

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

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Рівень вищої освіти – перший "бакалаврський" рівень

на тему: „ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ФЕРМЕРСЬКОГО  
ГОСПОДАРСТВА З УДОСКОНАЛЕННЯМ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ  
УСТАНОВКИ”

Виконав: студент 4 курсу групи Ен-41  
спеціальності 141 „Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка”  
(шифр і назва)

Било Володимир Романович  
(Прізвище та ініціали)

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

Рецензенти: к.т.н., доцент Левонюк В.Р.  
(Прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

**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  
Било Володимиру Романовичу

1. Тема роботи: „ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА З УДОСКОНАЛЕННЯМ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ”

Керівник роботи: Сиротюк Сергій Валерійович, к.т.н., доцент  
Затверджена наказом по університету від 27.11.2023 року № 641/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 10.06.2024 року.

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

4. Перелік питань, які необхідно розробити

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

4.2. Технологічна частина.

4.3. Спеціальна частина.

4.4. Охорона праці та довкілля.

4.5. Економічна ефективність роботи.

Висновки і пропозиції.

Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Ілюстративний матеріал 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: 27.11.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Характеристика досліджуваного об'єкту та регіону його розташування	27.11.2023 – 31.12.2023	
2	Технологічна частина	1.02.2024 – 5.03.2024	
3	Спеціальна частина	6.03.2024 – 14.04.2024	
4	Охорона праці та довкілля	15.04.2024 – 10.05.2024	
5	Економічна ефективність роботи	11.05.2024 – 23.05.2024	
6	Загальне оформлення роботи	24.05.2024 – 31.05.2024	
7	Підготовка до захисту кваліфікаційної роботи	01.06.2024 – 10.06.2024	

Студент \_\_\_\_\_ Біло В. Р.  
(підпис)

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

## УДК 631.3

Било В. Р. "Електропостачання фермерського господарства з удосконаленням вітроелектричної установки". Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 46 с. текстової частини, 4 таблиці, 5 рисунків, 17 джерел посилання.

**Метою** кваліфікаційної роботи є розробка проектних рішень із електропостачання фермерського господарства за рахунок використання вітроелектричної установки.

Для досягнення поставленої мети, необхідно виконати такі **завдання**: виконати аналіз рівня споживання електроенергії; розрахувати енергетичний потенціал вітрового потоку; підібрати параметри вітроелектричної установки; виконати удосконалення конструкції вітроустановки; розрахувати техніко-економічні показники.

Розглянуто загальну характеристику господарства. На підставі технологічного розрахунку розраховано рівень споживання електроенергії. Проаналізовано природний потенціал енергії вітрового потоку. Підібрано розміри вітроелектричної установки, яка забезпечить виробництво заданого рівня електроенергії. Удосконалено конструкцію вітроелектричної установки встановленням тихохідного електрогенератора, для якого виконано конструктивний, кінематичний, енергетичний та міцнісний розрахунки. Розглянуто питання охорони праці та довкілля. Проведено розрахунок терміну окупності капіталовкладень.

**Ключові слова:** система електрозабезпечення, вітроелектрична установка, тихохідний електрогенератор.

## ЗМІСТ

	Стор.
<b>ВСТУП</b>	6
<b>1 ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОГО ОБ'ЄКТУ ТА РЕГІОНУ ЙОГО РОЗТАШУВАННЯ</b>	7
1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта	7
1.2 Характеристика джерел енергозабезпечення	8
1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи	9
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	11
2.1 Визначення витрати електроенергії на потреби технологічного та побутового обладнання	11
2.2 Визначення витрати електроенергії на потреби освітлення	12
2.3 Визначення сумарної кількості електроенергії для потреб об'єкта	15
2.4 Дослідження енергетичного потенціалу вітру в регіоні	16
2.5 Розрахунок параметрів електричної мережі	19
2.6 Розрахунок системи акумулювання електричної енергії	20
<b>3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА</b>	23
3.1 Загальні відомості	23
3.2 Обґрунтування розроблюваної конструкції	24
3.3 Енергетичний та конструктивний розрахунки машини, вузла	27
<b>4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ</b>	34
4.1 Структурно-функціональний аналіз технологічного процесу	34
4.2 Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій стосовно безпечного перебігу виробничого процесу	35
4.3 Охорона довкілля	38
<b>5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ</b>	41
<b>ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ</b>	43
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ</b>	45

## ВСТУП

Однією із найбільш важливих галузей народного господарства є галузь сільськогосподарського виробництва. Сільськогосподарське виробництво має за основну свою функцію виробництво сировини для харчової та інших галузей промисловості. Стосовно сировини, що призначена для виробництва продуктів харчування, то якісні та кількісні характеристики визначаються технологією виробництва та наявними технічними засобами.

В плані забезпеченості технологічної структури сільськогосподарських підприємств питання енерго- та ресурсозабезпечення повинно бути приділено значну увагу. Від правильного та якісного вирішення цього питання значною мірою залежить і якість виробленої продукції. Здебільшого це стосується стаціонарних технологічних процесів, які відбуваються в закритих і пристосованих приміщеннях.

Серед процесів ресурсо- та енергозабезпечення, в першу чергу, можна виділити систему електропостачання підприємства, як одна з головних. Одним із напрямків підвищення рівня енергозабезпечення віддалених об'єктів є застосування автономних або напівавтономних систем, що базуються на використанні поновлюваних джерел енергії.

Зокрема в даній роботі пропонується для часткового енергозабезпечення фермерського сільськогосподарського підприємства використати енергію вітрового потоку, зокрема удосконалену вітроелектричну установку.

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ

## 1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта

Фермерське господарство "Вербиченька" розташоване у Буському районі Львівської області. Господарство має вигідне розташування по відношенню до районного центру м. Буськ, історико-культурного містечка Олесько та обласного центру м. Львова.

Метою діяльності ФГ, як і будь-якого іншого підприємства є одержання прибутку, який формується виробничою, комерційною та посередницькою діяльністю, наданням послуг населенню та іншим підприємствам, здійснення іншої діяльності відповідно до чинного законодавства та Статуту господарства.

Предметом діяльності фермерського господарства виробництво сільськогосподарської продукції, переробка та реалізація сільськогосподарської продукції; оптова та роздрібна торгівля; заготівля, зберігання та переробка сільськогосподарської продукції тощо.

Територія господарства знаходиться в межах Малого Полісся. Цей район характеризується помірно-континентальним кліматом Цьому клімату характерні помірне річне коливання температури повітря, доволі швидка зміна погодних умов, м'яка та майже безсніжна зима, відносно тепле та вологе літо. Весна триває три місяці. Останні приморозки закінчуються в третій декаді квітня. Середньомісячна температура літа становить +20 °С. Протягом літа випадає 200-250мм опадів. Осінь по календарних строках триває три місяці, але вже в кінці жовтня на початку листопада можливі снігові опади. Приморозки починаються з третьої декади вересня -1-3 °С. Кількість опадів становить 150-200мм. Середньорічна температура повітря в

зоні розташування господарства складає +8.2 °С. Тривалість безморозного періоду 110-120 днів, вегетаційного 120-130 днів. Сума активних температур становить 600-1000 °С, ефективних – 500-700 °С. Середньорічна кількість опадів 744мм, причому найбільша їх кількість припадає на весняно-літній період. Загалом кліматичні умови сприятливі для ведення сільськогосподарської діяльності.

Найбільш поширеними у господарстві є темно-сірі, чорноземи, опідзолені і сірі опідзолені ґрунти. Ці ґрунти найбільш придатні для використання і вирощування зернових культур, цукрових буряків, картоплі і овочів.

Головною метою діяльності ФГ "Вербиченька" є виробництво товарної продукції. Для цього необхідно знати спеціалізацію господарства. Спеціалізація - це переважаючий вміст однієї або кількох виробничих галузей у структурі товарної продукції підприємства. Спеціалізація супроводжується збільшенням використання засобів та робочої сили за окремими видами товарної продукції, які впливають з особливостей, в тому числі й, природних і економічних умов. Виробничий напрямок досліджуваного господарства є скотарсько-м'ясний із розвинутим зерновим господарством. Досліджуване господарство спеціалізується на виробництві м'яса ВРХ та іншої продукції тваринництва, до якої відносять гній, поросят. В структурі товарної продукції вони становлять відповідно 44,5% та 41,2%.

## **1.2 Характеристика джерел енергозабезпечення**

Енерго- та ресурсозабезпечення господарства має наступну структуру. Основним джерелом енергії є електроенергія, яка подається по повітряній



лінії електропередач довжиною 2,1 км з влаштуванням понижувальної підстанції потужністю 100 кВт.

Система опалення в адміністративному корпусі побудована на базі твердопаливного котла, потужністю 18 кВт. Система гарячого водопостачання відсутня.

В тваринницьких приміщеннях система теплопостачання також побудована на базі твердопаливного котла, але з потужністю 200 кВт. Система гарячого водопостачання інтегрована в систему опалення і є боковою гілкою даної системи. Накопичення теплоти для системи гарячого водопостачання здійснюється у баку-акумуляторі з одним теплообмінником об'ємом 400 л.

Водопостачання на підприємстві внутрішньогосподарське. Воно організоване за принципом індивідуального водогону, який має довжину від місця водозабору до накопичувального бака понад 650 м. По території господарства прокладена внутрішня водопровідна мережа з поліетиленової труби типу ПЕ80 діаметром 32 мм. Загальна довжина внутрішнього водогону становить 1120 м.

Водовідведення здійснюється у індивідуальний септик місткістю 24 м<sup>3</sup>.

### **1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи**

Аналіз системи енерго- та ресурсозабезпечення господарства показав, що тут є доволі жорсткі умови використання ресурсів. Одним із основних питань, яке стоїть перед керівництвом є підвищення рівня надійності енергозабезпечення. Це викликано тим, що електрична енергія є єдиним основним енергетичним ресурсом, який впливає на життєдіяльність підприємства. Серйозною проблемою в цьому плані є приєднання до

сільської лінії електропередач, яка характеризується значною нерівномірністю за рівнем напруги та низькою надійністю в плані безперебійності постачання.

Відповідно до цього, для покращення рівня електропостачання, а відповідно і енергозабезпечення загалом, необхідним є пошук альтернативних або доповнюючих засобів генерування електроенергії. Застосування дизель-генератора, який вмикається в періоди, коли відсутня електроенергія в зовнішній мережі виправдане лише частково. До цього ж цей варіант є доволі дорогим, що відповідно впливає на собівартість виробленої продукції.

Одним із варіантів вирішення питання електропостачання господарства є застосування засобів відновлюваної енергетики, зокрема вітроелектричної установки відповідної потужності.

Для ефективної роботи вітроелектричної установки необхідним є досконале узгодження характеристик всіх складових установки. Одне з визначальних місць належить електрогенератору. Тому в даній роботі буде розглядатись питання обґрунтування раціональних параметрів тихохідного електрогенератора для вітроустановки.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Визначення витрати електроенергії на потреби технологічного та побутового обладнання

Добова витрата електроенергії на потреби технологічного та побутового обладнання  $E_m$  визначається за формулою:

$$E_{mo} = N_o \cdot t_o \cdot n_o, \quad (2.1)$$

де  $N_o$  – електрична потужність пристрою, кВт;  $t_o$  - тривалість циклу включення пристрою, год.;  $n_o$  - кількість одиниць приладів, шт.

Так, для обладнання адміністративного корпусу витрата електроенергії буде становити

$$E_{od} = 3,7 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 1 = 22,2 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Сумарну добову витрату електроенергії на потреби технологічного та побутового обладнання  $E_{m\delta}$  визначається за формулою:

$$E_{mo}^{\delta} = \sum_{i=1}^{n_m} N_i \cdot t_i \cdot n_i, \quad (2.2)$$

Результати розрахунку витрати електроенергії для технологічного та побутового обладнання подано в табл. 2.1.

Отже,

$$E_{mo}^{\delta} = 22,2 + 50,4 + 26 + 101,4 + 25,2 + 68,4 = 293,6 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Річна витрата електроенергії на потреби технологічного та побутового обладнання визначається як

$$E_{mo}^p = \sum_{i=1}^{n_m} E_{mo}^{\delta} \cdot n_p, \quad (2.3)$$

де  $n_m$  – кількість робочих днів в місяці, днів.

Отже, отримаємо

$$E_{mo}^p = 22,2 \cdot 240 + 50,4 \cdot 365 + 26 \cdot 365 + 101,4 \cdot 365 + 25,2 \cdot 240 + 68,4 \cdot 240 = 92689 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Таблиця 2.1 – Споживачі електроенергії та потреба в електроенергії для їх живлення

Показник	Потужність, кВт	Тривалість включень, год.	Витрата електроенергії, кВт·год.
Обладнання адміністративного корпусу	3,7	6	22,2
Обладнання системи водопостачання	4,2	12	50,4
Обладнання тваринницького приміщення	6,5	4	26
Обладнання кормового цеху	15,6	6,5	101,4
Обладнання машинного двору	4,2	6	25,2
Обладнання ремонтної майстерні	11,4	6	68,4
ВСЬОГО	-	-	293,6

## 2.2 Визначення витрати електроенергії на потреби освітлення

2.2.1. Визначення витрати електроенергії на потреби основного освітлення

Витрата електроенергії на потреби освітлення можна визначити за наявною кількістю освітлювальних приладів, які є змонтовані у виробничих та побутових приміщеннях. З метою уніфікації освітлювальних приладів всі приміщення були поділені на дві групи. До першої групи віднесені виробничі, тваринницькі і кормові приміщення. В приміщеннях цієї групи змонтовано 86 світильників з номінальною потужністю 36 Вт. До другої групи віднесено побутові та офісні приміщення. В них змонтовано 24 світильників з потужністю 18 Вт.

Визначимо потужність системи освітлення за формулою

$$N = \sum K_l \cdot P_l, \quad (2.4)$$

де  $K_l$  – кількість ламп одного виду, шт.;  $P_l$  – потужність лампи одного виду, Вт.

Отже,

$$N_{on} = 86 \cdot 36 + 24 \cdot 18 = 3528 \text{ Вт.}$$

Таблиця 2.2 – Розрахунок кількості ламп для освітлення приміщень за групами приміщень

Група приміщень	Кількість ламп, шт.	Потужність лампи, Вт	Сумарна потужність, Вт
1 група	86	36	3096
2 група	24	18	432

При роботі системи освітлення протягом необхідного виробничого періоду годин на добу можна визначити добову і річну потребу в електроенергії для її живлення за формулою

$$E_{oc}^{\partial} = \sum N_{oc} \cdot T_{oc}, \quad (2.5)$$

де  $N_{oc}$  – потужність системи основного освітлення приміщення, кВт;  $T_{oc}$  – тривалість роботи системи основного освітлення, год;

$$E_{oc}^p = \sum N_{oc} \cdot T_{oc} \cdot n_p. \quad (2.6)$$

Таким чином, отримаємо

$$E_{oc}^{\partial} = 3,096 \cdot 10 + 0,432 \cdot 8 = 34,42 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

$$E_{oc}^p = 34,416 \cdot 240 = 8259,84 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

2.2.2. Визначення витрати електроенергії на потреби охоронного та аварійного освітлення

Розрахунок параметрів охоронного та аварійного освітлення можна провести за спрощеною методикою, яка зводиться до наступного:

1) згідно норм електричного освітлення залежно від призначення приміщення знаходять питому потужність у Вт/м<sup>2</sup>; визначають потужність освітлювальної установки за формулою

$$N_{oy} = N_{nut} \cdot S_n, \quad (2.7)$$

де  $N_{nut}$  – питома потужність електричної освітленості, Вт/м<sup>2</sup>;  $S_n$  – площа підлоги, м<sup>2</sup>.

Тобто

$$N_{oy} = 0,5 \cdot 864 = 432 \text{ Вт.}$$

2) визначають кількість ламп за формулою:

$$n_l = \frac{N_{oy}}{P_l}, \quad (2.8)$$

де  $P_l$  – потужність вибраної лампи, Вт.

Отже кількість ламп, необхідних для аварійного та охоронного освітлення підприємства буде

$$n_l = \frac{432}{9} = 48.$$

Приймаємо для освітлення 48 ламп потужністю 9 Вт з світловим потоком 450 лм.

За формулами (2.7) і (2.8) визначаємо добову та річну потребу в електроенергії для живлення охоронної та аварійної освітлювальної системи.

Таким чином, отримаємо

$$E_{aoc}^o = 0,432 \cdot 10 = 4,32 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

$$E_{aoc}^p = 0,432 \cdot 10 \cdot 365 = 1576,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

2.2.3 Визначення витрати електроенергії на потреби вуличного освітлення

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

Отже,

потужність освітлювальної установки

$$N_{\text{во}} = 0,25 \cdot 1430 = 357,5 \text{ Вт};$$

кількість ламп

$$n_{\text{лво}} = \frac{357,5}{38} = 9,41.$$

Приймаємо для освітлення 10 ламп типу КР-001 потужністю 38 Вт з світловим потоком 2300 лм.

Добова та річна потреба в електроенергії для зовнішньої освітлювальної системи

$$E_{\text{во}}^{\text{д}} = 0,38 \cdot 10 = 3,8 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

$$E_{\text{во}}^{\text{р}} = 3,8 \cdot 365 = 1387 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

2.2.4 Визначення сумарної витрати електроенергії на потреби освітлення

Таким чином можна визначити сумарну добову, місячну та річну потребу в електроенергії для освітлення адміністративного корпусу за формулою

$$E_o^{\text{д}} = E_{\text{ос}}^{\text{д}} + E_{\text{аос}}^{\text{д}} + E_{\text{во}}^{\text{д}}, \quad (2.9)$$

$$E_o^{\text{р}} = E_{\text{ос}}^{\text{р}} + E_{\text{аос}}^{\text{р}} + E_{\text{во}}^{\text{р}}. \quad (2.10)$$

Отже, отримаємо

$$E_o^{\text{д}} = 34,42 + 4,32 + 3,8 = 42,54 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

$$E_o^{\text{р}} = 8259,84 + 1576,8 + 1387 = 11223,64 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

**2.3 Визначення сумарної кількості електроенергії для потреб об'єкта**

Сумарну кількість електроенергії, яку необхідно постачати до досліджуваного об'єкта можна визначити яку суму всіх потреб, тобто

$$\sum E_{\partial} = E_{mo}^{\partial} + E_o^{\partial}. \quad (2.11)$$

Аналогічним чином визначимо місячну та річну потребу в електроенергії для досліджуваного об'єкта

$$\sum E_p = E_{mo}^p + E_o^p. \quad (2.12)$$

Отже, для січневого місяця добова витрата електроенергії буде становити

$$\sum E_{\partial} = 293,6 + 42,5 = 336,1 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Річна витрата буде визначатись як

$$\sum E_p = 92689 + 11223,6 = 103912,6 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

## 2.4 Дослідження енергетичного потенціалу вітру в регіоні

Для оцінки енергетичних потоків вітру з різних напрямків можна проаналізувати дані отримані з метеорологічної станції в м. Олесько, що знаходиться на відстані 6 км від центральної садиби підприємства, зокрема, середні швидкості вітру по місяцях календарного року (рис. 2.1) [2].

Значення енергії для кожного місяця розраховується за формулою

$$W_j = 0,61 \cdot F \cdot v_{\partial}^3 \cdot T_j, \quad (2.13)$$

де  $F$  – площа, перпендикулярна до напрямку вітру,  $m^2$ ;  $v_{\partial}$  – діюче значення швидкості вітру,  $m/s$ ;  $T_j$  – період часу протягом  $j$ -го місяця, днів.

Діюча швидкість вітру ( $v_{\partial}$ ) може бути знайдена на основі середньої швидкості за відповідними румбами з використанням даних відносно розподілу швидкостей вітру в часі, зафіксованих на метеостанції або з невеликою похибкою на основі кривих розподілу швидкостей вітру за Поморцевим [3].



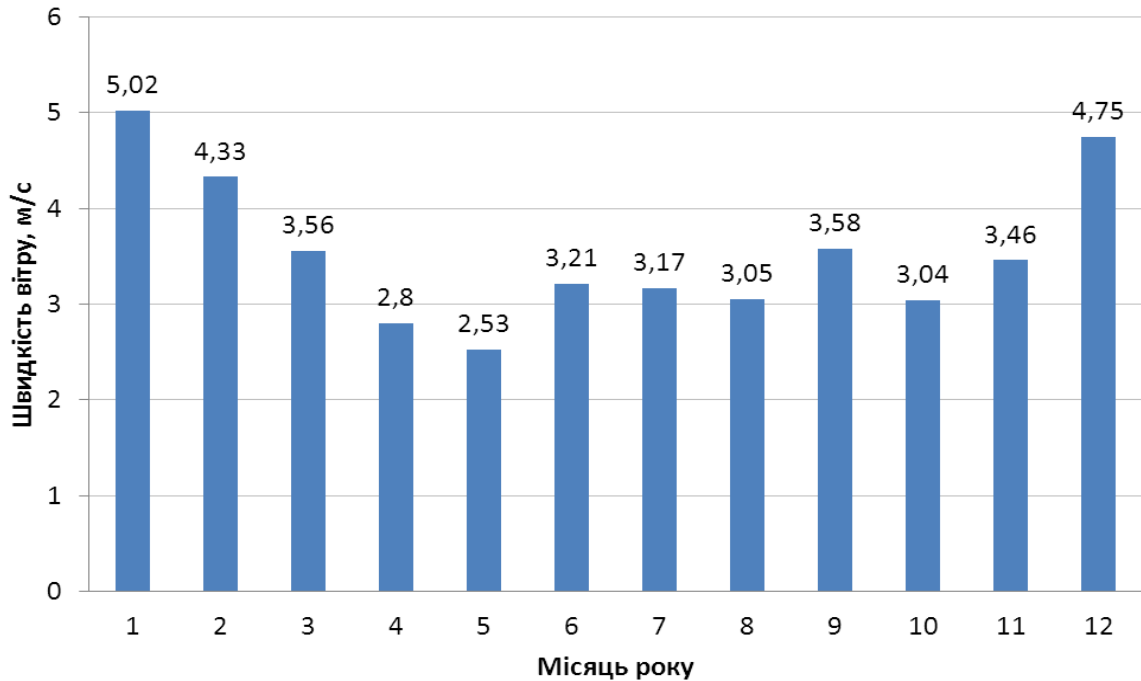


Рисунок 2.1 – Середнє значення швидкості за місяцями року

З використанням цих кривих можна визначити залежність середньокубічних швидкостей вітру для ряду середніх їх значень на основі формули

$$v_o = \sqrt[3]{\frac{\sum v_i^3 \cdot t_i}{\sum t_i}}, \quad (2.14)$$

де  $v_i$  – швидкості вітру протягом періоду часу  $t_i$ , м/с.

В результаті розрахунків одержано можливість представити з достатньою точністю (близько 1%) залежність між діючими значеннями швидкостей вітру  $v_o$  та їх середніми значеннями  $v_c$  у вигляді емпіричної лінійної функції

$$v_o = 0,638 + 1,082 \cdot v_c. \quad (2.15)$$

Отже, для січня місяця отримаємо

$$W_j = 0,61 \cdot 1 \cdot 6,07^3 \cdot 24 \cdot 31 \cdot 10^{-3} = 57,41 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

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

$$W = \sum_{i=1}^{12} W_j. \quad (2.16)$$

Тобто, річний обсяг надходження енергії буде рівний

$$W = 57,41 + 34,17 + 20,48 + 9,64 + 7,35 + 14,53 + 14,46 + 12,88 + \\ + 20,15 + 12,75 + 18,19 + 47,07 = 269,38 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Результати розрахунків помісячного енергетичного потенціалу вітрового потоку подано в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахункові значення вітрового енергетичного потенціалу в регіоні (для сприймаючої поверхні 1 м<sup>2</sup>)

Місяць року	Середня швидкість вітру, м/с	Діюче значення швидкості вітру, м/с	Кількість днів в місяці	Енергія вітру за місяць, кВт·год
1	5,02	6,07	31	57,41
2	4,33	5,32	29	34,47
3	3,56	4,49	31	20,48
4	2,8	3,67	30	9,64
5	2,53	3,38	31	7,35
6	3,21	4,11	30	14,53
7	3,17	4,07	31	14,46
8	3,05	3,94	31	12,88
9	3,58	4,51	30	20,15
10	3,04	3,93	31	12,75
11	3,46	4,38	30	18,19
12	4,75	5,78	30	47,07
Разом	3,54	4,47	365	269,38

Таким чином, отримане значення кількості виробленої енергії у розмірі 269,38 кВт·год з одного квадратного метра площі вітроколеса може бути використане для визначення габаритної потужності вітроустановки для електрозабезпечення досліджуваного господарства.

## 2.5 Розрахунок параметрів електричної мережі

Проектування зовнішньої електричної мережі зводиться до розрахунку величини струму на кожній ділянці мережі відповідно до її схеми, визначення типу, кількості і перетину електричних провідників, вибору типорозмірів пускової і захисної апаратури та режимів настройки. Для прикладу проведемо розрахунок електромережі по лінії живлення електрообладнання кормоцеху, активна потужність якого становить 15,6 кВт.

Для трифазних споживачів активної електричної енергії величину струму визначають за формулою

$$I = \frac{P_c}{\sqrt{3} \cdot U_\phi}, \quad (2.17)$$

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

Тоді, для живлення системи охоронного освітлення від трифазної мережі

$$I = \frac{15600}{\sqrt{3} \cdot 380} = 23,7 \text{ А.}$$

Величину поперечного перетину електричних провідників  $S_{np}$  визначаємо за величиною номінального струму у фазних і нульових провідниках на підставі допустимої щільності струму для певних матеріалів провідника і способу прокладки за формулою

$$S_{np} = \frac{I_n}{I_\phi}, \quad (2.18)$$

де  $I_\phi$  – допустима щільність струму, А/мм<sup>2</sup>.

$$S_{np} = \frac{23,7}{3,5} = 6,77 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо поперечний переріз проводу рівним 10 мм<sup>2</sup>.

Значення перетину проводів вибирають з типорозмірного ряду проводів, виходячи з значення, визначеного за формулою (2.18).

Крім того, необхідно визначити спадок напруги у мережі для кожного споживача, сумуючи значення спадків напруги  $\Delta U_i$  на окремих ділянках мережі, визначених за формулою

$$\Delta U_i = I_i \cdot R_i, \quad (2.19)$$

де  $I_i$  – величина струму на ділянці електричної мережі, А;  $R_i$  – опір провідника на ділянці електричної мережі, Ом.

Тоді, спадок напруги у мережі буде рівним

$$\Delta U_i = 23,7 \cdot 0,36 = 8,53 \text{ В}$$

Опір провідника на ділянці мережі визначають як

$$R_i = \frac{\rho \cdot l_i}{S_{np}}, \quad (2.20)$$

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

$$R_i = \frac{0,145 \cdot 25}{10} = 0,36 \text{ Ом.}$$

Розрахунок силової електромережі здійснюється для її кожної ділянки з врахуванням навантаження та довжини лінії на цій ділянці.

## 2.6 Розрахунок системи акумулювання електричної енергії

Для акумулювання енергії, яка буде вироблятися від вітроелектричної установки за умови, що період її роботи не завжди буде співпадати з періодом використання виробленої енергії необхідним є встановлення блоку акумуляторних батарей з ємністю, яка визначатиметься тривалістю роботи системи електропостачання та її споживаною потужністю.

Таким чином, за основу для розрахунків візьмемо за мету забезпечити електроенергією всі види освітлення, і у випадку отримання надлишку електроенергії, то подавати її на деякі технологічні потреби.

Згідно розрахунків, виконаних у п. 2.4, для зазначених технологічних потреб корпусу на добу необхідно 42,54 кВт·год., на рік потреба складатиме 11223,6 кВт·год. Сумарна потужність зазначених споживачів становитиме у енергоощадному режимі споживання 4,318 кВт.

Визначимо струми, які будуть протікати в електромережі живлення досліджуваних споживачів

$$I = \frac{P_c}{\sqrt{3} \cdot U_{\phi}}, \quad (2.21)$$

де  $U_{\phi}$  – напруга на блоці акумуляторних батарей, В.

Отже,

$$I = \frac{4318}{\sqrt{3} \cdot 380} = 6,56 \text{ А.}$$

Тоді можна визначити кількість акумуляторних батарей за формулою

$$N_{аб} = \frac{T_{\partial} \cdot I_p \cdot T_z}{E_{аб} \cdot \eta_{\phi} \cdot k_p}, \quad (2.22)$$

де  $T_{\partial}$  – добовий період споживання електроенергії споживачами, год.;  $I_p$  – допустимі струми розрядки акумуляторної батареї, А;  $T_z$  – період гарантованого електрозабезпечення від акумуляторної батареї, днів;  $E_{аб}$  – ємність акумуляторної батареї, А·год.;  $\eta_{\phi}$  – к.к.д. акумуляторної батареї;  $k_p$  – коефіцієнт глибини розряду.

Зважаючи на розробку системи з мінімальною вартістю, приймемо період резервування електроенергії 2 дні.

Отже, отримаємо

$$N_{аб} = \frac{10 \cdot 6,56 \cdot 2}{230 \cdot 0,8 \cdot 0,6} = 1,19 \text{ шт.}$$

Тобто для означених потреб достатнім буде застосувати 1 акумулятор з ємністю 230 А·год. Оскільки, система генерування і акумуляування електроенергії буде побудована на напрузі 220 В, то необхідним є встановлення 18 акумуляторів в паралель. Таким чином, загальна кількість акумуляторних батарей буде становити 18 шт.

Така велика кількість акумуляторних батарей дозволить уникнути відсутності освітленості всіх виробничих та офісних приміщень. Більше того, дводобове резервування дозволить вийти із небезпечної ситуації відсутності електропостачання з зовнішньої електромережі. Таким чином, застосування системи акумуляції дозволить вирішити декілька важливих технологічних завдань одночасно. Стосовно напруги, яка повинна бути на акумуляторній батареї, то високу напругу застосовано з метою мінімізації втрат енергії при перетворенні напруги постійного струму в змінний.

## 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 3.1 Загальні відомості

На малих сільськогосподарських підприємствах, є багато високоенергетичних процесів. Всі вони вимагають забезпечення якісною електроенергією. Через це варіант можливого використання тільки вітроелектричної установки не може бути визнаний раціональним. Як варіант можливо розглядати питання про можливість її використання для енергозабезпечення загальногосподарських потреб. До них відносяться, зокрема системи: водопостачання, вентиляції, кондиціонування, освітлення тощо. Можемо розглянути потенційну можливість використання вітроелектричної установки для електропостачання системи освітлення. Дана система не вимагає таких жорстких вимог щодо надійності та якості енергії, як інші системи.

Слід зазначити, що в даному випадку існує суттєве не співвідношення у стабільності як виробництва електроенергії вітроелектричною установкою, так і споживання електроенергії системою освітлення. Для згладжування цієї диспропорції необхідним є застосування системи акумуляції енергії. Встановлення додаткової до основної генерувальної системи акумуляційної системи буде потребувати наявності перетворення напруги постійного струму певного рівня у напругу змінного струму промислового рівня.

Виходячи з цього, можна зробити наступний висновок. Вітроелектрична установка повинна мати стурктуру наступного виду: вітер – вітровий ротор – мультиплікатор - електрогенератор - регулятор вихідної напруги - акумуляторна батарея – гібридний інвертор – споживач електричної енергії. Кількість блоків акумуляторних батарей має бути такою,

щоб при послідовному їх з'єднанні можна було отримати напругу 220 В. Тобто необхідно буде використати 18 акумуляторів. Вони можуть бути під'єднані до системи вуличного освітлення безпосередньо. З врахуванням того, що дана система є високовольтна, то реконструкції кабельних мереж системи освітлення проводити не потрібно.

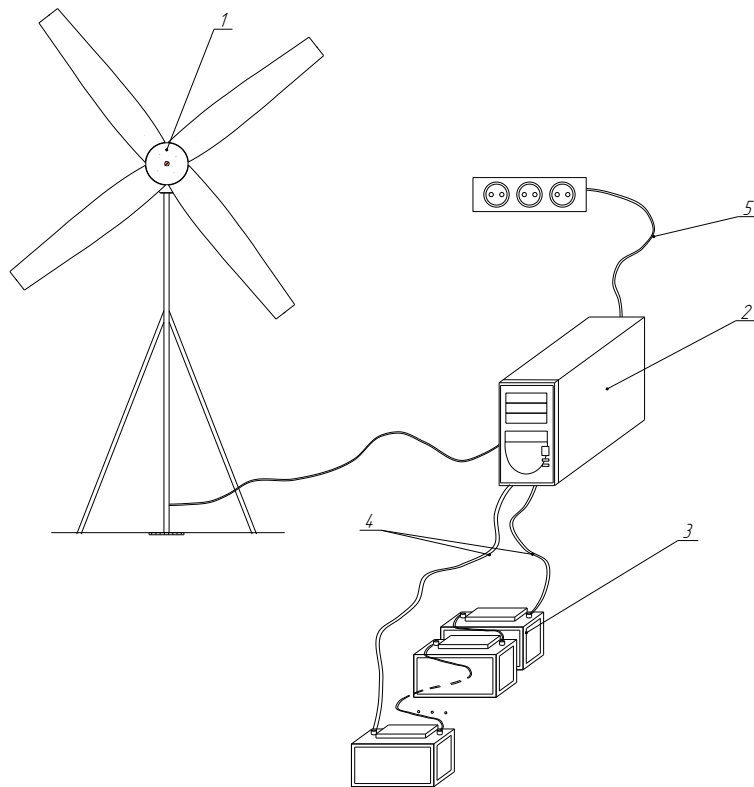


Рисунок 3.1 – Схема вітроелектричної установки:

1-вітроустановка; 2-блок управління (контролер заряду та інвертор);

3-акумулятори; 4-провідники; 5-споживачі енергії

### 3.2 Обґрунтування розроблюваної конструкції

Для обґрунтування параметрів вітроелектричної установки необхідно, насамперед, визначитися із типом вітрового ротора, який може бути розміщений вертикально та горизонтально. Тобто, це буде вітряк вертикально-осьовий, або горизонтально-осьовий.



Ефективна робота вітрового ротора горизонтально-осьового вітряка можлива лише тоді, коли вісь обертання співпадає з віссю дії вітрового потоку. Щоб забезпечити цю умову слід застосовувати вітряки із засобами орієнтації на вітер.

Отже, вітроустановки з горизонтальною віссю потребують додаткових засобів орієнтації за вітром, які можуть бути доволі складними і мати велику вартість. Тому, з точки зору мінімізації вартості вітроелектричної установки, а відповідно і мінімізувати затрати на її монтаж та експлуатацію, доцільним є застосування вітроустановок з вертикальною віссю.

Вітродвигун з вертикальною віссю обертання має просту конструкцію і високу надійність, не потребує засобів орієнтації його на вітер. Але швидкість обертання його ротора, на жаль, невелика (не перевищує декількох оборотів за секунду). Щоб використовувати такий вітродвигун для отримання електричної енергії без застосування мультиплікатора, потрібний низько оборотний багатополісний електричний генератор, вісь якого безпосередньо сполучена з віссю вітродвигуна, оскільки застосування редукторів, що підвищують частоту обертання, істотно зменшує к.к.д. вітроустановки, ускладнює її конструкцію, збільшує вартість і знижує надійність.

Більшу частка часу вітроустановки працюють на часткових режимах (зниженій потужності) внаслідок малої середньорічної швидкості вітру, яка за результатами багатьох досліджень є меншою від розрахункової у 5 - 8 разів. Беручи до уваги, що потужність вітрового потоку залежить у кубічній залежності від швидкості вітру, а електричні генератори при малих частотах обертання потребують значних магнітних потоків збудження, а відповідно і струмів збудження, то значна частка вироблюваної енергії тратиться на підмагнічування генератора.

Достатньо висока вихідна напруга може бути отримане при використанні багатополісного генератора на постійних магнітах. Для розрахунку параметрів і режимів роботи такого генератора приймемо наступні позначення:  $E$  – електрорушійна сила в котушці;  $E_0$  – амплітуда електрорушійна сила в котушці;  $E_{ген}$  – вихідна напруга генератора;  $n$  – кількість полюсів магніту;  $m$  – кількість котушок;  $W$  – кількість витків котушки;  $S$  – площа потокощеплення (площа полюса);  $B$  – магнітна індукція у зазорі між магнітом і сердечником котушки;  $B_0$  – амплітуда магнітної індукції в зазорі;  $\Phi$  – магнітний потік через сердечник котушки;  $\Phi_0$  – амплітуда магнітного потоку через сердечник котушки;  $\omega$  – кутова швидкість ротора генератора;  $f$  – частота обертання генератора;  $T$  – період обертання генератора;  $t$  – поточний час.

Низкооборотний багатополісний електричний генератор може бути побудований за схемою, показаною на рис. 3.2.

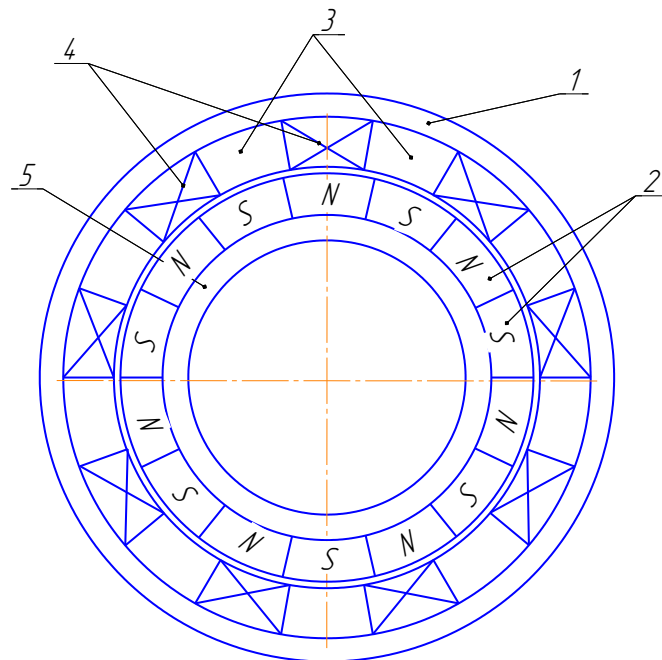


Рисунок 3.2 – Схема низькооборотного електричного генератора:

- 1 – основа статора (низьковуглецева сталь); 2 - постійний магніт (ротор);  
 3 – сердечники котушок (низьковуглецева сталь); 4 - обмотки котушок (мідний дріт в емалевій ізоляції); 5 - основа (низьковуглецева сталь)

Постійні магніти (2) кріпляться до сталеві основи ротора (1), здатного обертатися відносно нерухомого статора (5), також зробленого із сталі для зменшення магнітного опору. На статорі кріпляться шихтовані сталеві сердечники котушок (3) з обмотками (4). Кількість котушок  $m$  в даному випадку не рівне числу полюсів  $n$  ( $m = 36$   $n = 22$ ). Магнітна система може бути набраною з окремих призматичних магнітів (число магнітів рівне числу полюсів  $n$ ). Напряма намагніченості магніту аксіальний (паралельно/антипаралельно осі генератора).

### 3.3 Енергетичний та конструктивний розрахунки машини, вузла

#### 3.3.1 Габаритний розрахунок вітроустановки

Оскільки вітровий потік характеризується значною нерівномірністю надходження, що потребуватиме відповідної системи накопичення електроенергії, то з метою зниження вартості такої системи припускаємо використання її для виробництва електроенергії на найменш вибагливий вид технологічного процесу – зовнішнє освітлення. Згідно попередньо проведених розрахунків, на потреби системи освітлення господарства в річному балансі необхідно 11223,6 кВт·год електроенергії.

Визначимо нормативну потужність вітроелектричної установки, з врахуванням розміру вітрового ротора, який забезпечить виробництво запланованої кількості електроенергії, а саме її площу

$$S_{\text{вк}} = \frac{E_{\text{впр}}}{W_1 \cdot C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_e}, \quad (3.1)$$

де  $C_p$  - коефіцієнт використання енергії вітру;  $\eta_m$ ,  $\eta_e$  – коефіцієнти корисної дії передавального механізму і електрогенератора, відповідно.

Отже, отримаємо

$$S_{\text{вк}} = \frac{11223,6}{269,38 \cdot 0,35 \cdot 0,91} = 130,81 \text{ м}^2.$$

Для уникнення ситуація, коли одинична потужність вітроустановки буде перевищувати допустиме значення для сільськогосподарського класу, приймемо, що в нашому випадку будемо застосовувати дві вітрові установки. Тому, площа одиничної установки буде рівня  $65,41 \text{ м}^2$ .

З врахуванням специфіки побудови вертикально-осьових вітроустановок в геометричних розмірах визначається висота ротора (лопаті) та діаметр ротора (кола) по якому вони обертаються навколо нерухомого вала. Таким чином, площа охопленої поверхні вертикально-осьової вітроустановки буде рівна

$$S = D \cdot H, \quad (3.2)$$

де  $D$  – діаметр ротора, м;  $H$  – висота ротора, м.

З врахуванням того, що ротори в таких установках можуть бути багоярусними площа вітроустановки буде визначатись за формулою

$$S = D \cdot L \cdot n_p, \quad (3.3)$$

де  $n_p$  – кількість ярусів ротора, шт.

Прийнявши висоту лопаті рівною  $2,85$  м та кількість роторів рівною  $3$ , виходячи з формули (3.3) визначимо площу ротора вітроустановки

$$D = \frac{65,41}{3 \cdot 2,85} = 7,64 \text{ м.}$$

Номінальне значення потужності вітроустановки можна визначити за формулою

$$N_{\text{вк}} = \frac{H \cdot D \cdot v^3 \cdot \rho_n \cdot C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_e}{2}. \quad (3.4)$$

де  $v$  - швидкість вітрового потоку, м/с;  $\rho$  - щільність повітряних мас,  $\rho = 1,27 \text{ кг/м}^3$ .

Таким чином отримаємо

$$N_{\text{вк}} = \frac{8,55 \cdot 7,64 \cdot 8^3 \cdot 0,35 \cdot 0,91}{2} = 5326 \text{ Вт.}$$

Отже, сумарна номінальна потужність вітроустановок, які забезпечать генерування необхідної кількості електроенергії буде становити 10,65 кВт.

### 3.3.2 Кінематичний розрахунок вітроустановки

Для вітрового ротора вибраного типу вітряка параметр модульності  $\omega R/v$ , що відповідає максимуму коефіцієнту потужності складає 3, тоді кутова частота обертання вітрового ротора за швидкості вітру 8 м/с буде

$$\omega = \frac{v \cdot Z}{R}, \quad (3.5)$$

де  $Z$  – модульність вітрового ротора.

Тоді

$$\omega = \frac{8 \cdot 3}{3,82} = 6,28 \text{ рад/с.}$$

Крутильний момент на головному валу вітрового ротора визначається за формулою

$$M_{\text{вк}} = \frac{N_{\text{вк}}}{\omega}. \quad (3.6)$$

Отже,

$$M_{\text{вк}} = \frac{5326}{6,28} = 848,09 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

У випадку застосування електрогенератора, який має номінальну частоту обертання 60 об/хв, тоді кутова частота вала електрогенератора буде рівною

$$\omega_{\text{г}} = \frac{3,14 \cdot 60}{30} = 6,28 \text{ рад/с.}$$

Тоді можна визначити передавальне число мультиплікатора як

$$i_{\text{м}} = \frac{\omega_{\text{г}}}{\omega_{\text{вк}}}. \quad (3.7)$$

Навіть без розрахунку, можна зробити однозначний висновок про те, щоданий вітряк не потребує встановлення мультиплікатора. Це пов'язане з тим, що частота обертання головного вала вітрового ротора і електрогенератора мають тотожні величини.

### 3.3.3 Розрахунок параметрів низькооборотного електрогенератора

Для використання генератора спільно із стабілізаторами напруги, а також акумуляторними батареями з заданою напругою бажано, щоб його вихідна напруга була достатньо високою (амплітудне значення не менше 100 вольт при використанні перетворювача напруги, а при підключенні акумуляторної батареї через випрямляч - не менше її вихідної напруги) при низьких швидкостях обертання (порядку одного обороту в секунду). Це дозволило б зменшити втрати в перетворювачах, вживаних для стабілізації напруги або зарядки акумуляторів і спростити їх схему.

Потрібно зробити спрощений розрахунок вихідної напруги генератора з використанням параметрів, залежних від конструкції:  $n$  - кількість полюсів;  $B_m$  - максимальне значення (амплітуда) індукції в зазорі;  $S$  - площа потокощеплення (площа полюса);  $m$  - кількість котушок;  $N_o$  - кількість витків однієї котушки;  $f$  - частота обертання;  $T$  - період обертання (час одного обороту);  $\omega$  - кругова частота обертання (кутова швидкість).

Припустимо, що кількість полюсів ротора і кількість котушок не рівна між собою ( $n \neq m$ ), а при обертанні ротора відносно котушок індукція в зазорі змінюється від  $-B_0$  до  $+B_0$  і від  $+B_0$  до  $-B_0$  за синусоїдальним законом. Магнітний потік через осердя, відповідно, змінюється від  $-\Phi_0$  до  $+\Phi_0$  і від  $+\Phi_0$  до  $-\Phi_0$  за таким же законом, де  $\Phi_0 = B_0 \cdot S$ , за момент часу  $dt = T/n$ . Тоді відповідно до закону електромагнітної індукції Фарадея

$$E = -\frac{d\Phi}{dt}W, \quad (3.8)$$

одержимо ЕРС котушки

$$E = -\frac{n \cdot W \cdot \omega \cdot \Phi_0 \cdot \sin\left(\frac{n \cdot \omega \cdot t}{2}\right)}{2}, \quad (3.9)$$

або

$$E = -\frac{n \cdot W \cdot \omega \cdot B_{ef} \cdot S \cdot \sin\left(\frac{n \cdot \omega \cdot t}{2}\right)}{2}. \quad (3.10)$$

Так як

$$f = \frac{\omega}{2\pi}, \quad (3.11)$$

то, одержимо для амплітудного значення ЕРС одної котушки вираз

$$E_0 = \pi \cdot f \cdot n \cdot W \cdot B_{ef} \cdot S, \quad (3.5)$$

або

$$E_0 = \frac{1}{2} \omega \cdot n \cdot W \cdot B_{ef} \cdot S. \quad (3.12)$$

При послідовному з'єднанні котушок для вихідної діючої напруги генератора одержимо вираз (форма ЕРС синусоїдальна),

$$E_{ген} = \frac{n \cdot E_0}{\sqrt{2}}, \quad (3.13)$$

$$E_{ген} = \frac{\pi \cdot n^2 \cdot W \cdot B_{ef} \cdot S}{2\sqrt{2}}. \quad (3.14)$$

Ефективне значення магнітної індукції  $B_{ef}$  може бути одержано усередненням магнітної індукції в зазорі по площі полюса. Якщо розподіл магнітної індукції описується синусоїдальним законом, то можна наближено рахувати що

$$B_{ef} = \frac{2B_0}{\pi}, \quad (3.15)$$

тоді вихідна діюча напруга генератора буде

$$E_{ген} = \sqrt{2} \cdot f \cdot n^2 \cdot W \cdot B_0 \cdot S, \quad (3.16)$$

або

$$E_{ген} = \frac{\omega}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot n^2 \cdot W \cdot B_0 \cdot S. \quad (3.17)$$

Однозначно розв'язати ці рівняння неможливо внаслідок значної кількості незалежних параметрів, що у них входять. Тому потрібно частиною з них задатися. Для наших умов доцільно задати напругу на виході генератора при мінімальній частоті його обертання, яка відповідає режиму зарядки акумулятора, значення магнітної індукції, яке може бути досягнуто зі застосуванням відповідних постійних магнітів, наприклад "Ne-Fe-B" і конструктивного виконання магнітопроводу, площу полюса магнітопроводу котушки, кількість котушок і магнітних полюсів. Тоді скориставшись формулами (3.14), (3.16) і (3.17) можна визначити кількість витків котушки.

Підставивши значення параметрів у формулу (3.17) і розв'язавши її відносно кількості  $W$  витків одержимо

$$W = \frac{E_{ген} \cdot \pi \cdot \sqrt{2}}{\omega \cdot n^2 \cdot B_0 \cdot S}, \quad (3.18)$$

або

$$W = \frac{240 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{2}}{6,28 \cdot 22^2 \cdot 1,2 \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = 364 \text{ витка.}$$

Для трифазного генератора кількість котушок на фазу визначимо як

$$n_{\phi} = \frac{m}{\phi}, \quad (3.19)$$

де  $\phi$  - кількість фаз.

Для наших умов

$$n_{\phi} = \frac{36}{3} = 12 \text{ котушок на одну фазу.}$$

Тоді одна котушка повинна мати

$$W_0 = \frac{W}{n}, \quad (3.20)$$

або



$$W_0 = \frac{364}{12} = 30,3 \text{ витка.}$$

Приймаємо 30 витків.

Визначимо площу поперечного перерізу проводу за формулою

$$S_{np} = \frac{I}{\delta}, \quad (3.21)$$

де  $I$  – фазний струм генератора, А;  $\delta$  – допустима щільність струму у провіднику, А/мм<sup>2</sup>. Для провідника виконаного з міді  $\delta = 3-5$  А/мм<sup>2</sup>.

Для трифазного генератора з з'єднанням фазних котушок у зірку струм визначимо за формулою

$$I = \frac{N_{ген}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}, \quad (3.22)$$

де  $N_{ген}$  – установлена потужність генератора, Вт;  $\cos \varphi$  - коефіцієнт потужності.

Підставивши значення одержимо значення струму як

$$I = \frac{5326}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,85} = 15,5 \text{ А.}$$

Тоді

$$S_{np} = \frac{15,5}{5} = 3,09 \text{ мм}^2.$$

Діаметр проводу визначимо за формулою

$$D_{np} = \sqrt{\frac{4S_{np}}{\pi}}, \quad (3.23)$$

або

$$D_{np} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,09}{3,14}} = 1,98 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр проводу рівним 2 мм.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

### 4.1 Структурно-функціональний аналіз технологічного процесу

В процесі продукування сільськогосподарської продукції також можуть виникати травмонебезпечні та аварійні ситуації.

Розглянемо найбільш ймовірні ситуації, які можуть призвести до тяжких наслідків, пов'язаних з травмуванням обслуговуючого персоналу.

1. Операція: введення технологічного обладнання підприємства в експлуатацію

- Небезпечна умова: не захищений кожухом вал приводу стрічкового транспортера НУ<sub>1</sub>; до обертових частин мають доступ сторонні особи НУ<sub>2</sub>.
- Небезпечна дія: оператор ввімкнув обладнання не оглянувши установку НД<sub>1</sub>; до обертових органів підійшли сторонні особи НД<sub>2</sub>.
- Небезпечна ситуація: намотування частин одягу або кінцівок сторонніх осіб.
- Можливі наслідки: травма.
- Заходи запобігання: обертові частини установки повинні бути оснащені захисними кожухами, сторонні особи, що не пройшли інструктаж по експлуатації даного обладнання не повинні бути присутніми на установці.

Модель процесу подана на рис.4.1.

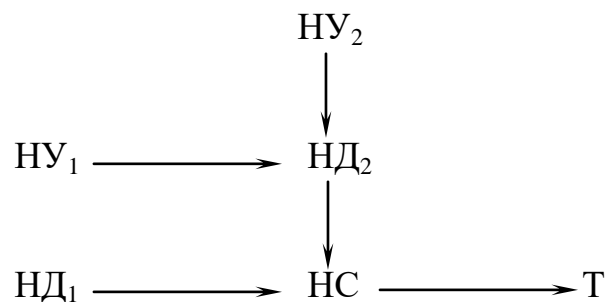


Рисунок 4.1 – Модель процесу виникнення небезпечної ситуації

## 2. Операція: перевірка електрообладнання

- Небезпечна умова: металеві частини електрифікованих машин і апаратів не заземлені згідно правил експлуатації НУ<sub>1</sub>; до цих частин є доступ людей НУ<sub>2</sub>.
- Небезпечна дія: оператор ввімкнув двигуни машин кормоприготувального цеху НД<sub>1</sub>; людина була в контакті з металевим обладнанням НД<sub>2</sub>.
- Небезпечна ситуація: Враження електричним струмом людини внаслідок несправності електроживильних провідників НС.
- Можливі наслідки: травма.
- Заходи запобігання: Металеві частини установки повинні бути заземлені згідно норм та правил експлуатації електроустановок.

Модель процесу подана на рис.4.2.

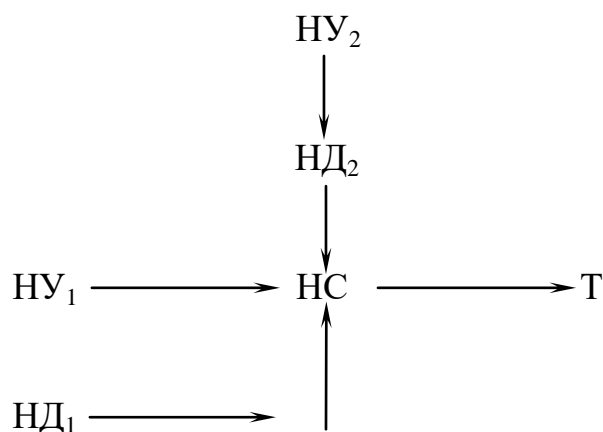


Рисунок 4.2 – Модель процесу виникнення небезпечної ситуації

## 4.2 Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій стосовно безпечного перебігу виробничого процесу

### 4.2.1 Правила безпеки праці на машинах і обладнанні під час

виконання операцій з використанням технологічного обладнання

До роботи з машинами і апаратами допускаються тільки працівники,

які навчені прийомам роботи і пройшли ввідний інструктаж з техніки безпеки та інструктаж на робочому місці.

Робочі місця повинні освітлюватись згідно з вимогами правил техніки безпеки і промислової санітарії виробництва.

Повинен забезпечуватись вільний доступ до всіх частин і механізмів обладнання.

Для запобігання теплових опіків при термічній обробці виробів необхідно користуватись захисними термостійкими рукавицями або спеціальним додатковим інструментом.

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.

Перед початком роботи 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.

Під час роботи необхідно: постійно підтримувати робоче місце в чистоті і порядку; 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.

Після закінчення роботи необхідно: вимкнути електроживлення обладнання; очистити машину і апарат від залишків сировини; здійснити миття машини та обладнання; у випадку виявлення недоліків у роботі машин і апаратів повідомити про це керівництво.

#### 4.2.2 Розрахунок природного освітлення виробничого приміщення

Одним із суттєвих факторів мікроклімату, який впливає на ефективність роботи персоналу цеху, є освітлення приміщень. Воно повинно відповідати нормам технологічного проектування. Для освітлення приміщень доцільно максимально використовувати денне світло. Розрахунок освітлення проводять після визначення розмірів приміщення.

Для розрахунку і нормування природного освітлення всередині виробничого приміщення прийнятий коефіцієнт природної освітленості (КПО), який визначається у відсотках як відношення освітленості даної точки приміщення  $E_v$  до одночасно забезпеченої освітленості під відкритим небом  $E_n$ :

$$КПО = \frac{E_v}{E_n} \cdot 100, \quad (4.1)$$

Розрахунок природної освітленості зводиться до визначення сумарної площі світлових отворів.

З урахуванням всіх чинників, користуючись поправочними коефіцієнтами, необхідна сумарна площа світлових отворів ( $m^2$ ) при природному освітленні визначається:

*при боковому освітленні приміщенні*

$$\sum S_o = \frac{S_n \cdot l_{нб} \cdot k \cdot \eta_o}{\tau_o \cdot r_1 \cdot 100}, \quad (4.2)$$

де  $\sum S_o$  – площа вікон,  $m^2$ ;  $S_n$  – площа підлоги приміщення,  $m^2$ ;  $S_n = 384 m^2$ ;  $l_{нб}$  – нормоване значення КПО при боковому освітленні, %;  $l_{нб} = 0,5$ ;  $k$  – коефіцієнт, що враховує затінення вікон сусідніми будівлями;  $k = 1,4$ ;  $\eta_o$  –

світлові характеристики вікна;  $\eta_o = 9$ ;  $\tau_o$  – загальний коефіцієнт пропускання;  $\tau_o = 0,35$ ;  $r_1$  – коефіцієнт, що враховує відбивання світла при боковому освітленні;  $r_1=3$ .

Отже,

$$\sum S_o = \frac{384 \cdot 0,5 \cdot 1,4 \cdot 9}{0,35 \cdot 3 \cdot 100} = 23,04 \text{ м}^2.$$

Після цього визначають необхідну кількість віконних отворів

$$n = \frac{\sum S_o}{f}, \quad (4.3)$$

де  $f$  – площа одного віконного отвору згідно ГОСТу,  $\text{м}^2$ .

Отже,

$$n = \frac{23,04}{2,8} = 8,23 \text{ вікон.}$$

Тобто, необхідна кількість віконних отворів буде рівною дев'яти.

### 4.3 Охорона довкілля

Основою життя рослин, тварин і людини є ґрунт. На його використанні засноване все сільськогосподарське виробництво. Тому раціональному його використанню у ФГ "Вербиченька" приділяється значна увага.

В повсякденній діяльності агрофірми зустрічаються непоодинокі випадки забруднення ґрунтів пестицидами, мінеральними добривами, розлитими паливо-мастильними матеріалами, стічними водами з ферми з надмірним вмістом гноївки, а також побутовими стоками. Має місце висока забур'яненість ґрунтів, факт якої спостерігається на посівах цукрових буряків і картоплі. Все це супроводиться деградацією ґрунту, утруднює його обробіток, знижує родючість, виводить частину площ із сільськогосподарського вжитку, зменшує орні землі.

Систематичної охорони та контролю потребує атмосферне повітря, адже його чистота є запорукою здоров'я людини. Хоча територія досліджуваного господарства згідно еколого-географічного районування відноситься до зони помірною забруднення та господарської освоєності природних комплексів, із локальним забрудненням повітря і поверхневих вод, тут досить часто зустрічаються факти забруднення повітря викидними газами двигунів, техніки, випаровування в повітря шкідливих газів з тваринницьких ферм при несвоєчасній очистці приміщень та неправильному зберіганні гною, забруднення атмосферного повітря випарами засобів хімічного захисту рослин.

Отже, ФГ "Вербиченька" у своїй повсякденній діяльності необхідно дотримуватись правил проведення робіт з хімізації сільськогосподарського виробництва, які б враховували оптимальні дози добрив, вчасність їх внесення. Це дасть змогу запобігти забрудненню довкілля і підвищенню родючості ґрунту. При правильному співвідношенні внесення в ґрунт органічних і мінеральних добрив, засобів захисту рослин працівники господарства зможуть отримати екологічно чисту продукцію рослинництва, а при збалансованій годівлі та правильному догляді за сільськогосподарськими тваринами – екологічно чисту продукцію тваринництва. Всю природоохоронну роботу агрофірмі слід будувати на основі найновіших досягнень науки, використовуючи при цьому досвід зарубіжних партнерів.

За даними проведених досліджень можна робити висновки, що екологічна ситуація в господарстві перебуває не в найкращому стані і для її покращення необхідно вжити таких заходів: для захисту ґрунтів від ерозії потрібно застосовувати ґрунтозахисні сівозміни; для боротьби з вивітрюванням ґрунтів необхідно створювати полезахисні лісосмуги, розміщувати сільськогосподарські культури смугами перпендикулярними до напрямку пануючих вітрів; для зменшення кількості шкідливих речовин, що

потрапляють в ґрунт та водойми зі стічними водами потрібно встановити на стічних трубах решітки пісковловлювачів, нафто- і жиролловлювачі; на зерноочисних комплексах потрібно встановити пиловловлювальні фільтри для запобігання викиду пилу в атмосферу.

Також важливим чинником захисту навколишнього середовища, зокрема, водних ресурсів є виконання проектних вимог щодо використання системи очищення відпрацьованої води, яка утворилася в результаті миття технологічного обладнання, приміщення, санітарно-гігієнічних потреб тощо.



## 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

В даній роботі буде виконано розрахунок економічної ефективності, який дозволить виявити лише економічну частку ефективності від застосування засобів відновлюваної енергетики. Одним із методів виявлення економічної ефективності є порівняння застосування різних типів засобів.

Вартість електроенергії, яку вироблятиме енергетична установка з використанням енергії вітру може бути визначена як

$$B_{ел} = E_{ел} \cdot C_{ел}, \quad (6.1)$$

де  $E_{ел}$  – кількість електроенергії, що виробляється засобами відновлювальної енергетики, кВт·год.;  $C_{ел}$  – ціна 1 кВт·год. електроенергії, грн.

Таким чином отримаємо вартість виробленої електроенергії для вітроелектричної установки

$$B_{вел} = 11223,6 \cdot 7,544 = 84670,84 \text{ грн.}$$

Для розрахунку терміну окупності капіталовкладень необхідно розрахувати вартість системи відновлюваної енергетики.

Визначимо вартість вітроелектричної установки і подамо результати розрахунку в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Розрахунок вартості вітроелектричної установки

Назва елемента системи	Кількість, од.	Вартість, грн./од.	Загальна вартість, грн.
Головка вітроустановки	2	44480	88960
Опора	2	37200	74400
Фундамент	2	12960	25920
Генераторний вузол	2	49920	99840
Шафа управління	2	6880	13760
Блок акумуляторних батарей	18	15840	285120
Інвертор	1	19600	19600
ВСЬОГО			607600

Відповідно до отриманих даних можна визначити термін окупності капіталовкладень на встановлення вітроелектричної установки

$$T_{ок} = \frac{B_{BEV}}{B_{вел}}, \quad (6.2)$$

де  $B_{BEV}$  – вартість капітальних вкладень (вартість вітроелектричної системи), грн.;  $B_{вел}$  – вартість виробленої електричної енергії, грн.

Отже, термін окупності буде рівний:

$$T_{ок} = \frac{607600}{84670,84} = 7,18 \text{ років};$$

Слід зазначити, що даний термін окупності був розрахований без врахування динаміки росту вартості електроенергії. Тому більш об'єктивним показником терміну окупності буде розрахунок з врахуванням динаміки росту вартості електроенергії.

## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Аналіз діяльності фермерського господарства "Вербиченька" показав, що дане підприємство здійснює свою діяльність на території, яка є дещо віддаленою від населеного пункту. Приєднання господарства здійснено до сільської електромережі низької напруги, але великої протяжності. Виходячи з цього якість і надійність електропостачання не можна вважати достатньою для ефективного ведення господарства.

Для забезпечення діяльності підприємства здійснено організацію виробничої бази електропостачання.

На основі технологічного розрахунку проведено розрахунок витрати електроенергії для різних технологічних потреб. До таких потреб віднесено технологічні потреби на тваринницькі приміщення, автотракторний парк, ремонтну майстерню, адміністративний корпус тощо. Запропоновано заміщення традиційної системи електропостачання технологічних процесів на засоби відновлюваної енергетики, зокрема з використанням вітроелектричної установки. Зважаючи на значні витрати електричної енергії раціональним варіантом вважаємо, що вітроелектрична установка повинна забезпечувати електроенергією технологічні процеси всіх видів освітлення.

На основі даних метеорологічного сервісу NASA Surface meteorology and Solar Energy було виконано розрахунок енергетичного потенціалу вітрового потоку. Досліджений потенціал дозволив виявити доцільність застосування вітроелектричної установки для електропостачання досліджуваного господарства.

Для електрозабезпечення технологічних процесів господарства здійснено конструктивну розробку вітроенергетичної установки вертикального типу з удосконаленим генераторним вузлом. Зокрема, було виконано конструктивний розрахунок тихохідного генератора зі збудженням від постійних магнітів фланцевого типу.

Для створення безпечних умов праці на підприємстві доцільно належну увагу приділяти заходам охорони праці. Зокрема проаналізовано стан охорони праці та розроблено відповідні заходи щодо його покращення. Зокрема розроблені заходи щодо загального захисту персоналу, нормуванню природного освітлення та заземлення електрообладнання. Розглянуто захист цивільного населення.

Проаналізовано екологічну безпеку в господарстві та розроблено заходи щодо її покращення.

В економічній частині на основі розрахунку вартості електроенергії, яку може виробити вітроелектрична установка здійснено визначення строку окупності капіталовкладень, який за умови фіксованого тарифу на електроенергію становитиме 9,22 роки, а у випадку застосування динамічного показника – неповні 7 років.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Lubośny Z. Elektrownie wiatrowe w systemie elektroenergetycznym. Warszawa : Wydawnictwo WNT, 2006. 277 s.
2. Lubośny Z. Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym. Warszawa : Wydawnictwo WNT, 2013. 348 s.
3. Mukund R. Patel. Wind and Solar Power System. London, New York, Washington. CPC Press. 1999. 350 p.
4. Дикий М. О. Поновлювані джерела енергії. Київ : Вища школа, 1993. 416 с.
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. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль : Підручники і посібники, 2001. 984 с.
9. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підруч. Київ : НТУУ "КПІ", 2012. 492 с.
10. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. Київ : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
11. Малащенко В. О., Янків В. В. Деталі машин. Курсове проектування: Навчальний посібник. Львів : "Новий світ-2000", 2004. 232 с.
12. Оніпко О. Ф., Коробко Б. П., Миханюк В. М. Вітроенергетика та енергетична стратегія. Київ : УАН, Фенікс, 2008. 168 с.

- 13.Притака І. П., Козирський В. В. Електропостачання сільського господарства. Київ : Урожай, 1995. 343 с.
- 14.Сегеда М. С., Олійник М. Й., Дудурич О. Б. Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії. Навч. посіб. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2019. 204 с.
- 15.Сиротюк С. В., Боярчук В. М., Гальчак В. П. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру. Львів : "Магнолія 2006", 2017. 182 с.
- 16.Чумакевич В. О., Ципляр Я. С., Кудьменко Р. В. Автономні джерела живлення: Навчальний посібник. Львів: АСВ, 2012. 345 с.
- 17.Щербина О. Енергія для всіх. Технічний довідник. Ужгород : Вид-во В. Падяка, 2000. 200 с.