії відповідного символу-оператора; овал – це подія, яка відображає умову, що використовується, наприклад, з оператором "Заборона" тощо. Для побудови логіко-імітаційної моделі аналізу людино-машинних систем в житловому будинку доцільно застосувати логічні оператори "І", "АБО" та інші [13].

#### **4.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час експлуатації електроенергетичних установок та систем**

Для оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварії, травми або катастрофи залежно від досліджуваного явища.

Для того, щоб оцінку рівня небезпеки певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідно застосувати простий і доступний метод розрахунку значень ймовірності випадкового явища, яке має місце на цьому виробництві. Оцінкою ситуацій визначають події, які є основною подією при побудові логіко-імітаційної моделі аварії або травми, після чого приступають до побудови моделі, або дерева відмов і помилок оператора. Важливе значення при цьому має правильний вибір основної випадкової події.



Головну випадкову подію конкретної аварії, травми або катастрофи, модель якої необхідно побудувати, вибирають виходячи з оцінки даного об'єкта, виробництва чи окремої одиниці обладнання і змісту його найбільш небезпечного явища, яке за відповідних умов виробництва може виникнути. Після вибору основного випадкового явища, або події можна розпочинати побудову моделі, або "дерева". Застосовуючи логічні оператори "І" та "АБО", моделюють набір ситуацій, які є відомими, і які можуть призвести до основної події. На основі визначення відповідних аварійних, або травмонезбезпечних ситуацій, а також їх кількості, приступають до визначення інших подій, які входять до кожної із вибраних ситуацій, з відповідним логічним аналізом застосовуючи оператори "І", "АБО" тощо. Процес побудови моделі може бути складним і триватиме до тих пір, поки не будуть знайдені всі базові події, що визначають задану межу логіко-імітаційної моделі [13].

Завершена і перевірена модель на наступному етапі підлягає математичній обробці для розрахунку ймовірності кожної із випадкових подій, які увійшли до моделі, розпочинаючи з базових і закінчуючи основною. Чисельні значення ймовірностей базових подій визначають за даними відповідного виробництва. Після розрахунку ймовірності всіх необхідних подій, розміщених у ромбах, і переліку базових подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", відповідно до правил побудови, номерами позначають перелічені випадкові події, які увійшли до моделі [13].

Для проведення розрахунків ймовірності травми при експлуатації гібридної вітро-сонячної системи необхідно використати логіко-імітаційну модель процесу її формування, яка подана на рис. 4.1.

Приймаємо, що ймовірності базових подій матимуть наступні значення  $P_1 = 0,2$ , а  $P_2 = 0,3$ . Підставивши дані ймовірностей зазначених базових подій отримаємо:

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0,2 + 0,3 - 0,2 \cdot 0,3 = 0,44$$

Аналогічно розраховуємо ймовірність інших подій технологічного процесу залежно від їх порядкового номера:

$$P_6 = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0,2 + 0,3 - 0,2 \cdot 0,3 = 0,44;$$

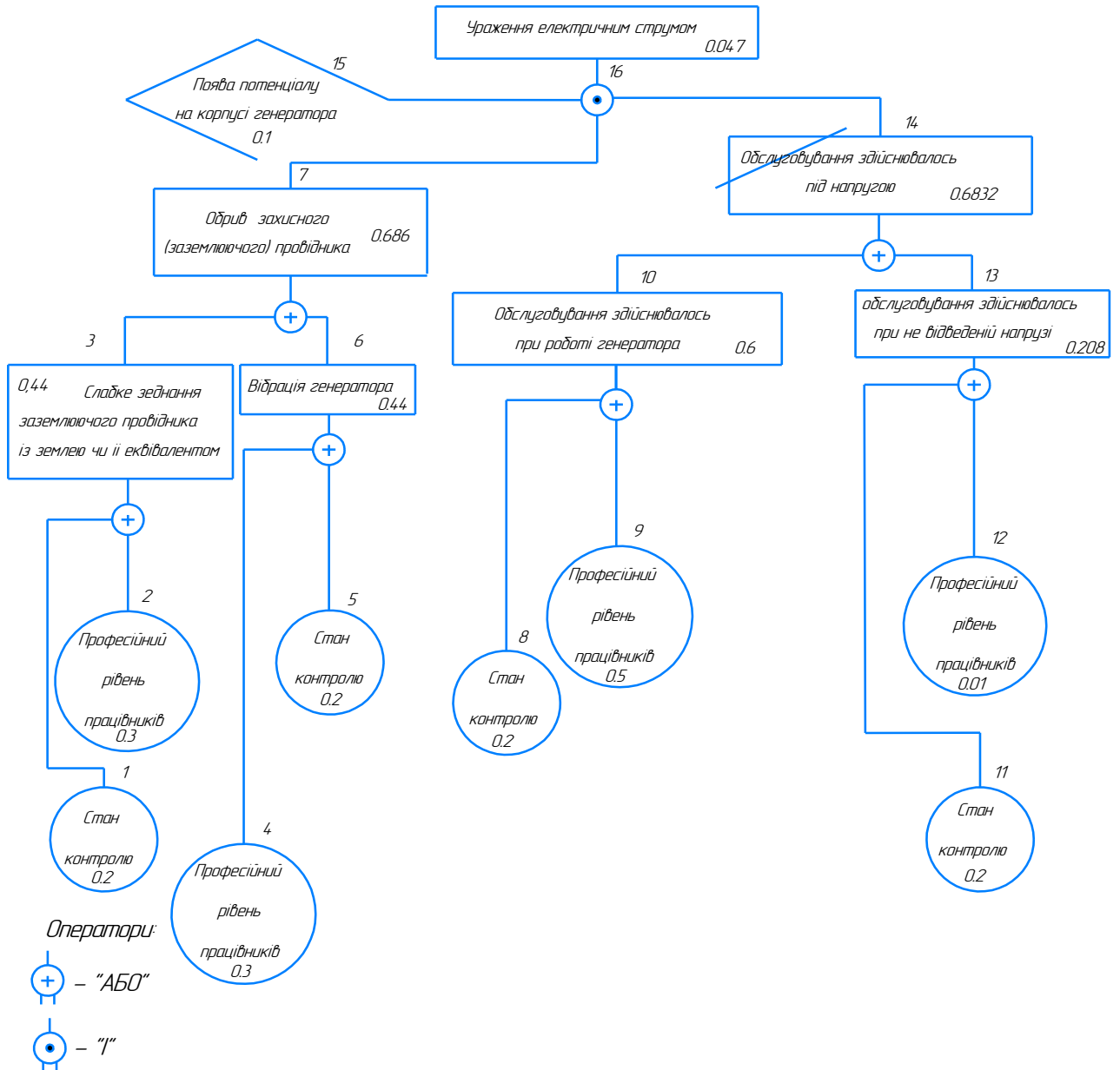


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травми при експлуатації гібридної вітро-сонячної системи

$$P_7 = P_3 + P_6 - P_3 \cdot P_6 = 0,44 + 0,44 - 0,44 \cdot 0,44 = 0,686;$$

$$P_{10} = P_8 + P_9 - P_8 \cdot P_9 = 0,2 + 0,5 - 0,2 \cdot 0,5 = 0,6;$$

$$P_{13} = P_{11} + P_{12} - P_{11} \cdot P_{12} = 0,2 + 0,01 - 0,2 \cdot 0,01 = 0,208;$$

$$P_{14} = P_{10} + P_{13} - P_{10} \cdot P_{13} = 0,6 + 0,208 - 0,6 \cdot 0,208 = 0,6832 ;$$

$$P_{16} = P_7 \cdot P_{14} \cdot P_{15} = 0,1 \cdot 0,686 \cdot 0,6832 = 0,047 .$$

Отже, при експлуатації сонячних теплових установок за наявності певних недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких установок, можна очікувати 4,7 уражень високою температурою від елементів сонячного колектора. Якщо зазначені недоліки усунути за рахунок застосування додаткових заходів та засобів теплового захисту, то можна побачити що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки до 1.

Як бачимо, побудована логіко-імітаційна модель допомагає зменшити ймовірність виникнення травмонебезпечних ситуацій, що дозволить в подальшому безпечно експлуатувати гібридні вітро-сонячні системи.

### **4.3 Розробка заходів запобігання травм і аварій під час експлуатації електроенергетичних установок та систем**

Експлуатація гібридних вітро-сонячних систем повинна базуватись на дотриманні "Правил улаштування електроустановок" та інших нормативних актів з техніки безпеки. Користувачі, які здійснюють експлуатацію таких систем повинні бути ознайомлені з інструкцією з експлуатації структурних компонентів, які вміщена у відповідних документах.

Заборонено допускати сторонніх осіб до обслуговування та експлуатації гібридних вітро-сонячних систем. Категорично заборонено при подачі живлення доторкатися до електричних з'єднань установки.

Для безпечної експлуатації установки вжито низку технологічних заходів, які покликані уникнути можливого враження електричним струмом. Зокрема, до складу ввідної автоматики включено ПЗВ зі струмом спрацювання 0,03А тощо.

Слід зауважити, що лише дотримання всіх розроблених вимог правил техніки безпеки дозволить проводити експлуатацію гібридних вітросонячних систем без виникнення небезпечних ситуацій.

#### **4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

Актуальність проблеми забезпечення природно-техногенної безпеки населення, зокрема роль цивільного захисту населення від імовірних наслідків надзвичайних ситуацій різного походження невинно зростає.

На території об'єкта та прилеглих територіях знаходиться ряд потенційно небезпечних об'єктів як техногенного, так і природного походження, до яких слід віднести лінію електропередачі, пошкодження якої загрожує життю людей. До надзвичайних ситуацій природного походження треба віднести зелені насадження, які при пересиханні в літній період можуть загорятися внаслідок недбалого поводження з вогнем і загрожують цим масивам пожежами.

Для виконання покладених завдань і функцій на формування цивільної оборони у її структурі утворені такі служби і підрозділи як: служба оповіщення і зв'язку, яка повинна своєчасно інформувати керівний склад, працівників та населення про загрозу та виникнення надзвичайної ситуації; медична служба, яка повинна забезпечити комплектування і готовність медичних формувань до вжиття заходів усунення негативного впливу на людину; служба охорони медичного порядку; аварійно-технічна служба, що повинна здійснювати заходи з підвищення стійкості інженерного обладнання, роботи з розбирання виниклих завалів, а також ліквідації і локалізації аварій на комунальних об'єктах; служба матеріально-технічного постачання, яка повинна своєчасно забезпечувати формування цивільної оборони всіма необхідними матеріально-технічними ресурсами.

## 5 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Формування раціональної структури енергетичних установок поряд із оцінкою їх технічної, енергетичної або іншого типу досконалості потребу економічного аналізу. Це пов'язане з тим, що лише за даними технологічних чи експлуатаційних показників часто складно виявити найбільш раціональний варіант побудови енергетичної системи. Якщо цих показників є недостатньо для прийняття рішення про оптимальну структуру енергетичної установки, то можна додатково ввести ще один показник – економічна оцінка.

Економічна оцінка для прийняття рішення про застосування певної технології, засобу чи системи може бути реалізована на базі визначення питомих вартісних показників, показників терміну окупності, рентабельності, або інших показників, які б зафіксували економічну складову функціонування системи.

В нашому випадку достатнім буде виконати порівняльну оцінку капіталовкладень у реалізацію енергетичної системи на предмет виявлення найменш вартісного варіанта за умови забезпечення високих експлуатаційних, енергетичних або інших показників.

Таким чином, одним із критеріїв, який дозволить здійснити вибір раціональної структури енергетичної системи буде застосовано вартісну оцінку варіантів, які беруться до уваги, або які були відібрані за іншими показниками для кінцевого аналізу.

Оцінку вартості енергетичних систем зазвичай здійснюють сумуванням вартості її структурних елементів, виходячи з ринкової ціни обладнання, допоміжних компонентів, вартості транспортних послуг, послуг монтажу та пусканалагодження тощо. Однак такий підхід для оцінки великої кількості варіантів є не раціональний. Крім того, при визначенні параметрів структури

установок зазвичай не вдається оперувати стандартними енергетичними параметрами, такими, як потужність установки. Тому, доцільніше здійснювати економічну оцінку за показниками питомої вартості установок, які визначаються з типорозмірного ряду енергетичних засобів, і які можуть бути перенесені на габаритну потужність пропонованих варіантів установок. Тобто, для кожного із структурних компонентів вітроелектрична та сонячна фотоелектрична установки, визначається залежність зміни вартості установки від її ключового параметра, наприклад, потужності установки.

Систему акумулювання електроенергії вилучаємо з аналізу, оскільки зростання вартості відносно необхідної її ємності змінюється лінійно

Аналіз пропонованих на ринку засобів відновлюваної енергетики засвідчив, що вартість сонячної фотоелектричної установки залежно від її потужності описується наступним рівнянням

$$B_{фey} = (N_{pv} \cdot P_{pv} \cdot \Pi_{pv} + B_{ин}) \cdot k_{ок}, \quad (6.1)$$

де  $N_{фey}$  – кількість фотопанелей, шт.;

$P_{pv}$  – потужність одиної фотопанелі, кВт;

$\Pi_{pv}$  – питома вартість фотопанелі, грн./кВт;

$B_{ин}$  – вартість інвертора напруги, грн.;

$k_{ок}$  – коефіцієнт, який відображає частку додаткової вартості системи, яка припадає на послуги транспорту, монтажу та пусконаладження системи тощо; можна прийняти  $k_{ок} = 1,5$  для фотоелектричних установок і  $1,7$  – для вітроелектричних установок.

Вартість інвертора визначається як залежність від потужності системи, яка визначається кількістю та потужністю фотопанелей, або потужністю вітроелектричної установки в системі

$$B_{ин} = -94,265 \cdot P_{pv} \cdot N_{pv} + 10670. \quad (6.2)$$

Вартість вітроелектричної установки може бути записана як рівняння

$$B_{вey} = (P_{wt} \cdot 20077 - 1341) + B_{ин}) \cdot k_{ок}, \quad (6.3)$$

де  $P_{wt}$  – потужність вітроелектричної установки, кВт.

Додатковим показником ефективності гібридної енергетичної системи є обсяг і вартість надлишково виробленої електроенергії, оскільки в цьому випадку вона буде йти на покриття потреб основного технологічного процесу – виробництва хлібобулочних виробів, і яка визначається як

$$B_{nee} = W_{dee} \cdot C_{ee}, \quad (6.4)$$

де  $W_{nee}$  – обсяг надлишково виробленої електроенергії, кВт·год.;

$C_{ee}$  – поточна ринкова ціна на електроенергію, грн./кВт·год.

Таким чином від вартості кожної із запропонованих гібридних систем слід відняти вартість надлишково виробленої електроенергії.

Аналогічно можна визначити й вартість електроенергії, яку вироблятимуть гібридні енергоустановки. А співвідношення вартісних показників енергетичних систем та зекономленої електроенергії дозволить визначити їх термін окупності.

Результати розрахунку вартісних показників досліджуваних структурних варіантів подано у табл. 6.1.

Як видно з розрахунків, наведених в табл. 6.1, обсяги недовиробництва і перевиробництва електроенергії практично не впливають на зміну економічної ефективності. Однак, з врахуванням того, що на попередніх етапах оцінки варіанта структурної схеми було визначено як перспективні саме за цим критерієм варіанти покриття потреб системи гарячого водопостачання зі структурою 40%/60% і покриття всіх потреб з такою ж структурою рівня заміщення, то очевидно, що можна вибрати саме останній варіант.

Ефективність системи електропостачання, яка використовує відновлювальні джерела енергії, оцінюється з урахуванням економічних, енергетичних та екологічних критеріїв. Часто останній аспект представляють за допомогою загального показника - зменшення викидів вуглекислого газу в атмосферу порівняно з попередніми технологіями. Тобто, є можливість чисельно оцінити і екологічну складову ефективності.

Таблиця 6.1 - Результати економічного моделювання параметрів гібридних вітро-сонячних енергетичних установок

Технологічний процес	Варіант виконання (сонце/вітряк)	Обсяг недовиробництва, кВт·год.	Обсяг перевиробництва, кВт·год.	Вартість системи, грн.	Вартість надлишкової електроенергії, грн.	Сумарна вартість системи, грн.	Вартість зекономленої електроенергії, грн.	Термін окупності, років
Гаряче водопостачання	50%/50%	445,50	2187,31	644269	14699	629571	137726	4,6
Гаряче водопостачання	70%/30%	1881,65	2926,73	618305	19668	598637	137726,4	4,3
Гаряче водопостачання	30%/70%	450,29	2888,82	704199	19413	684786	137726,4	5,0
Гаряче водопостачання	60%/40%	1052,04	2445,48	624490	16434	608056	137726,4	4,4
Гаряче водопостачання	40%/60%	212,68	2302,84	670838	15475	655363	137726,4	4,8
Освітлення	50%/50%	46,63	362,77	188974	2438	186537	25320,96	7,4
Освітлення	40%/60%	47,32	426,37	178866	2865	176000	25320,96	7,0
Всі потреби	50%/50%	492,14	2549,81	776311	17135	759176	163047,36	4,7
Всі потреби	40%/60%	244,71	2713,92	799563	18238	781325	163047,36	4,8



Здійсимо розрахунок для електропостачання, використовуючи гібридні вітро-сонячні установки. Кількість еквівалентного пального  $m$  у кг, яке економиться протягом року, визначається шляхом множення середньорічної продуктивності таких електроустановок на коефіцієнт заміщення електроенергії, який дорівнює 0,351.

$$m = 0,351 \cdot W_{el}^P, \text{ кг} \quad (6.3)$$

Отже, отримаємо для

$$m = 0,351 \cdot 24263 = 8516 \text{ кг умовного палива};$$

Застосування гібридної установки допомагає уникнути викидів вуглекислого газу в атмосферу, і масу  $M$  (у кількості кілограмів) можна обчислити за допомогою наступної формули:

$$M = \frac{0,351 \cdot W_{el}^P \cdot 44}{12} = 1,287 \cdot W_{el}^P. \quad (6.4)$$

Остаточно отримаємо:

$$M = 1,287 \cdot 24263 = 31226 \text{ кг CO}_2.$$

Всього гібридною установкою буде заміщено 8516 кг умовного палива і 31226 кг вуглекислого газу.

Вартість квот на емісію  $\text{CO}_2$  визначаємо за формулою

$$B_{CO_2} = \sum M \cdot C_{CO_2}, \quad (6.5)$$

де  $C_{CO_2}$  - ціна квот на викиди  $\text{CO}_2$ , грн./кг. Середня світова ціна становить  $C_{CO_2} \approx (8 - 10) \cdot 10^{-3}$  Євро/кг.

Відтак, отримаємо

$$B_{CO_2} = 31226 \cdot 342 \cdot 10^{-3} = 10679 \text{ грн.}$$

Отримані розрахунки вказують на наявність обґрунтованих підстав припускати, що впровадження енергозберігаючої системи електропостачання для вивченого об'єкта буде результативним рішенням.

## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Аналіз досліджуваного господарства дозволив виявити можливість і необхідність створення на його базі малого переробного підприємства з виробництва хлібобулочних виробів. Це продиктовано бажанням та необхідністю підвищити рівень економічної ефективності функціонування підприємства. Ефективність функціонування будь-якого підприємства залежить від рівня його енергозабезпечення. В даному випадку, для надійного електропостачання запропоновано використати гібридну вітро-сонячну електроустановку, яка б вирішила проблему надійності та стабільності постачання електроенергії для технологічних потреб. Для можливості реалізації такої системи здійснено опрацювання структурних схем вітроелектричної та сонячної фотоелектричної установок.

**Предметом дослідження** є процес хлібобулочного виробництва, який організовується з метою підвищення рівня економічної ефективності функціонування сільськогосподарського підприємства.

**Об'єктом дослідження** є обґрунтована структура системи енергозабезпечення переробного підприємства на базі вітроелектричної та фотоелектричної установок, яка підвищує рентабельність виробництва, знижує електронавантаження на зовнішню електромережу, а також покращує екологічну ситуацію в регіоні.

Для досліджуваного, на основі аналізу структури технологічних потреб, а також динаміки використання електроенергії у річному циклі, здійснено розрахунок необхідної кількості електроенергії для потреб основного виробництва, гарячого водопостачання та освітлення. Зокрема, основний технологічний процес потребує електроенергії у обсязі 327040 кВт·год., система гарячого водопостачання – 20495 кВт·год., а система освітлення – 3768 кВт·год.

Зважаючи на значні витрати електроенергії для потреб основного технологічного процесу, а також високого рівня надійного

електропостачання, запропоновано забезпечити електроенергією виробленою від відновлюваних джерел енергії лише системи гарячого водопостачання та освітлення. Для можливості реалізації поставленого завдання здійснено дослідження енергетичного потенціалу вітрового потоку та сонячної радіації в регіоні дослідження, що дасть можливість виконати адаптований розрахунок параметрів засобів відновлюваної енергетики. Зокрема, вітровий потік характеризується річним питомим потенціалом майже  $220 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$  сприймаючої поверхні вітрового ротора, а потік сонячної радіації характеризується середньорічним рівнем надходження  $3,45 \text{ кВт}\cdot\text{год.}/\text{м}^2/\text{рік}$ .

За даними аналізу структурних схем окремих енергетичних установок перетворення сонячної та вітрової енергії у електроенергію здійснено розробку структури системи електрозабезпечення переробного підприємства з використанням гібридної вітро-сонячної системи та опрацьовано алгоритм роботи такої системи.

Для існуючих природно-кліматичних умов та визначеної необхідності генерування електроенергії розраховані габаритні параметри сприймаючих елементів вітроелектричної та сонячної фотоелектричної систем з різною структурою, яка також відрізнялась рівнем заміщення обсягу генерування електроенергії тією, чи іншою структурною одиницею. Зокрема, результати моделювання структурних параметрів засвідчили, що з міркувань мінімізації споживання електроенергії раціональними будуть варіанти для покриття потреб системи гарячого водопостачання, а також для покриття всіх малопотужних систем із рівнем заміщення 40%/60%, сонячною фотоелектричною та вітроелектричною установками. Для кінцевого прийняття рішення необхідно додатково провести економічну оцінку варіантів структурних рішень.

Здійснено аналіз виробничих небезпек під час експлуатації електроенергетичних установок та систем, виконано оцінку рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час експлуатації електроенергетичних установок та систем методом моделювання травмонебезпечних ситуацій,

Розроблено заходи запобігання травм і аварій під час експлуатації електроенергетичних установок та систем, а також проаналізовано безпеку в надзвичайних ситуаціях.

Для остаточного прийняття рішення щодо раціональної структури гібридної вітро-сонячної електрогенерувальної системи виконано економічну оцінку запропонованих рішень. Зокрема, економічна оцінка структурних схем системи електропостачання переробного підприємства засвідчила, що найбільш раціональним є застосування гібридної вітро-сонячної системи для покриття всіх малопотужних потреб із рівнем заміщення 40%/60%. За такого рівня заміщення потужність сонячної фотоелектричної установки становитиме 20 кВт, а вітроелектричної установки – 12 кВт.

Як додатковий аргумент доцільності використання обладнання відновлюваної енергетики в системах електропостачання об'єктів, здійснено екологічну оцінку. Зокрема, річний обсяг невикористаного природного палива, в еквіваленті умовного палива, становить 8516 кг, а також вдасться уникнути викидів у атмосферу вуглекислого газу в обсязі 31226 кг, що може бути оцінено у 10679 грн., щорічних екологічних виплат.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Mukund R. Patel. Wind and Solar Power System. London, New York, Washington. CPC Press. 1999. 350 p. Режим доступу: [http://library.uniteddiversity.coop/Energy/Wind/Wind\\_and\\_Solar\\_Power\\_Systems.pdf](http://library.uniteddiversity.coop/Energy/Wind/Wind_and_Solar_Power_Systems.pdf).
2. 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/>.
3. Szymanski B. Instalacje fotowoltaiczne. Wydanie III. Krakow: Redakcja GLOBEnergia, 2014. 249 s.
4. Tytko R. Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej. Wydanie piąte uzupełnione. Krakow: Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2014. 671 s.
5. Tytko R., Goralczyk I. Urządzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne. Krakow: Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2013. 347 s.
6. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: вид. ЛНАУ, 2008. 135 с.
7. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: Навч. посіб. Львів: "Магнолія 2006", 2008. 88 с.
8. 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.
9. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. К. : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.

- 10.Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підруч. К. : НТУУ "КПІ", 2012. 492 с.
- 11.Малярєнко В.А. Енергетика і навколишнє середовище. Х.: Видавництво САГА, 2008. 364 с.
- 12.Онiпко О. Ф., Коробко Б. П., Миханюк В. М. Вітроенергетика та енергетична стратегія. К.: УАН, Фенікс, 2008. 168 с.
- 13.Серіков Я. О. Основи охорони праці: Навчальний посiбник для студентiв вищих закладiв освіти. Харкiв : ХНАМГ, 2007. 227с.
- 14.Сиротюк С. В. Оцiнка надходження вiдновлюваних джерел енергiї на сприймаючу поверхню. Методичнi рекомендацiї до виконання лабораторної роботи з дисциплiни "Проектування i обслуговування систем вiдновлюваної енергетики" для студентiв спецiальностi 141 Електроенергетика, електротехнiка та електромеханiка. Львiв : ЛНАУ, 2015. 17 с.
- 15.Сиротюк С. В. Проектування i обслуговування вiтроелектричних систем. Методичнi рекомендацiї до виконання лабораторної роботи з дисциплiни "Проектування i обслуговування систем вiдновлюваної енергетики" для студентiв спецiальностi 141 Електроенергетика, електротехнiка та електромеханiка. Львiв : ЛНАУ, 2015. 17 с.
- 16.Сиротюк С. В. Проектування i обслуговування сонячних систем електропостачання. Методичнi рекомендацiї до виконання лабораторної роботи з дисциплiни "Проектування i обслуговування систем вiдновлюваної енергетики" для студентiв спецiальностi 141 Електроенергетика, електротехнiка та електромеханiка. Львiв : ЛНАУ, 2015. 17 с.
- 17.Сиротюк С. В., Боярчук В. М., Гальчак В. П. Альтернативнi джерела енергiї. Енергiя вiтру. Львiв: "Магнолiя 2006", 2017. 182 с.
- 18.Чумакевич В. О., Ципляр Я. С., Кудьменко Р. В. Автономнi джерела живлення: Навчальний посiбник. Львiв: АСВ, 2012. 345 с.