

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

**"СИСТЕМА ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАЛОГО ПЕРЕРОБНОГО
ПІДПРИЄМСТВА З УДОСКОНАЛЕННЯМ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ
УСТАНОВКИ"**

Виконав: студент 4-го курсу

групи Ен-41 із спеціальності

141 „Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка”

(шифр і назва спеціальності)

_____ Фаринович О. Г.

Керівник: _____ Сиротюк С. В.

Рецензент: _____ Левонюк В. Р.

ДУБЛЯНИ 2025

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ (підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

" ____ " _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Фариновичу Олегу Григоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: "Система енергозабезпечення малого переробного підприємства з удосконаленням вітроелектричної установки"

керівник роботи: к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького 123/к-с від 25.02.2025 року.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 10.06.2025 р.

3. Вихідні дані технічна документація, науково-технічна і довідкова література матеріали мережі Internet

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

4.1. Характеристика досліджуваного об'єкту та регіону його розташування.

4.2. Розрахунок параметрів системи електропостачання малого переробного підприємства

4.3 Удосконалення конструкції вітроелектричної установки

4.4. Охорона праці та довкілля

4.5. Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання вітроелектричної установки

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:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	<i>Городецький І. М. к.т.н., доцент кафедри інженерної механіки</i>			

7. Дата видачі завдання: 25.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Характеристика досліджуваного об'єкту та регіону його розташування</i>	25.02.2025 – 10.03.2025	
2	<i>Розрахунок параметрів системи електропостачання малого переробного підприємства</i>	11.03.2025 – 25.03.2025	
3	<i>Удосконалення конструкції вітроелектричної установки</i>	26.03.2025 – 20.04.2025	
4	<i>Охорона праці та довкілля</i>	21.04.2025 – 30.04.2025	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання вітроелектричної установки</i>	01.05.2025 – 20.05.2025	
6	<i>Завершення оформлення ілюстративної частини роботи</i>	21.05.25 – 31.05.25	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	01.06.25 – 10.06.25	

Студент _____ Фаринович О. Г.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Сиротюк С. В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 631.3

Фаринович О. Г. "Система енергозабезпечення малого переробного підприємства з удосконаленням вітроелектричної установки". Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, 2025 р. 45 с текстової частини, 2 таблиці, 5 рисунків, 17 джерел посилань.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання електропостачання малого переробного підприємства з використанням вітроелектричної установки. На підставі технологічних розрахунків було визначено потребу підприємства в електроенергії. Проведено дослідження вітрового енергетичного потенціалу регіону, що дозволило підібрати оптимальні параметри вітрової електростанції, здатної покрити необхідні енергетичні потреби. Запропоновано вдосконалення конструкції вітрової установки із застосуванням фрикційного мультиплікатора, для якого здійснено конструкційні розрахунки. Окрему увагу приділено питанням охорони праці та екологічної безпеки в межах діяльності підприємства. Також проведено економічне обґрунтування доцільності впровадження модернізованої установки з визначенням строку її окупності.

Ключові слова: система електрозабезпечення, система освітлення, силова електромережа, вітроелектрична установка.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТУ ТА РЕГІОНУ ЙОГО РОЗТАШУВАННЯ	8
1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта	8
1.2 Аналіз регіону розташування досліджуваного об'єкта	9
1.3 Характеристика джерел енергозабезпечення	10
1.4 Дослідження енергетичного потенціалу вітрового потоку	11
1.5 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи	15
2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЛОГО ПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА	17
2.1 Технологічна характеристика малого переробного підприємства	17
2.2 Визначення потреби в електроенергії для малого переробного підприємства	19
2.3 Розрахунок параметрів внутрішньої розподільчої електричної мережі виробничого приміщення	20
2.4 Розрахунок габаритних параметрів вітроелектричної установки	22
3 УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ	25
3.1 Обґрунтування структури вітроенергетичної установки	25
3.2 Обґрунтування потреби в удосконаленні	26
3.3 Конструктивний розрахунок вітрового ротора	29
3.4 Розрахунок параметрів удосконаленого засобу	31

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	35
4.1 Структурно-функціональний аналіз технологічного процесу	35
4.2 Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій стосовно безпечного перебігу технологічного процесу	36
4.3 Охорона довкілля	39
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ	40
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	42
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	44

ВСТУП

Сільськогосподарські підприємства традиційно зустрічаються з проблемою низької якості електричної енергії, низьким рівнем надійності електропостачання тощо. Ця ситуація може спричинювати погіршення якості виробництва продукції, зниження рівня продуктивності підприємства тощо. Одним із напрямків подолання зазначених проблем є широке використання обладнання відновлюваної енергетики: фотоелектричних, вітроелектричних, гідроелектричних та інших типів установок.

У цій роботі розглянуто можливість часткового забезпечення електроенергією досліджуваного об'єкта шляхом використання вітроелектричної установки з одночасним удосконаленням її конструкції.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка технічного рішення з удосконалення конструкції вітроелектричної установки малогабаритного класу, яка використовується для часткового живлення електроенергією малого переробного підприємства, зокрема, живлення системи освітлення.

Основними **завданнями** кваліфікаційної роботи є:

1. Виконати загальний аналіз досліджуваного підприємства.
2. Визначити обсяги споживання електроенергії на потреби технологічного процесу та освітлення та дослідити енергетичний потенціал вітрового потоку, як первинний ресурс для роботи вітроелектричної установки.
3. Визначити параметри вітроелектричної установки.
4. Провести удосконалення конструкції вітроелектричної установки.
5. Здійснити аналіз заходів з охорони праці під час експлуатації вітроелектричної установки.
6. Оцінити економічну ефективність удосконалення конструкції вітроелектричної установки.

Об'єктом кваліфікаційної роботи є система електропостачання малого переробного підприємства з використанням вітроелектричної установки.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТУ ТА РЕГІОНУ ЙОГО РОЗТАШУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта

Досліджуваним об'єктом є проектоване мале переробне підприємство з виробництва хлібобулочних виробів. Дане підприємство може бути частиною структури агрокорпорації "Крупець".

У 1969 році на теренах Радивилівщини розпочало роботу агропідприємство "Крупець", яке за тривалий період свого існування виросло у велику багатогалузеву компанію. На даний час агрокорпорація "КРУПЕЦЬ" включає п'ять підприємств. На підприємствах працює близько 300 чоловік.

СФГ "Крупецьагроптиця" - спеціалізоване господарство з вирощування та реалізації живих курчат-бройлерів. Має інтегровану систему управління якістю та безпечністю, з 2007 року сертифіковану на відповідність вимогам міжнародного стандарту ДСТУ ISO 22000:2007. На підприємстві впроваджено автоматизований контроль мікроклімату. Використовується збалансований повнораціонний комбікорм з натуральних інгредієнтів власного виробництва. Все це забезпечує бездоганну якість екологічно чистого курячого м'яса.

ТОВ «Крупецький комбікормовий завод» - підприємство, де виготовляються повноцінні комбікорми та кормові добавки європейської якості для птиці та інших сільськогосподарських тварин на сучасному обладнанні фірми Van Aarsen. З 2019 року збудовано завод з перероблення соняшникового насіння: макуха додається до комбікормів, збагачуючи їх білком. Важливою складовою кормів є також соєва макуха й олія, яка отримується на власних виробничих потужностях. Потужність лінії з перероблення сої 18000 тонн на рік.

ТОВ «Птахофабрика Крупець» - сучасне птахівниче господарство. Належні умови утримання птиці забезпечує сучасне автоматизоване обладнання Big Dutchman. Дотримується збалансована годівля по 18 інгредієнтах кормового

раціону із натуральної сировини власного виробництва. У виробництві та реалізації курячих харчових яєць впроваджена система НАССР. Збирання, сортування і пакування здійснюється яйцесортувальними комплексами МОБА (Нідерланди). За 2023 рік вироблено понад 250 млн яєць. Виробництво продукції здійснюється на чотирьох сучасно обладнаних птахокомплексах. Також вироблено 6000 тон м'яса птиці за рік. За 2024 рік вироблено понад 100 тон сухого яєчного порошку. Завод із виробництва яєчних продуктів, збудований у 2024 році, оснащений передовим обладнанням Sanovo та МОБА, що забезпечує випуск продукції найвищої якості відповідно до європейських та міжнародних стандартів.

ТОВ «Агролан Крупець» - сільськогосподарське підприємство, спеціалізацією якого є вирощування озимої пшениці, соняшника, сої, кукурудзи та ячменю. Використовує новітню ґрунтообробну та висівну техніку виробництва компаній Massey Ferguson Ltd (США), John Deere (США), Väderstad (Швеція), Röttinger (Німеччина), бункери-перевантажувачі від ТОВ «Завод Кобзаренка». Потужності сучасного авто- та тракторного парку дозволяють обробляти власні землі та надавати послуги іншим сільгоспвиробникам. Загалом обробляється 8000 гектарів землі.

ТОВ «КрупОйлКорм» - підприємство, яке займається реалізацією продуктів переробки насіння соняшника, а саме: олія соняшникова нерафінована, макуха соняшникова, пелети з лущиння насіння соняшника для технічного і побутового використання.

1.2 Аналіз регіону розташування досліджуваного об'єкта

Досліджуване підприємство знаходиться в південно-західній частині Дубенського району Рівненської області. Локалізація підприємства у с. Крупець, яке є центром Крупецької територіальної громади. Загалом с. Крупець має добре географічне розташування. До колишнього районного центру м. Радивилів всього 2 км, до поточного районного центру – 47 км, а до районного центру Львівської

області м. Броди – 10 км. Крім того, доїзди до вказаних населених пунктів здійснюються міжнародною трасою Е40/М60. Таким чином, міжміська комунікація є доброю, що позитивно впливає на переміщення як вирощеної продукції, так і продуктів харчування, які виготовляються в межах агрокорпорації.

Регіон дослідження має помірно-континентальний клімат, з вологим і теплим літом та м'якою зимою. Пересічна річна температура коливається від $+6,5^{\circ}$ до $+7,5^{\circ}\text{C}$. Найхолодніший місяць - січень, коли пересічна температура становить від -3° до $+3,5^{\circ}$, а найнижча температура може опускатися до -32° до -39° .

Клімат в регіоні дослідження є помірно-континентальним і характеризується значними температурними коливаннями між літнім та зимовим періодами. Літні місяці зазвичай характеризуються високими температурами та достатньою кількістю опадів. Натомість зима характеризується більш м'яким кліматом, порівняно з іншими регіонами України, з рідкими і короткочасними періодами морозів. Протягом року випадає значна кількість опадів, що сприяє розвитку сільського господарства та зелених насаджень. Це позитивно впливає на загальну продуктивність агрокорпорації. Рельєф місцевості здебільшого є рівнинний, що сприяє рільництву, запобігає утворенню ровів, ярів тощо.

1.3 Характеристика джерел енергозабезпечення

Для електропостачання побудовано двотрансформаторну електропідстанцію закритого типу (ЗТП) з двома трансформаторами 630 кВА кожен. Силові трансформатори сухого виконання з малими втратами електроенергії.

Електроживлення ЗТП відбувається від двох незалежних ПЛ-10 кВ, які в свою чергу, заживлені від двох незалежних РТП 35/10 кВ.

Ввід від ПЛ-10 кВ до комірок ЗТП виконано сухим проводом з зшитого поліпропілену довжиною 180 м в землі.

Як резервне живлення на підприємстві змонтовано ДЕС, потужністю 350 кВт, яка працює автоматично х мережею 10/0,4 кВ через АВР.

Для здешевлення електроенергії на підприємстві змонтовано сонячну електростанцію потужністю 280 кВт.

Від електропідстанції всі споживачі отримують електричну енергію кабельними лініями в землю Застосовується кабель АВВГ 4х95. Загальна довжина кабельних ліній становить 1800 м.

1.4 Дослідження енергетичного потенціалу вітрового потоку

Енергетичний потенціал вітрового потоку досліджується відповідно до методики, викладеній у навчальному посібнику "Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру" [12] та методичних рекомендаціях "Дослідження енергетичного потенціалу вітрового потоку" [14]. Також було використано матеріал методичних рекомендацій "Дослідження параметрів вітрового потоку" [15] та "Робота з відкритими базами даних та дослідження енергетичного потенціалу вітру території". Відповідно до запропонованих методик, необхідно визначити місце розташування вітроелектричної установки, оцінити висоти перешкод, а також за матеріалами відкритої бази даних Американського аерокосмічного агентства NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. Доступ до даної бази даних здійснюється за посиланням [4]. Загалом, доступ до даних не є складним. Необхідно встановити на мапі точку, для якої слід отримати дані, вибрати у полі виду даних необхідну висоту (можна вибрати висоту 10 і 50 м), а також вказати тип файла, який буде автоматично сформовано (рис. 1.1).

Отже, на наш запит було сформовано файл у форматі "csv", який був відкритий у "MS Excel" в режимі читання даних. Нам було надано відомості про середньомісячні швидкості вітру на висоті флюгера (10м), а також на висоті 50 м (табл. 1.1).



Рисунок 1.1 – Скрін-шот екрану вибору даних щодо швидкості вітрового потоку в регіоні дослідження

Таблиця 1.1 – Середньомісячні швидкості вітру в регіоні дослідження на різних висотах

Parameter	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
WS10M	5,24	5,09	5,01	4,42	3,97	3,76	3,56	3,49	3,94	4,51	4,94	5,26
WS50M	7,43	7,22	7,14	6,37	5,76	5,45	5,21	5,18	5,87	6,65	7,05	7,48

Наступним етапом є оцінка вітрового потенціалу для кожного із місяців року з використанням методики, поданої у методичній літературі [12].

В основі розрахунків лежить теорія, яка ґрунтується на закон кінетичної енергії, яка відображається формулою [1-3]:

$$E_{kin} = \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (1)$$

де m – маса потоку, кг; v – швидкість потоку, м/с.

Маса потоку повітря може бути визначена з врахуванням густини ρ та одиничного об'єму, який відображається перерізом F , а також довжиною потоку ($v \cdot t$):

$$m = \rho \cdot v \cdot t \cdot F, \quad (2)$$

Якщо, параметр маси підставити у формулу кінетичної енергії, то можна отримати вираз енергії вітрового потоку у вигляді

$$E = \frac{1}{2} v \cdot \rho_n \cdot t \cdot F \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho_n \cdot F \cdot v^3 \cdot t. \quad (3)$$

Оскільки швидкість вітрового потоку має завжди змінний характер, то енергетичний потенціал повинен врахувати сукупність середніх значень, які були виміряні в процесі дослідження швидкості вітру. Тобто енергетичний потенціал є сумою виміряних кубічних швидкостей

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho_n \cdot F \cdot t (v_1^3 + v_2^3 + v_3^3 + \dots) = \frac{1}{2} \cdot \rho_n \cdot F \cdot t \cdot (v^3)_{cp}. \quad (4)$$

З врахуванням особливостей методики усереднення та накопичення даних швидкості вітру, в подальших розрахунках слід враховувати те, що середні значення будуть вносити певну похибку у розрахунки. Тому середньомісячні значення швидкості вітру слід привести до середньокубічних. Існує декілька методик, як це зробити, однак, найпростішим варіантом є використання методики, поданої у [12]. Там перехід від середніх швидкостей до середньокубічних здійснюється з використанням лінійними залежностей:

- за середньої швидкості вітру від 3 до 4 м/с:

$$v_g = 0,5 + 1,5 \cdot v_{c.p.}, \quad (7)$$

- за середньої швидкості вітру від 4 до 6 м/с:

$$v_g = 2,5 + v_{c.p.}, \quad (8)$$

- за середньої швидкості вітру понад 6 м/с:

$$v_g = 1,3 + 1,2 \cdot v_{c.p.} \quad (9)$$

З врахуванням того, що ми плануємо встановлювати вітроелектричну установку малої потужності, то нам буде достатньо скористатися даними вітру на

висоті 10 м з адаптацією їх на висоту 20 м, що відповідає типовій висоті встановлення осі вітрового ротора. Для виконання адаптації необхідно скористатися формулою [16]

$$v(h) = v_{\phi} \left(\frac{h}{h_{\phi}} \right)^{\alpha}, \quad (0)$$

де v_{ϕ} – швидкість на висоті флюгера (10 м); h_{ϕ} – висота флюгера (10 м); h – висота, для якої слід виконати адаптацію швидкості вітру на висоті флюгера, м; α – поправочний коефіцієнт, який відображає вплив шорсткості поверхні та висоти встановлення осі вітрового ротора. Зазвичай цей показник рекомендують брати рівним 0,14.

Для виконання розрахунків із визначення енергетичного потенціалу вітрового потоку раціонально скористатися спеціальним програмним продуктом, розробленим на лабораторних заняттях з відновлюваної енергетики "ЛР Розрахунок потенціалу вітру.xls", робоче вікно якого подано на рис. 1.2.

Місяць року	Середня швидкість вітру, м/с	Кількість днів в місяці	Середня швидкість вітру на висоті 20 м, м/с	Встановлена швидкість вітру, м/с	Енергія вітру за місяць, кВт·год/м²
1	5,24	31	5,77	8,27	271,42
2	5,09	29	5,61	8,11	239,46
3	5,01	31	5,52	8,02	247,55
4	4,42	30	4,87	7,37	185,91
5	3,97	31	4,37	6,87	155,6
6	3,76	30	4,14	6,64	135,96
7	3,56	31	3,92	6,38	124,62
8	3,49	31	3,85	6,28	118,85
9	3,94	30	4,34	6,84	148,61
10	4,51	31	4,97	7,47	200,03
11	4,94	30	5,44	7,94	232,46
12	5,26	30	5,8	8,3	265,54
Разом за рік	4,43	365		7,37	2326,01

Рисунок 1.2 – Робоче вікно програми розрахунку енергетичного потенціалу вітрового потоку "ЛР Розрахунок потенціалу вітру.xls"

Отже, за результатами розрахунків виявлено, що середньорічна швидкість на висоті 20 м, яка повинна братися до уваги становить 7,37 м/с, а сумарний річний потенціал становить 2326 кВт·год/м². Даний параметр буде необхідний для обґрунтування параметрів ротора вітроелектричної установки.

1.5 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

Сільськогосподарські підприємства стикаються з великою кількістю викликів, серед яких доступність до енергетичних ресурсів. Енергетичні ресурси відіграють важливу роль у забезпеченні якості виконання технологічного процесу, що в кінцевому випадку впливає на якість кінцевої продукції. Особливим видом підприємств є переробні, які характеризуються підвищеним споживанням електричної енергії, в той же час, які характеризуються підвищеними вимогами до надійності та якості електропостачання.

Це зумовлює організовувати потужну електричну службу, яка відповідає за розподіл електроенергії на силові та освітлювальні мережі, забезпечує надійність електропостачання за рахунок дублювання вхідного енергетичного потоку, якість електропостачання за рахунок застосування системних компонентів, що забезпечують нормативні показники електроенергії тощо.

Зважаючи на значні обсяги споживання електричної енергії переробними підприємствами, постійним зростанням її вартості, намагання забезпечити екологізацію виробництва раціональним є пошук альтернативних методів електропостачання. Серед таких варіантів може бути використання відновлюваних джерел енергії, до яких можна віднести вітроелектричні, фотоелектричні та інші електрогенерувальні установки.

Особливістю таких установок є абсолютна екологізація генерованої електричної енергії, відсутність повної залежності від централізованої електромережі тощо. Щоправда й ці види електрогенерувальних установок мають

серйозні недоліки, до яких слід віднести нерегулярність генерації електроенергії, яка визначається погодними та сезонними змінами, стохастичним впливом тощо.

Тим не менше тенденція світового розвитку відновлюваної енергетики зокрема вітроенергетики засвідчує стійку тенденцію до зростання потужності встановлених вітроагрегатів. Зважаючи на дослідження енергетичний потенціал вітрового потоку, який показує доволі непогані енергетичні показники, вважаємо за доцільне застосувати вітроелектричну установку для електропостачання переробного підприємства. В цьому контексті забезпечиться екологізація виробництва хлібобулочних виробів, знизиться навантаження на централізовану електромережу, підвищиться енергетична безпека підприємства, створяться нові робочі місця тощо.

2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЛОГО ПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Технологічна характеристика малого переробного підприємства

Хлібобулочні вироби належать до категорії базових продуктів щоденного раціону. Попит на них залежить від вікових особливостей, умов праці, національних традицій, а також соціально-економічної ситуації. Хліб цінується за те, що містить широкий спектр поживних компонентів, необхідних для підтримання життєдіяльності організму.

Під час виробництва хлібобулочних виробів для населення найчастіше використовують типовий набір продукції, що охоплює такі основні види: хліб пшеничний формовий різного гатунку; хліб пшеничний череневий з борошна різного гатунку; хліб житній формовий; хліб житньо-пшеничний формовий тощо. Також зазвичай в асортименті є батони з пшеничного борошна різного гатунку; булочки тощо.

Серед хлібобулочних виробів найбільшим попитом серед населення користуються пшеничний хліб із борошна першого та вищого гатунку, а також пшеничні батони з борошна вищого гатунку. Враховуючи це, підприємство зосередить основну увагу на виробництві саме цих видів продукції, що виготовлятимуться в межах єдиного виробничого потоку.

Стосовно обсягів виробництва, то він визначається середньою нормою споживання хлібобулочних виробів та потенційною кількістю населення, яке буде обслуговуватися підприємством. Відповідно до цього добовий обсяг виробництва заплановано на рівні 1200 кг/добу.

Для реалізації поставленого завдання необхідно спорудити окрему будівлю хлібопекарного виробництва з відповідними приміщеннями та необхідною інфраструктурою. Для оцінки обсягів рівня споживання електроенергії слід вияснити перелік необхідного технологічного обладнання, яке буде використане в

технологічному процесі. Перелік технологічного обладнання хлібопекарного підприємства подано у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технологічне обладнання хлібопекарного підприємства

Операція	Марка машини	К-сть одиниць	Потужність приводу, кВт	Площа машини, м ²
Бункер для зберігання борошна	БЗБ-10	2		1,57
Вібродозвантажувач	РЗ-08А-100	2	0,75	1,7
Конвеєр гвинтовий	У21-БКВ-16-1	1	1,1	1,0
Просіювально-дозувальний агрегат	ВК-1007	1	3,0	2,24
Мішкоперекидач	"Бета"	1	0,55	0,49
Вага платформова	Р9-150-ШЗ7	1		0,66
Стелаж виробничий	С-2	5		0,63
Холодильна камера	КХС-2-6	1	0,75	1,96
Ящик для солі	ТЛ-28	1		0,87
Солерозчинник	ХСР-3/2	1		0,88
Піддон	ПТГ-100	5		1,21
Стіл технологічний	СП-1	9		0,63
Водомірно-змішувальний бачок	ВСБ-100/82	1		0,35
Машина тістомісильна	А2-ХТБ	1	5,5	1,76
Діжа підкатна	Т4-ХТ2Д	6		0,92
Діжеперекидач	А2-ХПД2	1	1,5	2,82
Приймач тіста	ПТБ-01	1		0,14
Машина тістоділильна	А2-ХТН	1	3	2,53
Машина тістоокруглювальна	Т1-ХТН	1	1,1	1,08
Піч хлібопекарна ротаційна	КЕП-400М	1	44,4	4,09
Піч хлібопекарна трисекційна	РЗ-ХПГ	2	30	1,56
Контейнер готової продукції	ТОКХ-2	14		0,52
Машина для рогаликів	С-500	1	0,6	0,39
Майданчик обслуговування	МОТП-3	1		0,4
Пристрій подачі заготовок в піч	ППЗП-24	1		0,37
Всього			123	59,36

Як видно, дане підприємство не характеризується надмірною потужністю, однак, добовий рівень споживання електроенергії може бути значним, відповідно до того, що тут заплановано двозмінну роботу. Фактичну витрату електроенергії можна буде визначити на підставі розрахунку, що дозволить врахувати, режим одночасності ввімкнення обладнання, тривалість одноразового ввімкнення, а також кількість вмикань впродовж однієї зміни та за добу.

2.2 Визначення потреби в електроенергії для малого переробного підприємства

Як було зазначено вище, для розрахунку добової витрати електроенергії на потреби технологічного обладнання хлібопекарного цеху необхідно мати декілька показників, які визначають режим використання обладнання. До них відносяться: кратність ввімкнення обладнання впродовж зміни, тривалість ввімкнення обладнання за один цикл використання, кількість змін тощо. Спрощено можна визначити витрату електроенергії вважаючи, що все технологічне обладнання приблизно симетрично навантажене впродовж зміни.

Добову витрату електроенергії на потреби технологічного обладнання E_{∂} визначимо за формулою:

$$E_{\partial} = \sum_{i=1}^{n_m} N_i \cdot t_i \cdot K_{\partial} \cdot n, \quad (2.1)$$

де N_i - потужність електродвигуна i -ї машини або комплекту обладнання, кВт;
 t_i - тривалість одинарного циклу вмикання i -ї машини або комплекту обладнання, год;
 K_{∂} - кількість вмикань i -ї машини або комплекту обладнання протягом зміни;
 n - кількість змін впродовж доби.

Отже, отримаємо для двозмінної роботи переробного підприємства

$$E_{\partial} = 123 \cdot 7 \cdot 1,4 \cdot 2 = 2410,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Таким чином, для потреб основного технологічного процесу необхідно постачати електроенергію в обсязі 2411 кВт·год щоденно, що у річному циклі становитиме 880015 кВт·год.

Аналогічним чином визначається витрата електроенергії для потреб інших споживачів, наприклад системи освітлення. На цьому малому переробному підприємстві використовуються приміщення без чітко визначених зональних меж, що зумовлює виконання розрахунку для всього підприємства одразу. Відповідно до специфікації приміщень, кількості встановлених світильників та режиму використання визначимо добову витрату електроенергії.

Отже, отримаємо

$$E_{\text{доп}} = 2 \cdot 7 \cdot 0,6 \cdot 2 = 16,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Тобто, для потреб електроосвітлення підприємства необхідно близько 17 кВт·год електроенергії, а зважаючи на цілорічний режим роботи підприємства всього протягом року необхідно постачати електроенергію у обсязі 6132 кВт·год.

Сумарне річне споживання електроенергії для основного виробничого процесу становитиме 886 147 кВт·год.

2.3 Розрахунок параметрів внутрішньої розподільчої електричної мережі виробничого приміщення

Розробка внутрішньої електромережі передбачає поетапне виконання кількох ключових інженерних завдань. Спочатку визначають величину струму в кожному сегменті мережі згідно з її схемою. Далі здійснюється підбір електричних провідників — враховується їх тип, кількість та перетин. Наступним етапом є вибір пускової та захисної апаратури відповідного типорозміру, а також налаштування її режимів роботи. Для ілюстрації цього процесу розглянемо приклад: обчислення параметрів електромережі, яка забезпечує живлення електропечі з активною потужністю 30 кВт.

Для однофазних навантажень, що споживають активну електроенергію, значення струму розраховується за стандартною формулою

$$I = \frac{P_{\text{роз.}}}{U_n}, \quad (2.2)$$

де $P_{\text{роз}}$ — розрахункова потужність, Вт; U_n — номінальне значення електричної напруги мережі, В.

Для трифазних споживачів електроенергії з рівномірним (симетричним) навантаженням по фазах лінійний струм I_l розраховується за такою формулою:

$$I_l = \frac{P_{\text{роз.}}}{\sqrt{3} \cdot U_l}, \quad (2.3)$$

де U_l – значення лінійної напруги мережі, В.

Отже, отримаємо значення струму для електроживлення печі для трифазної мережі

$$I_l = \frac{30000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 45,63 \text{ А.}$$

Відомо, що при запуску електрообладнання з активним і реактивними опорами виникають пускові струми, величину яких можна визначити за формулою

$$I_{\text{пуск}} = I_l \cdot K_{\text{пуск}}, \quad (2.4)$$

де $K_{\text{пуск}}$ – коефіцієнт зростання струму під час пуску.

Тобто,

$$I_{\text{пуск}} = 45,63 \cdot 1,5 = 68,44 \text{ А.}$$

Розмір поперечного перерізу електричних провідників S_{np} визначається на основі номінального струму у фазних та нульових жилах, з урахуванням допустимої струмової щільності для конкретного матеріалу провідника та способу його прокладання. Розрахунок виконується за формулою:

$$S_{np} = \frac{I_n}{I_\partial}, \quad (2.5)$$

де I_∂ – допустима щільність струму, А/мм².

$$S_{np} = \frac{45,63}{4} = 11,41 \text{ мм}^2.$$

Таким чином, відповідно до правил, необхідно прийняти поперечний переріз проводу з найближчого типорозмірного ряду 16 мм².

Окрім розрахунку струмів і перетинів провідників, слід також визначити загальний спад напруги в мережі для кожного споживача. Це здійснюється шляхом підсумовування окремих спадів напруги ΔU_i на кожній ділянці мережі, розрахованих за відповідною формулою:

$$\Delta U_i = I_i \cdot R_i, \quad (2.6)$$

де I_i – величина струму на досліджуваній ділянці кола, А; R_i – опір провідника на досліджуваній ділянці кола, Ом.

Таким чином, спадок напруги на досліджуваній ділянці кола буде рівним

$$\Delta U_i = 45,63 \cdot 0,045 = 2,05 \text{ В}$$

Опір провідника на досліджуваній ділянці кола визначаємо за формулою

$$R_i = \frac{\rho \cdot l_i}{S_{np}}, \quad (2.7)$$

де ρ – питомий опір матеріалу, з якого виготовлено провідник, Ом·м; l_i – довжина ділянки мережі, м.

$$R_i = \frac{0,145 \cdot 5}{16} = 0,045 \text{ Ом.}$$

У разі, якщо розрахункові значення спадів напруги не відповідають нормативним вимогам, необхідно збільшити поперечний перетин провідників та повторити розрахунок для перевірки відповідності параметрів мережі.

Проектування електромережі виконується окремо для кожної її ділянки з урахуванням величини навантаження та довжини лінії. Додатково враховується характер навантаження — активний чи реактивний — що впливає на параметри струму та втрат напруги.

Усі результати розрахунків, проведених в межах проектування внутрішньої розподільчої мережі для виробничих приміщень кондитерського цеху, оформлюються у вигляді розрахункової схеми електромережі.

2.4 Розрахунок габаритних параметрів вітроелектричної установки

Щоб визначити габаритні розміри вітроустановки, яка здатна забезпечити виробництво потрібної кількості електроенергії для технологічних потреб, необхідно скористатися відповідною формулою

$$S = \frac{E_p}{E_m \cdot C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_c \cdot \eta_{in} \cdot \eta_{np}}, \quad (2.8)$$

де E_p – річне споживання електроенергії технологічним процесом, кВт·год.; E_m – енергетичний потенціал 1 м² поверхні вітрового ротора в регіоні дослідження, кВт·год.; C_p - коефіцієнт потужності вітрового ротора $C_p = 0,3$; η_m , η_e , η_{in} , η_{np} – коефіцієнти корисної дії мультиплікатора, електрогенератора, інвертора та втрати в кабелях, відповідно. Можемо прийняти в першому наближенні $\eta_m = 0,85$, $\eta_e = 0,9$, $\eta_{in} = 0,95$, $\eta_{np} = 0,99$.

За загальною площею вітрового ротора можемо перейти до визначення діаметра вітрового ротора за відомою формулою

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}. \quad (2.9)$$

За відомого значення діаметра вітрового ротора, швидкості вітрового потоку та показників ефективності структурних компонентів можна визначити габаритну потужність вітроустановки

$$N_{вк} = 0,5 \cdot D^2 \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_e \cdot \eta_{in} \cdot \eta_{np}. \quad (2.10)$$

Підставивши числові значення у формули (2.8)-(2.10), отримуємо для наших умов

$$S = \frac{886147}{2326 \cdot 0,3 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,99} = 1765 \text{ м}^2;$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1765}{3,14}} = 47,4 \text{ м};$$

$$N_{вк} = 0,5 \cdot 47,4^2 \cdot 7,37^3 \cdot 0,3 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,99 = 97067 \text{ Вт}.$$

Таким чином, для повного електропостачання переробного підприємства необхідно застосувати вітроелектричну установку потужністю 100 кВт.

Зважаючи на надто велику витрату електроенергії для основного технологічного процесу та відповідно й розміри вітроелектричної установки, напевно буде доцільним сконцентрувати увагу на можливості забезпечити електроенергією від вітроелектричної установки систему освітлення. Тоді отримаємо наступні результати визначення габаритної потужності вітроелектричної установки

$$S = \frac{6132}{2326 \cdot 0,3 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,99} = 12,2 \text{ м}^2;$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 12,2}{3,14}} = 3,94 \text{ м};$$

$$N_{\text{ек}} = 0,5 \cdot 3,94^2 \cdot 7,37^3 \cdot 0,3 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,99 = 670,7 \text{ Вт}.$$

Таким чином, мінімально можлива потужність вітроелектричної установки повинна становити 670 Вт. Зважаючи на нерегулярність роботи вітроелектричної установки, є рекомендація збільшувати потужність щонайменше втричі, тобто слід було б застосувати установку потужністю 2010 Вт, або 2 кВт з діаметром вітрового ротора 6,8 м. Це забезпечить більш надійне електропостачання технологічної потреби за рахунок використання вітроелектричної установки.

3 УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Обґрунтування структури вітроенергетичної установки

Однією з характерних рис вітроустановок, що застосовуються для енергозабезпечення сільськогосподарських об'єктів, є їх порівняно невелика потужність — у деяких випадках до 20 кВт. Встановлення більш потужних вітроустановок супроводжується не лише значними фінансовими витратами, а й організаційними та технічними складнощами. Оскільки електроспоживання малих переробних підприємств може перевищувати 100 кВт, такі установки неспроможні повністю покрити їхні енергетичні потреби. Одним з варіантів є забезпечення енергією лише окремих технологічних процесів. Проте в хлібопекарських та кондитерських виробництвах багато енергоємних етапів, які потребують стабільного і якісного енергопостачання, тому використання вітроенергії в цих процесах є неефективним. Більш доцільно застосовувати вітроустановки для загальногосподарських потреб — таких як водопостачання, освітлення, вентиляція чи кондиціонування. У цьому проєкті розглядається саме використання вітроустановки для освітлення виробничих приміщень, оскільки цей процес має нижчі вимоги до якості електроенергії.

Приміщення малого переробного підприємства не має чіткого зонального поділу, тому система освітлення розраховується для всього об'єкта загалом. Відповідно до технологічного розрахунку, сумарна встановлена потужність освітлювального обладнання становить 2 кВт. Саме на це значення орієнтуватимуться при визначенні кінематичних, конструктивних та інших параметрів вітроустановки.

Через значну нерегулярність вітрового потоку в зоні розташування підприємства виникає необхідність у впровадженні системи накопичення енергії. Оскільки така система працює на основі постійного струму низької напруги,

додатково потрібне обладнання для перетворення його у змінний струм високої напруги. Таким чином, вітроустановка має працювати за наступним принципом: вітровий потік → вітроколесо → передавальний механізм → генератор → акумуляторна батарея → споживач. Структурну схему наведено на рис. 3.1.

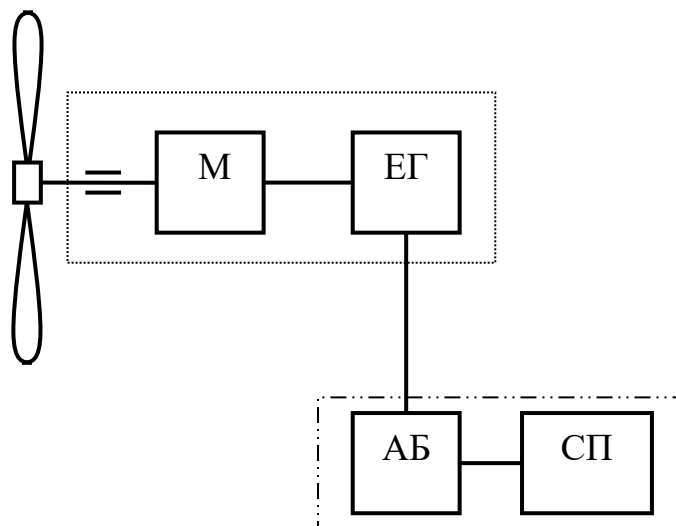


Рисунок 3.1 – Спрощена структурна схема вітроелектричної установки

3.2 Обґрунтування потреби в удосконаленні

Сучасна промисловість дедалі активніше впроваджує безступінчасті передавальні пристрої, зокрема пасові, дискові та інші типи варіаторів. Аналогічні рішення використовуються у безступінчастих трансмісіях експериментальних автомобілів. Застосування варіатора у вітроелектроустановці дозволяє ефективніше використовувати ширший діапазон вітрових швидкостей для приводу генератора з постійною номінальною частотою обертання, що сприяє підвищенню його ККД.

Автомобільні фрикційні варіатори зазвичай автоматизовані – їхнє керування здійснюється за допомогою датчиків, електронних блоків, сервоприводів, а також електро- чи гідродвигунів із редукторами. Механізм притиску фрикційних елементів також, як правило, оснащений сервоприводом. У результаті система керування варіатором за габаритами, масою та вартістю наближається до параметрів його силової частини.

Ключовою особливістю нового типу варіатора, яка робить трансмісію з ним автоматичною, є регульована адаптивність до навантаження. Ця властивість конструктивно закладена у варіатор, подібно до гідротрансформаторів, де при зростанні навантаження на вихідному валу зменшується його частота обертання. Проте у гідротрансформаторів ця характеристика фіксована, тоді як у новому варіаторі ступінь "м'якості" залежності моменту від обертів можна змінювати за бажанням оператора. Аналогічно до гідротрансформаторів із змінним об'ємом робочої рідини, новий варіатор дозволяє варіювати реакцію на навантаження. При мінімальному об'ємі рідини система різко реагує на збільшення навантаження, значно знижуючи оберти вихідного вала. Зі збільшенням об'єму робочої рідини характеристика стає "жорсткішою", і при повному заповненні – максимально стабільною. При цьому частота обертання вхідного вала вважається сталою.

Принципова схема автоматичного безступінчастого адаптивного варіатора наведена на рис. 3.2. У конструкції передбачено два ряди центральних фрикційних дисків — зовнішні (10) та внутрішні (5), між якими затиснено сателіти (7) за допомогою тарілчастих або плоских пружин (4 і 9 відповідно). Кількість рядів фрикційних дисків може змінюватись у межах, допустимих за міцністю та жорсткістю осей сателітів (11) і підшипників (6). При використанні більше чотирьох рядів доцільне встановлення додаткових опор на осях. У кожному ряду зазвичай розміщено шість сателітів, хоча для потужніших варіаторів із вузьким діапазоном регулювання їх кількість може сягати 12. Підшипники (6) осей (11) встановлені на одному кінці поворотних важелів (21), інші кінці яких обладнані противагами (12). Частина противаг має ролики (13), що рухаються у фасонних прорізах (22) диска (14), з'єднаного з вихідним валом (19). Поворотні важелі (21) змонтовані на осях (1), закріплених на водилі (3). Ролики (13) виштовхуються до периферії пружинами (16), зусилля яких може змінюватись за допомогою підйомного механізму (17), що приводиться в дію важелем (15) через систему вижимних підшипників.

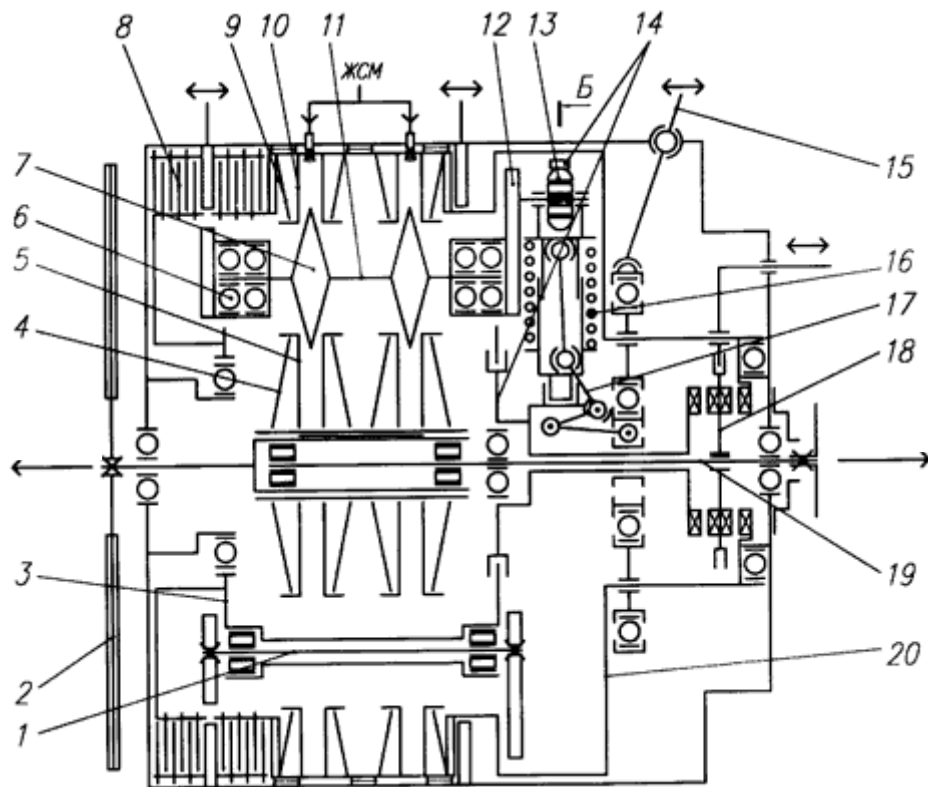


Рисунок 3.2 – Схема безступінчастого планетарного адаптивного варіатора:

1 - вісь поворотних важелів; 2 - пакет пластин; 3 - водило; 4 - тарілчаста пружина; 5 - внутрішній центральний фрикційний диск; 6 - підшипники сателітів; 7 - сателіт; 8 - фрикціони; 9 - плоска дискова пружина; 10 - зовнішній центральний фрикційний диск; 11 - вісь сателітів; 12 - противага; 13 - ролик; 14 - прорізний диск; 15 - важіль; 16 - пружина; 17 - підйомний механізм; 18 - каретка; 19 - вихідний вал; 20 - епіцикл; 21 - поворотний важіль; 22 - фасонний проріз прорізного диска; ЖСМ - рідкий мастильний матеріал

Керування важелем може здійснюватися вручну або за допомогою підсилювачів із пружною характеристикою. Варіатор може функціонувати й без системи регулювання зусилля пружин, у цьому випадку він матиме одну фіксовану "м'яку" характеристику — подібно до гідротрансформатора або двигуна постійного струму з послідовним збудженням. Водночас наявність механізму регулювання пружного зусилля дає змогу змінювати ступінь "м'якості" характеристики, що особливо актуально для автоматичних трансмісій, оскільки дозволяє адаптувати роботу варіатора до різних режимів навантаження.

Крутний момент передається через пакет круглих сталевих пластин (2), а функцію зчеплення виконують фрикціони (8). При затисненні правого пакета фрикціонів гальмується епіцикл (20), і каретка (18), телескопічно з'єднана з вихідним валом (19), зміщується ліворуч — таким чином забезпечується передній хід. Для заднього ходу затискається лівий пакет фрикціонів, при цьому гальмується водило (3), а епіцикл (20) обертається у зворотному напрямку відносно первинного вала та з'єднується з вихідним валом через переміщення каретки вправо. Нейтральний режим відповідає центральному або проміжному положенню каретки (18). При зміні крутного моменту на вихідному валу (19), ролик (13), який до цього перебував у прорізі (22) в урівноваженому положенні, під дією зусиль пружин (4, 9, 16), тангенціальних сил моменту та інших навантажень у механізмі, змінює своє положення. Це спричиняє зміну передатного відношення варіатора. Пружини (4 і 9) деформуються під розклинювальною дією сателітів. Завдяки спеціально підібраним характеристикам "сила-деформація", вони забезпечують оптимальний притиск фрикційних дисків із запасом по зусиллю 1,25–1,5. Проріз (22) може мати профіль, що зменшує або повністю усуває зусилля, необхідне для переміщення ролика при зміні передатного відношення. Таким чином, прогресивна характеристика варіатора — це конструктивна властивість, що досягається за рахунок форми прорізі (22) і жорсткості пружини (16), без потреби в складних зовнішніх системах керування.

3.3 Конструктивний розрахунок вітрового ротора

Оскільки вітроенергетична установка розташована в зоні проживання людей, вона має бути екологічно чистою і не створювати шкідливих шумів. Це вимагає використання вітроелектричних установок тихохідного класу з збільшеною кількістю лопатей. Водночас для досягнення високої техніко-економічної ефективності та мінімізації передавального числа мультиплікатора бажано застосовувати швидкохідний тип вітроустановки з малою кількістю

лопате́й. З огляду на ці протилежні вимоги, оптимальним компромісом є використання на малопотужних установках чотирилопате́вих вітроко́ліс з відносно великою площею лопате́й та коефіцієнтом заповнення охопленої площі близько 0,2.

Для досягнення високих передавальних чисел мультиплікатора з високим ККД і низьким рівнем шуму пропонується використання багатодискового планетарного фрикційного варіатора. Його особливість – підтримка сталої частоти обертання вала електрогенератора при широкому діапазоні вхідних частот обертання вітрового ротора. Це дозволяє уникнути встановлення додаткового регулятора напруги, адже регулювання здійснюватиме сам варіатор.

Для обраного вітрового колеса параметр модульності $\omega R/v$, який відповідає максимальному коефіцієнту потужності, і який для даного типу вітрового ротора становить 3,5. Відповідно, кутова швидкість обертання вітрового ротора при швидкості вітру 7,37 м/с буде

$$\omega = \frac{2v \cdot m}{D_{\text{вк}}}, \quad (3.1)$$

де m – модульність вітрового ротора.

Тоді

$$\omega = \frac{2 \cdot 7,37 \cdot 3,5}{6,8} = 7,59 \text{ с}^{-1}.$$

Крутний момент на валу вітрового ротора визначається за формулою:

$$M_{\text{вк}} = \frac{N_{\text{вк}}}{\omega}. \quad (3.2)$$

Отже,

$$M_{\text{вк}} = \frac{2000}{7,59} = 263,5 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

При виборі електрогенератора з номінальною частотою обертання 1000 об/хв, його кутова швидкість обертання становитиме:

$$\omega_z = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,7 \text{ с}^{-1}.$$

Передавальне число мультиплікатора розраховується за формулою:

$$i_m = \frac{\omega_z}{\omega_{вк}}. \quad (3.3)$$

Тобто

$$i_m = \frac{104,7}{7,59} = 13,79.$$

Щоб забезпечити номінальну частоту обертання генератора при нижчих швидкостях вітру, приймаємо передавальне число мультиплікатора рівним 20.

3.4 Розрахунок параметрів удосконаленого засобу

Застосування дискових планетарних варіаторів-мультиплікаторів для перетворення крутного моменту та частоти обертання вітроколеса вітроелектричної установки є перспективним рішенням. Вони забезпечують значні передавальні відношення з можливістю плавної їх зміни без переривання енергетичного потоку та зупинки вітроелектричної установки. Це дозволяє автоматично адаптувати параметри передавального механізму до змін вітрового режиму та роботи технологічного обладнання. Автоматична адаптація реалізується як за рахунок кінематичних властивостей варіатора, так і через пружно-гідродинамічне проковзування, що формує пасивну адаптивність пристрою. Важливим адаптивним параметром є момент опору на вихідному валу, що особливо корисно при значних коливаннях вітру та потреб у потужності обладнання. Основою самоадаптації є автоматичне зміщення «нековзної» точки у зоні фрикційного контакту тіл кочення, що змінює приведені радіуси тіл і відповідно передавальне відношення без втрати моменту.

У режимі холостого ходу ця точка знаходиться в центрі зони контакту, і передавальне відношення відповідає геометричному співвідношенню радіусів

ведучого (R_1) і веденого (R_2) тіл кочення, де O_1 і O_2 – їхні центри, а m – зміщення точки O , що збільшується при зменшенні коефіцієнта запасу щеплення β .

Отже, коли точка O розташована в центрі зони контакту і $m = 0$ (тобто $F_t = 0$ і момент на валах дорівнює нулю), кінематичне передавальне відношення визначається за формулою:

$$i_k = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (3.4)$$

Зі збільшенням зусилля F_t у передачі параметр m зростає, і реальне передавальне відношення i_p (без урахування гідродинамічного ковзання) також підвищується:

$$i_p = \frac{R_2 + m}{R_1 - m}. \quad (3.5)$$

Якщо виразити для цього випадку

$$i_p = i_k \cdot i_m, \quad (3.6)$$

де i_m – передавальне число, яке залежить від зміщення нековзної точки, то:

$$i_m = \frac{i_p}{i_k} = \frac{(R_2 + m)R_1}{(R_1 - m)R_2} = \frac{R_1 + \frac{m}{i_k}}{R_1 - m}. \quad (3.7)$$

Дійсне передавальне число варіатора дорівнює добутку його складових – i_m та i_{ck} – на кінематичне передавальне відношення i_k :

$$i_p = i_k \cdot i_m \cdot i_{ck}. \quad (3.8)$$

Особливістю планетарних фрикційних мультиплікаторів, як і редукторів, є те, що при передачі крутного моменту сили зчеплення в усіх точках контакту однакові. Це ускладнює використання багатоступеневих передач, адже на вихідних каскадах складно забезпечити достатній коефіцієнт тертя. У таких випадках доцільно застосовувати багатодискові механізми.

Розрахунок основних параметрів фрикційних мультиплікаторів здійснюється в такій послідовності: спочатку визначають крутний момент на вихідному (веденому) валу за формулою

$$M_{кр.вих} = \frac{N_{вих}}{\omega \cdot \eta_{np}}, \quad (3.9)$$

де $M_{кр.вих}$ – крутильний момент на вихідному валу мультиплікатора вітроустановки, Н·м; $N_{вих}$ – потужність на виході з мультиплікатора, Вт; ω – кутова швидкість вихідного вала мультиплікатора, рад/с; η_{np} – ККД приводу.

Якщо ми підставимо значення у формулу (3.9) отримаємо

$$M_{кр.вих} = \frac{2000}{104,7 \cdot 0,75} = 25,5 \text{ Н·м.}$$

Дотичну силу в зоні контакту визначають за формулою

$$F_T = \frac{M_{кр.вих}}{R_{np}}, \quad (3.10)$$

де F_T – сила тертя в зоні контакту, Н; R_{np} – приведений радіус вихідного вала фрикційного мультиплікатора в зоні контакту, м.

Для нашого випадку

$$F_T = \frac{25,5}{0,02} = 1275 \text{ Н.}$$

Силу тертя в кожній точці контакту фрикційної передачі розраховують за формулою

$$F_{Ti} = \frac{F_T}{n_c \cdot 2n_d}, \quad (3.11)$$

де F_{Ti} – сила тертя в кожній i -тій точці контакту фрикційного робочого органу, Н; n_c – кількість сателітів фрикційної передачі; n_d – кількість дисків у кожному сателіті фрикційної передачі.

Тоді

$$F_{Ti} = \frac{1275}{2 \cdot 2 \cdot 2} = 159,4 \text{ Н.}$$

Силу притискання тіл кочення в зоні контакту визначають за формулою

$$F_{np} = \frac{F_{Ti}}{f}, \quad (3.12)$$

де F_{np} - сила притискання тіл кочення у зоні контакту, Н; f – коефіцієнт тертя між тілами кочення.

Тоді сила притискання буде

$$F_{np} = \frac{159,4}{0,15} = 1062,7 \text{ Н.}$$

Як видно, запропонований варіант мультиплікатора з фрикційними дисками характеризується компактними розмірами та незначними зусиллями в зоні контакту робочих елементів, що позитивно впливатиме на застосування його у вітроелектричній установці, а також на довговічність конструкції приводу.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

4.1 Структурно-функціональний аналіз технологічного процесу

Процеси виробництва електроенергії із застосуванням вітроелектричної установки можуть містити свої небезпечні чинники, які можуть негативно вплинути на життя та здоров'я працівників при недотриманні правил техніки безпеки. Найбільш імовірно враження електричним струмом виникає в результаті неполадок в електричній системі або при неправильній експлуатації електричних пристроїв. Для запобігання цьому необхідно вчасно проводити перевірки стану електрообладнання та заземлення. Опишемо цю ситуацію, яка може призвести до тяжких наслідків, пов'язаних зі завданням шкоди здоров'ю працюючих.

Операція: перевірка електрообладнання.

Небезпечна умова:

- металеві частини електрообладнання не заземлені згідно правил експлуатації (НУ₁) (рис. 4.1);
- до цих частин є доступ працівників (НУ₂).

Небезпечна дія:

- оператор ввімкнув автоматичний вимикач електросистеми під час роботи вітроелектричної установки (НД₁);
- працівник був у контакті з металевою частиною обладнання (НД₂).

Небезпечна ситуація:

- враження електричним струмом працівника внаслідок несправності електроживильних провідників (НС).

Можливі наслідки:

- травма (Т_{1,2}).

Заходи запобігання:

- металеві частини установки повинні бути заземлені згідно норм та правил експлуатації електроустановок;

- необхідним також є перевірка рівня пробою ізоляції струмопровідних силових кабелів.

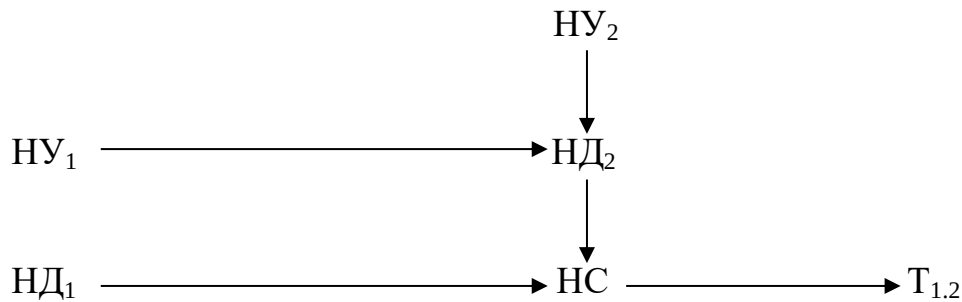


Рисунок 4.1 – Гармонограма виникнення травми

4.2 Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій стосовно безпечного перебігу технологічного процесу

Правила безпеки праці на обладнанні вітроенергетики

До роботи з електрогенерувальним обладнанням допускаються тільки працівники, які навчені прийомам роботи і пройшли ввідний інструктаж з техніки безпеки та інструктаж на робочому місці. Повинен забезпечуватись вільний доступ до всіх частин і механізмів обладнання. У випадку несправності машин і апаратів ремонт слід виконувати тільки після від'єднання її від електричної мережі з обов'язковим вивішуванням таблички “НЕ ВМИКАТИ! Ремонтні роботи”. Для запобігання ураженню електричним струмом машини і апарати повинні бути надійно заземлені згідно з вимогами чинних державних стандартів.

Під час експлуатації обладнання необхідно: прибрати з технологічного обладнання та навколо нього все, що може заважати роботі; переконатися у повній справності машин і апаратів; перевірити роботу обладнання без навантаження; перед кожним вмиканням машини і апарата переконатись, що нікому не загрожує небезпека; не залишати увімкнену машину і апарат без нагляду; регулювати і ремонтувати машину і апарат тільки при вимкненні її з електричної мережі; при появі електричного струму на корпусі негайно вимкнути машину і апарат з

електричної мережі; при проведенні регулювальних, ремонтних та інших робіт користуватись тільки справним інструментом.

Розрахунок штучного освітлення. Основою для розрахунку і розміщення електричного освітлення є будівельні норми і правила (СНиП II-4-79). Штучне освітлення здійснюють у виробничих приміщеннях, в місцях праці під відкритим небом, а також для освітлення в нічний час певних об'єктів (склади, двері, вигульні майданчики тощо). Цей вид освітлення поділяють на комбіноване, місцеве і загальне. Застосування тільки місцевого освітлення у виробничих приміщеннях не допускається. Найбільш поширеним і простим методом розрахунку штучного освітлення є метод світлового потоку.

Світловий потік F_n (лм), який повинна випромінювати кожна електрична лампа (при заданій кількості ламп), розраховують за формулою:

$$F_n = \frac{k' \cdot S_n \cdot E \cdot z}{n_n \cdot \eta_c}, \quad (4.1)$$

де k' – коефіцієнт запасу; S_n – площа підлоги приміщення, м²; E – загальна освітленість згідно норм, лк; z – коефіцієнт нерівномірності освітлення; n_n – кількість встановлених ламп; η_c – коефіцієнт використання світлового потоку.

Попередньо необхідно визначити показник форми приміщення φ , користуючись формулою:

$$\varphi = \frac{a \cdot b}{h_n(a + b)}, \quad (4.2)$$

де a і b – відповідно довжина і ширина приміщення, м; h_n – висота підвісу світильника, м.

Висота підвісу світильника визначається як

$$h_n = H - (h_1 + h_2), \quad (4.3)$$

де H – висота приміщення, м; h_1 – відстань від підлоги до освітлюваної поверхні, м; h_2 – відстань від підлоги до світильника, м.

$$h_n = 4 - (0,2 + 1,5) = 2,3 \text{ м.}$$

Тоді визначимо показник форми приміщення

$$\varphi = \frac{24 \cdot 15}{2,3 \cdot (24 + 15)} = 4,01.$$

Звідси можемо визначити світловий потік, якого буде достатньо для штучного освітлення приміщення

$$F_{\text{л}} = \frac{1,5 \cdot 384 \cdot 75 \cdot 1,15}{96 \cdot 0,5} = 1035 \text{ лм.}$$

Вказаним світловим параметрам відповідають люмінесцентні лампи типу ЛБ20 із світловим потоком 1180 лм.

Розрахунок захисного заземлення обладнання. Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалент металевих струмонепровідних частин, на яких може з'явитися напруга.

Заземляють усі металеві струмонепровідні частини обладнання, на яких внаслідок несправності ізоляції може з'явитися напруга і до яких може відбутися дотикання моделі.

Основним параметром, що характеризує заземлюючий пристрій, є його опір розтіканню струму, який залежить від опору землі. Наявність в ґрунті солей та кислот знижує опір розтіканню.

Опір проходження струму одинарного стержневого заземлювача визначається за формулою:

$$R_c = 0.366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + 0.5 \cdot \lg \frac{4h+l}{4h-l} \right), \quad (4.4)$$

де ρ – питомий опір ґрунту, $\rho=500$ Ом·м; l, d – довжина і діаметр заземлювача, м; $l = 2,5-3$ м; $d = 10-50$ мм; h – глибина закладання заземлювача, $h = 1,2-1,5$ м.

Отже,

$$R_c = 0,366 \frac{500}{2,9} \left(\lg \frac{2 \cdot 2,9}{0,05} + 0.5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 1,4 + 2,9}{4 \cdot 1,4 - 2,9} \right) = 145,99 \text{ Ом.}$$

Необхідна кількість заземлювачів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_c \cdot K_c}{R_n \cdot \eta_e}, \quad (4.5)$$

де K_c – коефіцієнт сезонності, $K_c = 2$; R_n – нормативний опір заземлення, $R_n = 10$ Ом; η_e – коефіцієнт використання заземлювачів, $\eta_e = 0,8$.

Отже, необхідна кількість заземлювачів буде рівною

$$n = \frac{146 \cdot 2}{10 \cdot 0,8} = 36,5.$$

Приймаємо 37 заземлювачів.

4.3 Охорона довкілля

Загальнодержавна система охорони природи передбачає виконання комплексу науково обґрунтованих заходів, спрямованих на збереження, раціональне використання та розвиток природних продуктивних сил України в інтересах суспільства. Охороні підлягають повітря, вода, землі, рослинний і тваринний світ.

Завданням екологічної безпеки є підвищення ефективності заходів щодо охорони природи, а саме: посилювати контроль за шкідливими виробництвами, створювати умови для ефективної роботи, так званих “зелених” організацій тощо. Необхідно запроваджувати маловідходні і безвідходні технологічні процеси на виробництві, які б забезпечували повне і комплексне використання природних ресурсів, сировини та матеріалів, включити або дійсно зменшити їх шкідливий вплив на довкілля. Необхідно послідовно поліпшувати водні ресурси, більш раціонально їх використовувати, посилити захист атмосферного повітря, забезпечити раціональне використання земель, їх захист від водяної та вітрової ерозії.

Застосування відновлюваних джерел енергії дозволить знизити навантаження на традиційну енергетичну систему, що в свою чергу знизить рівень викидів шкідливих компонентів та сполук в атмосферне повітря, спричинить пошук нових шляхів енергозбереження та розумного споживання енергії тощо.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

У вітроустановці модернізовано електромеханічний вузол шляхом використання фрикційного варіатора. Розглянемо вартість вузлів (мультиплікатора та генератора) для кожного варіанту, щоб визначити найбільш економічно ефективне рішення.

У типовому практичному варіанті електромеханічний вузол складається з генератора на 1500 об/хв та триступеневого планетарного мультиплікатора з передавальним числом 106.

Розрахуємо вартість електромеханічної частини за формулою

$$B_{емв} = B_{ег} + B_{м}, \quad (5.1)$$

де $B_{ег}$ – вартість електрогенератора, грн.; $B_{м}$ – вартість мультиплікатора, грн.

Отже для стандартного варіанта отримаємо

$$B_{емв} = 66330 + 41850 = 108180 \text{ грн.}$$

В удосконаленій оптимізованій конструкції електромеханічний вузол включає генератор з частотою обертання 1000 об/хв, а також фрикційний варіатор, передавальне число якого становить 20. Додатковою перевагою такої конструкції є зменшення витрат на технічне обслуговування завдяки використанню фрикційної передачі, яка знижує динамічні навантаження на всю механічну систему. Економічний ефект від застосування фрикційного принципу передачі енергії проявляється у скороченні кількості та складності технічних оглядів, що може дати загальну економію до 36 000 грн.

Відповідно до цього вартість удосконаленої конструкції визначатиметься як

$$B_{оємв} = B_{оег} + B_{ом} - B_{то}, \quad (5.2)$$

де $B_{то}$ – вартість заощадження коштів на технічне обслуговування, грн.

Отже,

$$B_{оємв} = 79605 + 13770 - 36000 = 57375 \text{ грн.}$$

Для визначення зниження вартості вітроустановки за рахунок удосконалення слід скористатися формулою

$$\Delta B_{\text{емв}} = B_{\text{емв}} - B_{\text{оємв}}. \quad (5.3)$$

Таким чином, отримаємо

$$\Delta Z_e = 108180 - 57375 = 50805 \text{ грн.}$$

Планова вартість виробленої вітроустановкою електроенергії буде рівна

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

де $E_{\text{ел}}$ – обсяг електроенергії, що виробляється вітроустановкою, кВт·год./рік;
 $C_{\text{ел}}$ – поточна ціна 1 кВт·год. електричної енергії, грн.; k – коефіцієнт використання виробленої електроенергії.

Отже, отримаємо вартість виробленої вітроустановкою електроенергії

$$B_{\text{ел}} = 6132 \cdot 10,16 \cdot 0,5 = 31150 \text{ грн.}$$

Термін окупності стандартної вітроустановки розраховується як

$$T_{\text{ок}} = \frac{B_{\text{веу}}}{B_{\text{ел}}}, \quad (5.5)$$

де $B_{\text{веу}}$ – вартість стандартної вітроелектричної установки, грн.

Тобто, для стандартної вітроустановки отримаємо

$$T_{\text{ок}} = \frac{194600}{31150} = 6,25 \text{ років.}$$

Аналогічно визначаємо термін окупності для удосконаленої вітроустановки

$$T_{\text{ок}} = \frac{194600 - 50805}{31150} = 4,62 \text{ роки.}$$

Розрахунки показують, що термін окупності стандартної вітроелектричної установки за нинішніх цін на електричну енергію становить 6,25 років, тоді як для удосконаленої конструкції він зменшується до 4,62 роки, що підтверджує доцільність проведених технічних змін. З врахуванням того, що вітроустановка має плановий термін експлуатації близько 15 років, то отриманий результат є більш як добрий.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Аналіз виробничої діяльності досліджуваного підприємства засвідчив його багатогалузевість та універсальність. Проектоване переробне підприємство має певні ознаки довершеного об'єкта. Однак, відповідно до системи енергозабезпечення, обсягів споживання енергетичних ресурсів виникає потреба у підвищенні рівня надійності енергопостачання. Перспективним варіантом є використання обладнання відновлюваної енергетики.

На основі оцінки наявного фонду електрообладнання та режиму його використання визначено потребу в електроенергії. Зокрема, визначено витрату електроенергії для потреб технологічного процесу та системи освітлення. Для оцінки можливості реалізації системи електропостачання на базі вітроелектричної установки виконано оцінку наявного енергетичного ресурсу на різних висотах з використанням відкритих інтернет-ресурсів. Результати дослідження енергетичного потенціалу вітрового потоку в регіоні дослідження засвідчили його значний рівень, що позитивно відобразиться на ефективності застосування вітроелектричної установки.

Зважаючи на обсяги споживання електроенергії запропоновано на першому етапі обмежитися електрозабезпеченням від вітроелектричної установки лише систему освітлення.

Для зазначеної виробничої потреби визначено параметри вітроелектричної установки. Зокрема, рекомендовано застосувати вітроелектричну установку потужністю 2 кВт. В річному циклі роботи вона забезпечить виробництво необхідного обсягу електроенергії.

Зважаючи на постійно змінну швидкість вітру виникає потреба у стабілізації частоти обертання вала електрогенератора, який здійснює перетворення механічної роботи в електричну. Як варіант удосконалення вибрано встановлення дискового фрикційного варіатора, який характеризується низкою позитивних ефектів. Серед них основні: змінне передавальне число; можливість застосування електрогенератора з більшою номінальною кількістю обертів; зниження

механічного навантаження на електротехнічну частину вітроустановки; збільшений ресурс роботи тощо. Для запропонованої конструкції виконано відповідні конструктивні розрахунки.

Особлива увага на підприємствах, зазвичай приділяється питанням охорони праці. В даній роботі розглянуто особливості захисту персоналу від травматизму при експлуатації вітроелектричної установки, розроблено заходи захисту від ураження електрострумом, а також розглянуто питання захисту довкілля.

На основі розрахунку вартісних показників вітроелектричних установок стандартного та удосконаленого варіантів виявлено, що внесення зміни у конструкцію матиме добрий економічний ефект. Зокрема, термін окупності капіталовкладень у встановлення вітроелектричної установки знизився до 4,62 роки, відносно стандартного варіанта, який мав би окупитися за 6,25 років. Такі показники терміну окупності за умови роботоздатності вітроелектричної установки впродовж принаймні 15 років, свідчать про високу ефективність їх застосування в умовах досліджуваного підприємства.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Flaga A. Silownie Wiatrowe. Krakow : Wydawnictwo PK, 2012. 402 s.
2. Lubośny Z. Elektrownie wiatrowe w systemie elektroenergetycznym. Warszawa : Wydawnictwo WNT, 2006. 277 s.
3. Lubośny Z. Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym. Warszawa : Wydawnictwo WNT, 2013. 348 s.
4. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. Електронний ресурс: <https://power.larc.nasa.gov/>.
5. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: Навч. посіб. Львів : "Магнолія 2006", 2008. 88 с.
6. Злобін Ю. А. Основи екології. Київ : Лібра, 1998. 248 с.
7. Кінаш Р., Бурнаєв О. Вітрове навантаження і вітроенергетичні ресурси в Україні. Львів : Видавництво науково-технічної літератури, 1998. 1152 с.
8. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. Київ : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
9. Півняк Г., Шкрабець Ф., Нойбергер Н., Ципленков Д. Основи вітроенергетики: підручник. Донецьк : НГУ, 2015. 335 с.
10. Сегеда М. С., Олійник М. Й., Дудурич О. Б. Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії. Навч. посіб. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2019. 204 с.
11. Сиротюк С. В., Станицький Т. О. Розрахунок параметрів вітроелектричних установок. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти з дисципліни "Вітроенергетика". Дубляни, 2023. 20 с.
12. Сиротюк С. В., Боярчук В. М., Гальчак В. П. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру. Львів : "Магнолія 2006", 2017. 182 с.

- 13.Сиротюк С. В., Боярчук В. М., Гальчак В. П. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру. Львів : "Магнолія 2006", 2017. 182 с.
- 14.Сиротюк С. В., Станицький Т. О. Дослідження енергетичного потенціалу вітрового потоку. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти з дисципліни "Потенціал відновлюваних джерел енергії". Дубляни, 2023. 20 с.
- 15.Сиротюк С. В., Станицький Т. О. Дослідження параметрів вітрового потоку. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти з дисципліни "Потенціал відновлюваних джерел енергії". Дубляни, 2023. 16 с.
- 16.Сиротюк С. В., Станицький Т. О. Дослідження структури та вертикального профілю вітрового потоку за даними метеоспостережень. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти з дисципліни "Потенціал відновлюваних джерел енергії". Дубляни, 2023. 16 с.
- 17.Чумакевич В. О., Ципляр Я. С., Кудьменко Р. В. Автономні джерела живлення: Навчальний посібник. Львів: АСВ, 2012. 345 с.