

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ГІДРОАКУМУЛЮВАННЯ  
АВТОНОМНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ НА  
БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

Виконав студент IV курсу, групи ЕТс-41  
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Олашин Е.І.  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник

Коваль В.П.  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль

Вакуленко О.О.  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри

Тарасенко М.Г.  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Тернопіль  
2021

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)  
Кафедра електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Тарасенко М.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)  
« » 2021 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Олашину Едгару Івановичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Енергоефективність гідроакумулявання автономною електростанцією на базі відновлюваних джерел енергії

Керівник роботи к.т.н., доц. Коваль В.П.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «26» січня 2021 року № 4/7-47.

2. Термін подання студентом завершеної роботи до 14.06.2021

3. Вихідні дані до роботи енергоустановка знаходиться у м. Тернопіль. У її склад входять електрохімічні акумулятори та гідроакумулятор

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз систем автономного електропостачання, що використовують ПДЕ
2. Структура автономної системи електропостачання віддаленого сільськогосподарського об'єкта на основі вітроенергетичної установки
3. Результати обробки даних про швидкість вітру
4. Частка свердловинного акумулятора в акумуляторному резерві

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Класифікація систем автономного електропостачання
2. Структурна схема автономної вітроелектростанції
3. Гідроелектростанція у свердловині
4. Основні системи автономного електропостачання на основі вітроенергетичних установок
5. Структурна схема автономної системи електропостачання на основі вітроенергетичної установки з акумуляторним резервом
6. Схема електричних з'єднань
7. Алгебраїчні вирази законів розподілу енергетичних і акумуляторних періодів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності та основи охорони праці</i>	<i>Гурик О.Я. к.т.н., доцент кафедри МТ</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Вакуленко О.О., ст. викладач кафедри ЕІ</i>		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 22.01.2021 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд за напрямком кваліфікаційної роботи	з 22.01.2021 по 20.02.2021	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	з 21.02.2021 по 21.04.2021	
3	Підготовка розділу «Безпека життєдіяльності та основи охорони праці»	з 21.05.2021 по 28.05.2021	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	з 29.05.2021 по 05.06.2021	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	з 06.06.2021 по 10.06.2021	
6	Підготовка, оформлення та друк графічного матеріалу кваліфікаційної роботи	з 11.06.2021 по 13.06.2021	
7	Отримання відгуку та рецензії на кваліфікаційну роботу, підготовка доповіді на захист	з 13.06.2021 по 14.06.2021	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Олашин Е.І.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Коваль В.П.  
\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс–41. - Т. : ТНТУ, 2021.

Стор. 67; рис. 32; табл. 8; креслень (презентацій) \_\_\_; джерел 34.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Енергоефективність гідроакумулювання автономною електростанцією на базі відновлюваних джерел енергії».

Метою роботи є розробка автономної вітроелектростанції із підвищеною енергоефективністю шляхом використання гідроакумулювання енергії.

У роботі проведено аналіз систем акумулювання електроенергії у енергоустановках на відновлювальних джерелах енергії та аналіз тривалості безперервних енергетичних і акумуляторних періодів автономної вітроелектростанції. Також встановлено ефективність автономної вітроелектростанції з акумуляторним резервом, що складається з батареї електрохімічних акумуляторів і свердловинного акумулятора енергії.

*Ключові слова:* АКУМУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ЕНЕРГОУСТАНОВКА

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>РЕФЕРАТ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		Олашин Е.І.					3	
<i>Перевірів</i>		Коваль В.П.						
<i>Консульт.</i>		Коваль В.П.						
<i>Н. Контр.</i>		Вакуленко О.О.						
<i>Зав каф.</i>		Тарасенко М.Г.				<b>гр.ЕТс-41, ФПТ, ТНТУ</b>		

# ЗМІСТ

## ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Системи автономного електропостачання .....	8
1.2 Аналіз систем автономного електропостачання, що використовують поновлювані джерела енергії.....	9
1.3 Стан питання в області вдосконалення акумулюючих пристроїв .....	12
1.4 Висновки до розділу .....	18
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	19
2.1 Структура автономної системи електропостачання віддаленого сільськогосподарського об'єкта на основі вітроенергетичної установки .....	19
2.2 Аналіз умов роботи автономних вітроелектростанцій .....	25
2.3 Висновки до розділу .....	30
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ .....	32
3.1 Оптимізація параметрів автономної вітроелектростанції з акумуляторним резервом.....	32
3.2 Процес перетворення накопиченої в свердловинному акумуляторі енергії в електроенергію.....	40
3.3 Опис експериментальної установки.....	42
3.4 Методика проведення експериментальних досліджень.....	44
3.5 Обробка експериментальних даних .....	45
3.6 Результати статистичної обробки даних про швидкість вітру .....	47

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>ЗМІСТ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		<i>Олашин Е.І.</i>					4	
<i>Перевірів</i>		<i>Коваль В.П.</i>						
<i>Консульт.</i>		<i>Коваль В.П.</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Вакуленко О.О.</i>						
<i>Зав каф.</i>		<i>Тарасенко М.Г.</i>						
						<b>гр.ЕТс-41, ФПТ, ТНТУ</b>		

3.7 Реалізація цільової функції оптимізації параметрів вітроелектростанції з комбінованим акумулюванням енергії.....	56
3.8 Частка свердловинного акумулятора в акумуляторному резерві.....	57
3.6 Висновки до розділ .....	59
<b>4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....</b>	<b>61</b>
4.1 Можливість виникнення статичної електрики та заходи боротьби з нею.....	61
4.2 Фізичні основи електробезпеки.....	63
4.3 Зонування територій за ступенем небезпеки .....	64
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>66</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>68</b>

					<b>КРБ 038.19.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Одним із дієвих способів зменшити вплив людини на природу є технологія отримання «чистої» енергії без шкідливих викидів. Сучасна енергетика, заснована в першу чергу на спалюванні корисних копалин видів палива, робить негативний вплив на навколишнє середовище. З урахуванням необхідності мінімізації цього впливу, а також тенденції до скорочення видобутих запасів вуглеводневих ресурсів завдання децентралізації систем електропостачання стає вельми актуальною.

Сучасне життя немислима без надійного постійного електропостачання, однак до сих пір технологічне підключення до електричних мереж пов'язане з цілою низкою проблем. Наприклад, транспортування електричної енергії на далекі відстані тягне значне збільшення вартості будівництва та обслуговування об'єкта. До того ж існують території, на яких будівництво просто не можливо, наприклад болотисті ділянки, території з переважанням многолетнемерзлих порід, скелястий ґрунт, гори. Тому автономне електропостачання стає все більш актуальним питанням в світлі територіальної віддаленості технологічних об'єктів від існуючої інфраструктури електричних мереж, для здійснення електропостачання яких передбачається будівництво ліній електропередач різної протяжності. Таким чином, щоб не залежати від міської електромережі і форс-мажорних ситуацій, а також отримати стабільний доступ до незалежного джерела електропостачання, необхідно передбачити автономне джерело. Найбільший інтерес з точки зору екологічності системи представляють поновлювані джерела електроенергетики (ВДЕ).

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>ВСТУП</b>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		<i>Олашин Е.І.</i>					6	
<i>Перевірів</i>		<i>Коваль В.П.</i>						
<i>Консульт.</i>		<i>Коваль В.П.</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Вакуленко О.О.</i>						
<i>Зав каф.</i>		<i>Тарасенко М.Г.</i>			<b>гр.ЕТс-41, ФПТ, ТНТУ</b>			

**Мета кваліфікаційної роботи:** розробка автономної вітроелектростанції із підвищеною енергоефективністю шляхом використання гідроакумуляування енергії.

Відповідно до даної метою ставляться такі **завдання:**

1. Провести аналіз систем акумуляування електроенергії у енергоустановках на відновлювальних джерелах енергії.
2. Обґрунтувати конструкцію свердловинного акумулятора енергії і структуру вітроелектростанції з електрохімічним і свердловинним акумуляторами для сільських автономних об'єктів.
3. Провести аналіз тривалості безперервних енергетичних і акумуляторних періодів автономної вітроелектростанції.
4. Встановити ефективність автономної вітроелектростанції з акумуляторним резервом, що складається з батареї електрохімічних акумуляторів і свердловинного акумулятора енергії.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 частин, висновків та переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 67 арк. формату А4, графічна частина – аркушів презентації.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7



# 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Системи автономного електропостачання

Найбільше розповсюджені типи систем автономного електропостачання наведені на рис. 1.1.

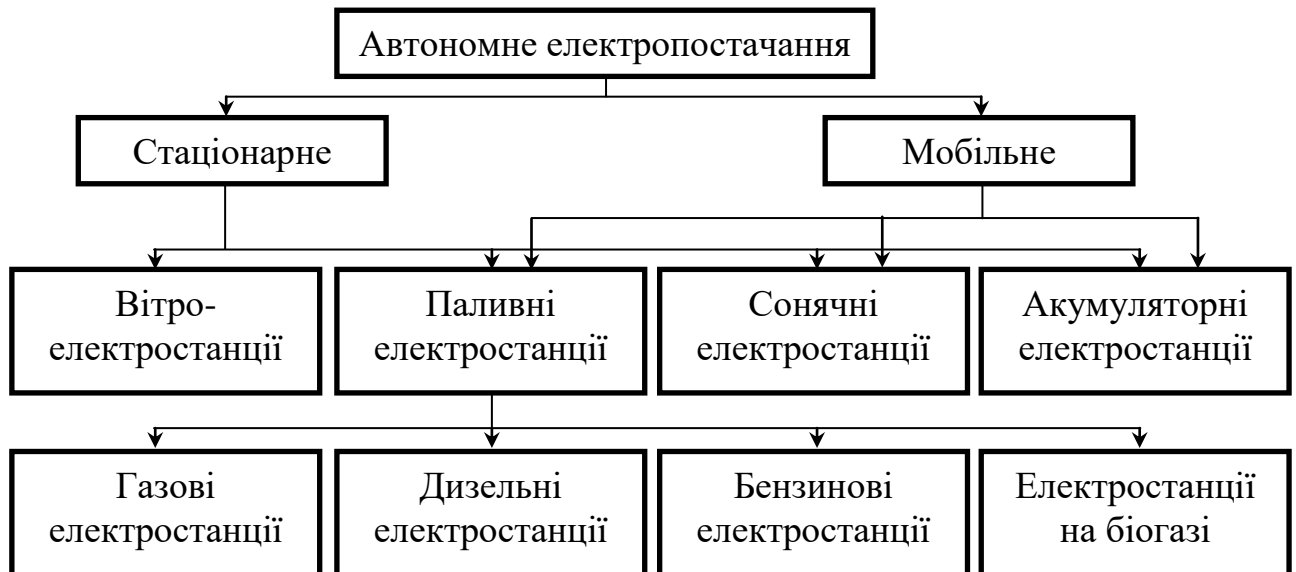


Рисунок 1.1 - Класифікація систем автономного електропостачання

Можливо також комбіноване використання варіантів електропостачання, на основі представлених на рис. 1.1. Як правило, в таких гібридних системах одне джерело електроенергії є основним, друге - резервним або дублюючим. Найбільш поширені такі типи комбінованих систем: вітро-дизельні і сонячно-дизельні електростанції, а також вітроелектростанції та сонячні електростанції з акумуляторним резервом. Останнім часом все частіше в якості дублюючого джерела використовуються акумуляторні електростанції, що в основному обумовлюється їх екологічними перевагами в порівнянні з вуглеводневим паливом.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Олашин Е.І.			<b>1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ</b>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Коваль В.П.					8	
Консульт.		Коваль В.П.				<b>гр.ЕТс-41, ФПТ, ТНТУ</b>		
Н. Контр.		Вакулєнко О.О.						
Зав каф.		Тарасенко М.Г.						

Необхідність дублювання основного джерела енергії викликано тим, що багато об'єктів вимагають високого ступеня надійності електропостачання, так як перерви в подачі електроенергії таким об'єктам супроводжуються великими матеріальними збитками. Разом з тим, вітроенергетичні установки (ВЕУ) і сонячні електростанції характеризуються непостійністю вироблення електроенергії, і їх дублювання необхідно для підтримки необхідного рівня надійності електропостачання. У разі ВЕУ це пов'язано з тим, що вітер - один з найбільш мінливих метеорологічних елементів [1], його швидкість і напрямок значно змінюються в часі, а сонячні електростанції можуть виробляти електроенергію тільки в світлий час доби.

## **1.2 Аналіз систем автономного електропостачання, що використовують поновлювані джерела енергії**

Поступове виснаження запасів викопного вуглеводневого палива, і проблеми, пов'язані з використанням цього палива для виробництва електричної енергії, змушують більш широко застосовувати ВДЕ. Найбільш поширеними являються сонячне випромінювання, вітер і біопаливо.

Поки традиційна енергетика, що базується на викопному паливі, з початку ХХІ століття в середньому в світі росла з темпом всього 1 ... 1,5% в рік, поновлювані джерела енергії в цей же час розвивалися із середніми темпами в десятки відсотків в рік (рис.1.2) [2, 3, 4].

Діаграма демонструє, що енергоустановки на поновлюваних джерелах енергії претендують на серйозні ролі в майбутній світовій енергетиці. Це також підтверджує постійне зростання обсягів інвестицій в цей сектор енергетики, які в 2011 році досягли 279 млрд. доларів США (рис. 1.3). До того ж, не дивлячись на світову фінансовоекономічну кризу 2008 року інвестиції в ВДЕ, на відміну від інвестицій в інші сектори світової економіки, не стали сильно знижуватися. У 2012 році інвестиції в ВДЕ трохи

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

зменшилися в порівнянні з 2011 роком, проте введені потужності збільшилися (введення в експлуатацію нових енергоустановок на ВДЕ в 2012 році склав 85 ГВт, в той час як в 2011 р 80 ГВт) [3, 5].

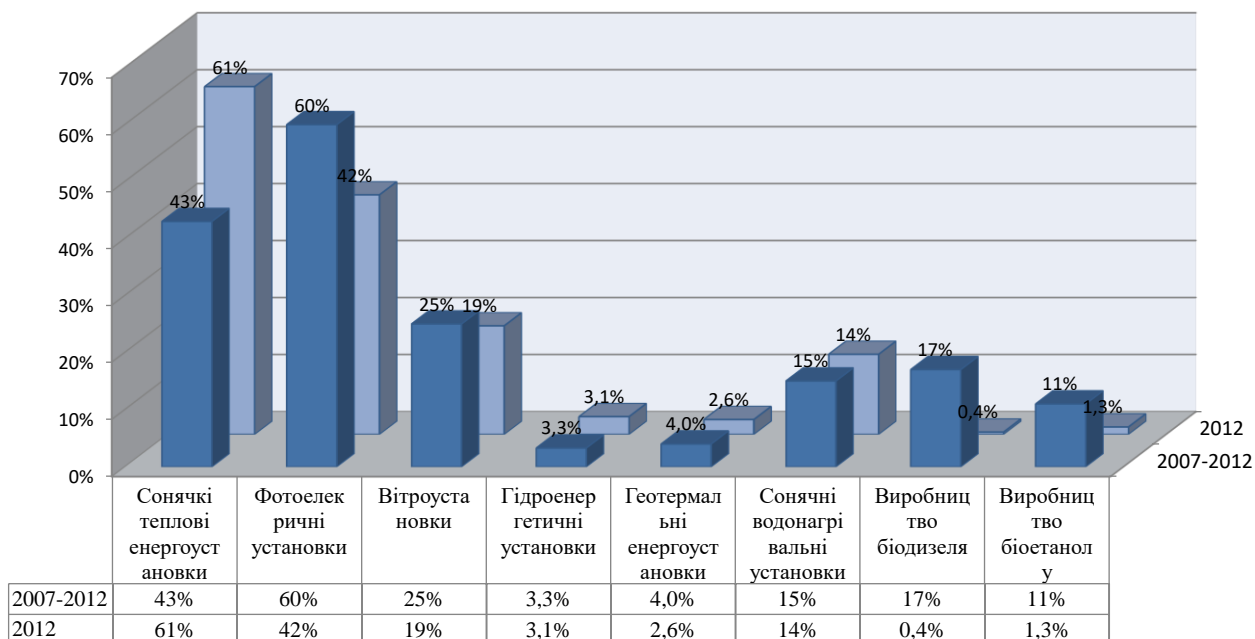


Рисунок 1.2 - Середні річні темпи зростання потужності енергоустановок на поновлюваних джерелах енергії і виробництва біопалив в 2007 ... 2012 рр. [3]

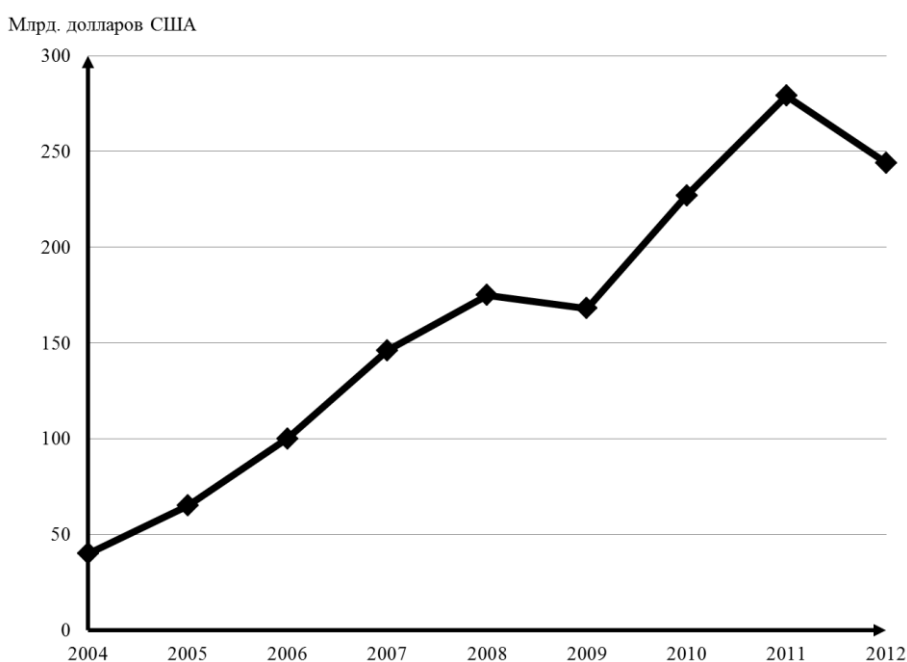


Рисунок 1.3 - Зростання інвестицій в розвиток нових ВДЕ [2]

## Вітроелектростанції

Вітер представляє ще одне, широко поширене невичерпне джерело екологічно чистої енергії [6, 7, 8].

Автономна вітроелектростанція з генератором постійного струму в загальному випадку містить наступні основні елементи (рис. 1.4) [9]:

- вітроколесо;
- генератор постійного струму;
- контролер заряду/розряду акумуляторної батареї;
- акумуляторна батарея;
- інвертор.

Автономна вітроелектростанція з генератором змінного струму в загальному випадку складається з основних елементів (рис. 1.7).

Основною частиною вітроустановки, є вітроколесо, яке перетворює кінетичну енергію вітру, в механічну енергію. Воно буває двох типів - з горизонтальною і вертикальною віссю обертання [10].

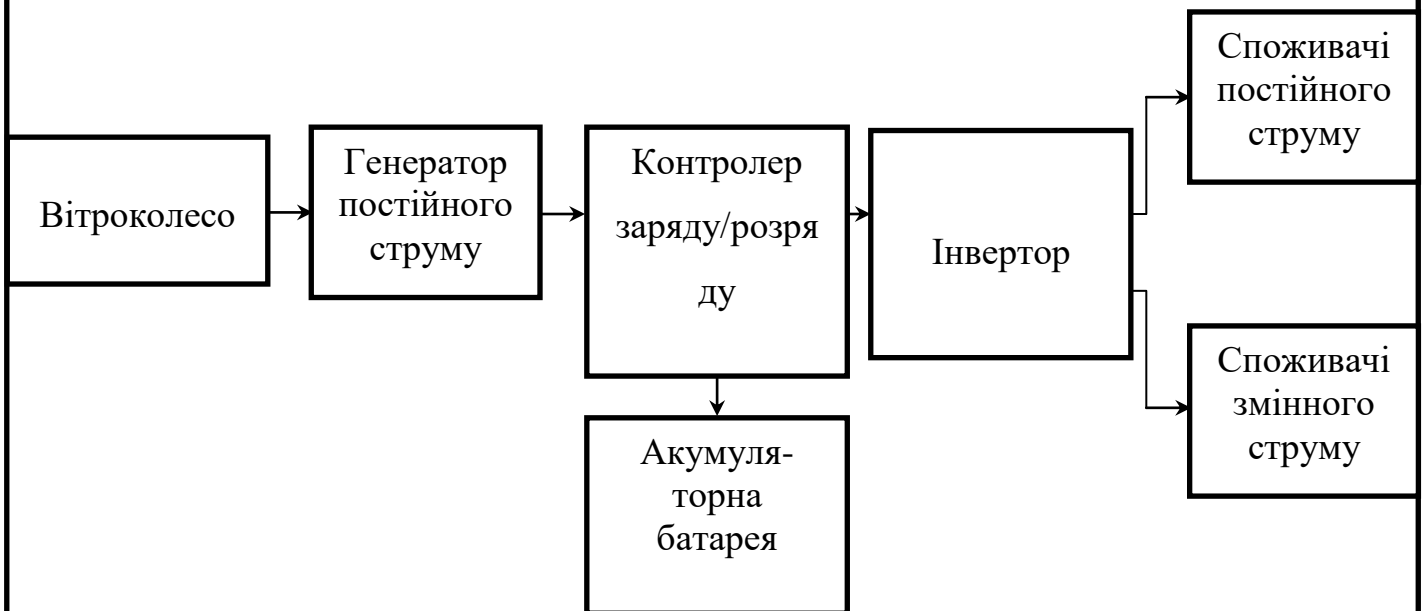


Рисунок 1.4 - Структурна схема автономної вітроелектростанції з генератором постійного струму, що живить споживачів постійного і змінного струму

Серед вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання можна виділити наступні групи роторів: ортогональний, Савоніуса, Дар'є, гелікоїдний, багатолопатевий з направляючим апаратом [11].

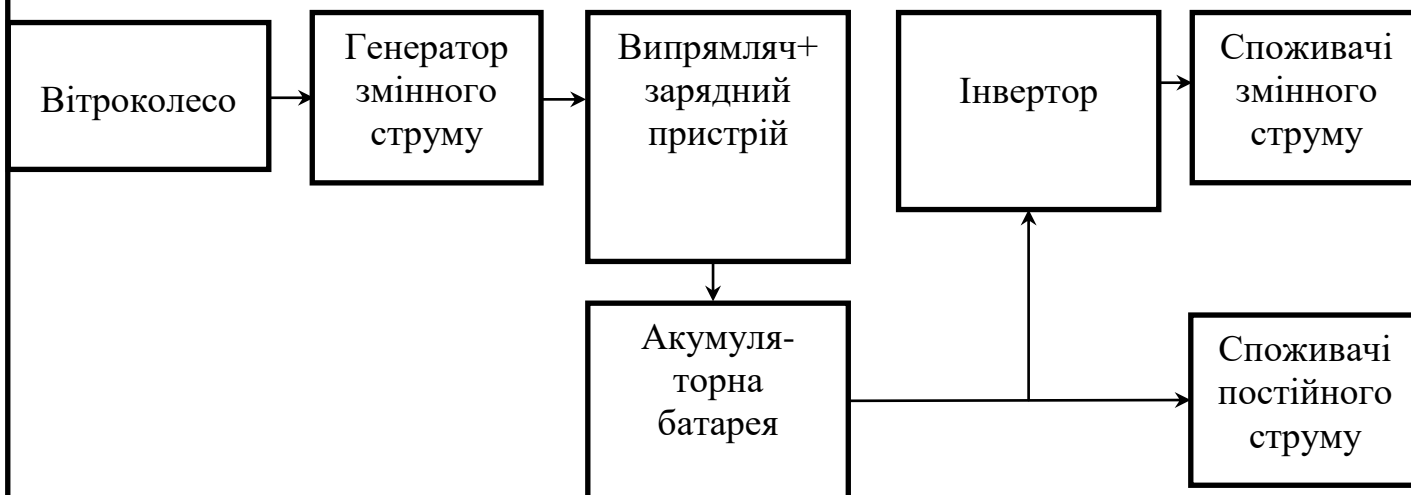


Рисунок 1.5 - Структурна схема автономної вітроелектростанції з генератором змінного струму, що живить споживачів постійного і змінного струму

### 1.3 Стан питання в області вдосконалення акумулюючих пристроїв

Удосконалення акумуляторних систем дозволило б значно підвищити ефективність автономних систем електропостачання на основі вітроустановок [12].

У цьому напрямку також проведена велика наукова робота. Аналіз літературних джерел по цій темі [13, 14, 15, 16 і ін.] показав, що великі надії покладаються на застосування водню. Однак при цьому за законами діалектики неминуче з'являються нові проблеми, які для умов сільського господарства, де можуть застосовуватися ВЕУ, залишаються поки нерозв'язними. До недоліків водневого акумулювання в першу чергу слід віднести дорожнечу і складність використовуваного обладнання (паливні елементи або двигуни установки, системи отримання, очищення і зберігання

водню і кисню), що в свою чергу створює додаткову проблему - необхідність кваліфікованого обслуговування даної системи.

Другий напрямок це вдосконалення електрохімічних акумуляторів. Найбільшого поширення, як накопичувачів енергії в системах з використанням відновлюваних джерел енергії, отримали свинцевокислотні акумуляторні батареї (СКАБ). Це викликано в першу чергу тим, що дана технологія добре відпрацьована і використовує дешеві матеріали. Однак через такі недоліки, як низька енергоємність (30-40 Вт·год / кг), малий ресурс роботи і високий саморозряд (до 20 % в місяць), СКАБ стали витіснятися літій-іонними електричними накопичувачами (ЛІЕН).

Конкурентоспроможність ЛІЕН пояснюється наступними їх перевагами: високі струми розряду і заряду, висока енергоємність (близько 200 Вт·год/кг) [17], великий ресурс роботи (до 12000 циклів), а також дуже високим ККД (0,95 - 0,97 ) в циклі заряд/розряд [26].

У зв'язку з цим, зараз велику увагу приділено удосконаленню саме літій-іонних акумуляторам. Аналіз робіт [15, 17 та ін.] в цьому напрямку дозволив виявити основні шляхи, по яких йде це удосконалення. В першу чергу це синтез нових катодних і анодних матеріалів. Пошук нових та удосконалення існуючих електролітів - це ще один з напрямків підвищення характеристик літій-іонних акумуляторів. Причому роботи ведуться як з рідкими гелями, так і з полімерними електролітами.

Слід також відзначити такий напрямок вдосконалення електрохімічних акумуляторів, як створення літій-сірчаних акумуляторів, що мають на сьогодні енергоємність порядку 250-400 Вт·год/кг, а їх теоретична енергоємність становить 2600 Вт·год/кг [18].

Однак, незважаючи на те, що електрохімічні акумулятори мають цілий ряд очевидних переваг, і високими темпами триває їх удосконалення, застосування таких акумуляторів в умовах сільського господарства супроводжується появою деяких проблем. Акумуляторні батареї вимагають

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

власної системи управління, яка ускладнює і здорожує всю установку, і до того ж вимагає кваліфікованого обслуговування. Крім цього не усувається первинний недолік – роботи по вдосконаленню електрохімічних акумуляторів не призводять до зменшення ємності акумуляторних батарей.

Третій напрям - це пошук альтернативних акумуляторних систем, що має на меті зменшення ємності дорогих електрохімічних акумуляторів. В альтернативних акумуляторах можна виділити дві великі групи: акумулятори кінетичної енергії і акумулятори потенційної енергії.

До акумуляторів кінетичної енергії відносяться маховики і супермаховики, які відрізняються від звичайних маховиків конструктивними особливостями, що дозволяють їм зберігати більше кінетичної енергії. На сьогоднішній день запатентовано велика кількість конструкцій супермаховиків [19].

Незаперечною перевагою кінетичних накопичувачів є те, що вони можуть миттєво включатися в роботу, буквально за 57 мсек. Це робить перспективним їх застосування для компенсації піків енергетичних навантажень, а також в якості резервного джерела електропостачання для споживачів першої категорії. Однак, в умовах електропостачання віддаленого сільськогосподарського споживача, така швидкодія часто не потрібно. До того ж у графіку споживання електроенергії сільськогосподарським об'єктом спостерігаються значні проміжки часу, коли навантаження відсутнє, тому такий недолік накопичувачів кінетичної енергії, як невеликий термін зберігання енергії, робить їх малоприматними для даних умов.

Друга група - це акумулятори потенційної енергії піднятого на деяку висоту тіла, потенційної енергії пружини і потенційної енергії стисненого повітря.

Накопичувачі енергії на основі стисненого повітря (НЕСП) в основному використовуються в великих енергетичних системах, де для зберігання стисненого повітря використовуються підземні резервуари. Такі

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

акумулятори можуть запасати і видавати великі потужності (сотні МВт), однак вилучення енергії в даному випадку може відбуватися тільки при підводі теплоти ззовні. Застосування балонів високого тиску в НЕСП дозволяє масштабувати їх на невеликі потужності, а використання теплового акумулятора для збереження тепла, отриманого в результаті стиснення повітря, позбутися від використання природного газу для підігріву. Однак такі системи складні і їх ККД залежить від швидкості охолодження теплового акумулятора [20]. Тому їх застосування в сільському господарстві також важко.

Акумулятори потенційної енергії на основі піднятого на певну висоту тіла (твердого або рідкого) мають дуже низькі показники енергоємності, тому, для запасання достатньої кількості енергії, найчастіше потрібна споруда громіздких конструкцій.

Існують способи підвищення ємності за рахунок обважнення робочого тіла, наприклад, в патенті RU 2328619 [21] пропонується використання масляно-металічної пульпи в якості робочого тіла. Ця пульпа перекачується в нічний час доби з нижнього б'єфу в верхній по трубопроводах за допомогою оборотних гідроагрегатів. А днем скидається в нижній б'єф по тих же самих трубопроводах, при цьому оборотні гідроагрегати виробляють електроенергію, яка використовується для згладжування пікових навантажень.

Застосування масляно-металічної пульпи збільшує потенційну енергію одиниці об'єму робочого тіла в верхньому б'єфі в 3,5 рази (в порівнянні з водою) і дозволяє трохи знизити громіздкість, але при цьому підвищується вартість установки. До того ж залишається недослідженим цілий ряд питань, що стосуються екологічності та поведінки в роботі самого робочого тіла. Крім того, такий акумулятор може працювати тільки безперервно, так як при тривалому зберіганні енергії металеві частинки осядуть на дно у вигляді

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



відстою. Тобто він не може довго зберігати енергію і тому малопридатний для автономних систем електропостачання.

До акумуляторів потенційної енергії також відносяться і гідроакумулюючі електростанції (ГАЕС). Слід зазначити, що поряд з такими перевагами гідроакумулювання, як високі ресурсні характеристики і велика тривалість зберігання запасеної енергії, існує ряд недоліків, які обмежують їх застосування в автономних системах електропостачання сільськогосподарських споживачів. Це в першу чергу погана масштабованість, а також те, що можливість їх зведення визначається місцевими умовами і в більшості випадків неможлива через відсутність річок.

Використання свердловин в системах гідроакумулювання [22,23] дозволить знизити громіздкість, позбавить від необхідності пошуку підходящої місцевості для побудови, а також може вирішити проблему водопостачання.

Наприклад, в патенті RU 2373431 [24] пропонується свердловинна гідроелектростанція (рис. 1.6), конфігурація якої може бути різною, залежно від того, що є джерелом води (підземної водоносна зона, поверхнева або обидві одночасно). Однак основний принцип роботи такої електростанції не змінюється, змінюються лише конструкційні особливості. В режимі генерації через перфорований патрубковий встановлений в положенні «відкрито», вода надходить в свердловину і, проходячи по ній до зони стоку, обертає гідротурбіну, яка агрегатована з електрогенератором, що виробляють електроенергію. Отримана електроенергія передається на поверхню за допомогою електричних кабелів і використовується для живлення споживачів. У режимі акумулювання, надлишкова електроенергія подається на електрогенератор, який починає працювати в режимі електродвигуна і обертає гідротурбіну. Таким чином, оборотний гідроагрегат закачує воду з

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

нижнього резервуара або зони стоку в верхній резервуар, тим самим запасаючи енергію в піднятому на певну висоту робочому тілі.

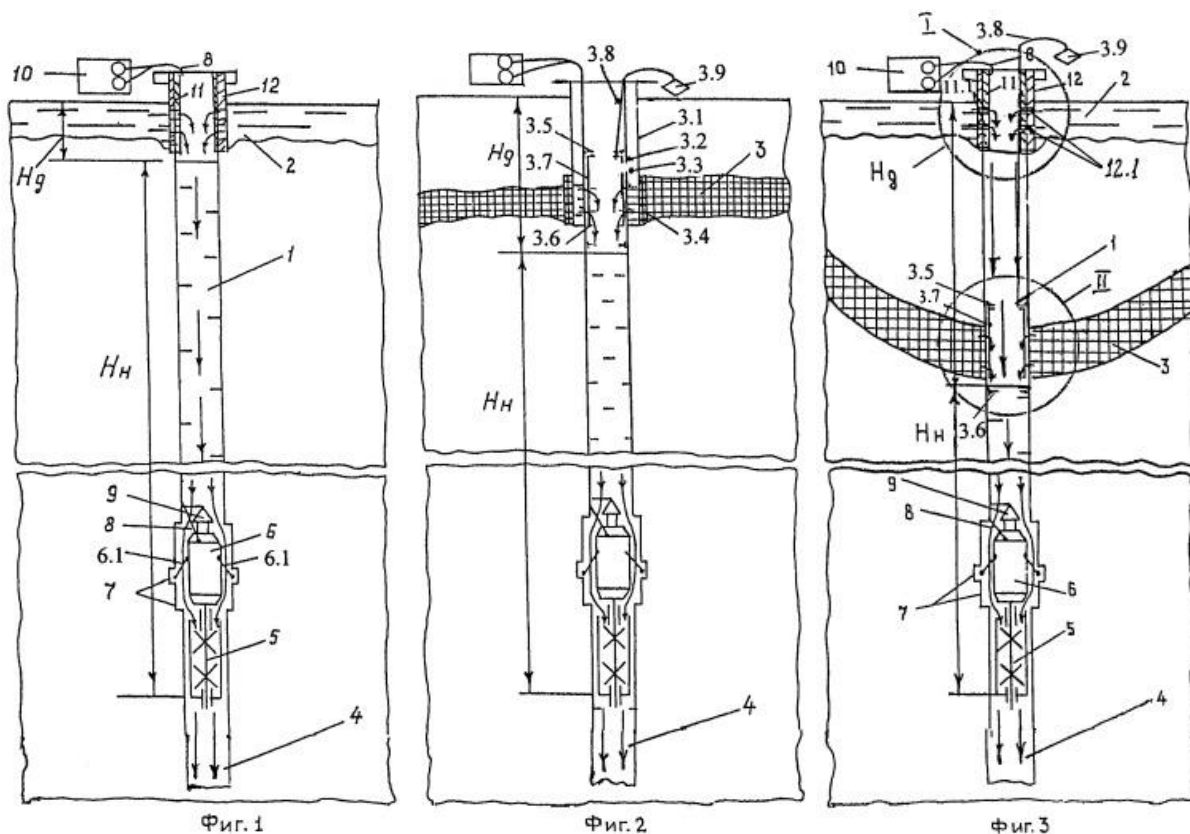


Рисунок 1.6 - Гідроелектростанція у свердловині

Однак на сьогоднішній день, відсутня методика формування автономних систем електропостачання на основі вітроенергетичної установки з застосуванням гідроакумулюючої системи. Чи не відомо, як поведе себе такий акумулятор в складі вітроелектростанції. До того ж, попередня оцінка ємності свердловинного акумулятора дозволяє зробити висновок про необхідність його комбінування з іншими типами акумуляторів. Тому потрібно знати, як будуть взаємодіяти різні типи акумуляторів в одній системі, і яку частку від загальної збереженої енергії повинен накопичувати той чи інший акумулятор.

## 1.4 Висновки до розділу

На підставі проведеного аналізу можна сформулювати проблемну ситуацію в автономному електропостачанні з використанням вітроелектростанцій – необхідна значна ємність дорогих електрохімічних акумуляторів, у яких обмежена кількість циклів заряду/розряду.

Для вирішення даної ситуації потрібно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз систем акумулювання електроенергії у енергоустановках на відновлювальних джерелах енергії.
2. Обґрунтувати конструкцію свердловинного акумулятора енергії і структуру вітроелектростанції з електрохімічним і свердловинним акумуляторами для сільських автономних об'єктів.
3. Провести аналіз тривалості безперервних енергетичних і акумуляторних періодів автономної вітроелектростанції.
4. Встановити ефективність автономної вітроелектростанції з акумуляторним резервом, що складається з батареї електрохімічних акумуляторів і свердловинного акумулятора енергії.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

## 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Структура автономної системи електропостачання віддаленого сільськогосподарського об'єкта на основі вітроенергетичної установки

На сьогоднішній день автономні системи електропостачання на основі вітроенергетичних установок розрізняються як усією структурою в цілому (рис. 2.1), так і елементами, що входять в її склад. Тому дуже важливо найбільш ефективно формувати такі системи. Наукове співтовариство приділяє цьому питанню чималу увагу, так як політика держави все більше спрямована на впровадження енергоефективних та енергозберігаючих технологій. Так в ФГБОУ ВПО АЧГАА професором Вороніним С.М. розроблені методики формування автономних систем електропостачання сільськогосподарських об'єктів на поновлюваних джерелах енергії, в тому числі і на основі вітроенергетичних установок. Також існують подібні роботи і в інших вузах і НДІ.



Рисунок 2.1 - Основні системи автономного електропостачання на основі вітроенергетичних установок

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>2 ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		Олашин Е.І.					19	
<i>Перевірів</i>		Коваль В.П.						
<i>Консульт.</i>		Коваль В.П.						
<i>Н. Контр.</i>		Вакулєнко О.О.						
<i>Зав каф.</i>		Тарасенко М.Г.						
						<i>ар.ЕТс-41, ФПТ, ТНТУ</i>		

Спосіб резервування вітроелектростанції – це одне з основних питань, які необхідно вирішити при виборі структурної схеми автономної системи електропостачання. Як видно з рис. 2.1, основними є два способи резервування: акумуляторне резервування і використання інших джерел електроенергії в якості резерву. Однак, використання паливних електростанцій (рис. 2.2), таких як дизельні та бензинові електростанції, призводить до того, що автономна система електропостачання перестає бути екологічно чистою, до того ж виникає цілий ряд проблем, пов'язаних з недоліками (описані в першому розділі) таких джерел.

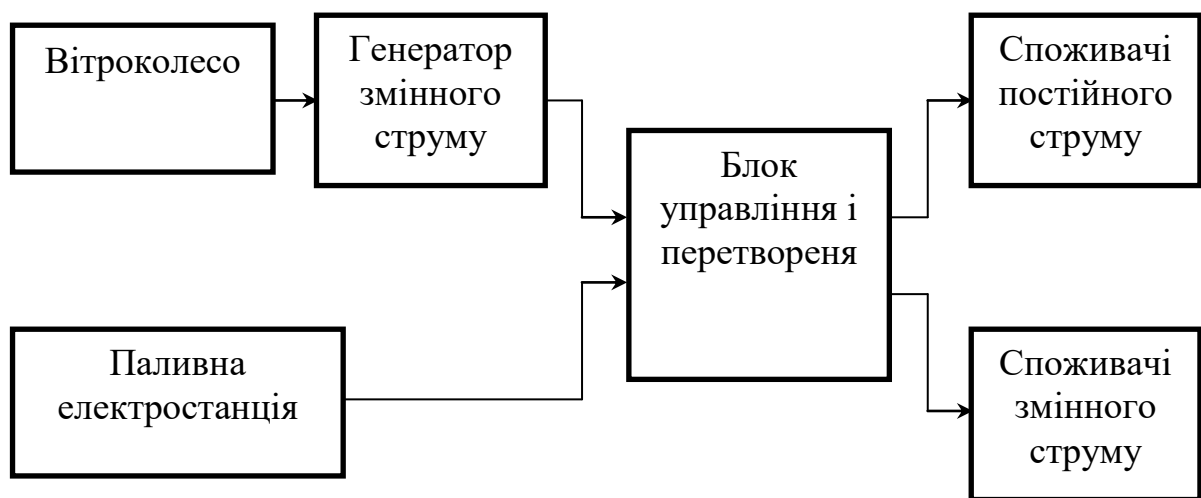


Рисунок 2.2 - Орієнтовна структурна схема автономної системи електропостачання на основі вітроенергетичної установки з резервуванням від паливної електростанції

Застосування сонячних електростанцій в якості резерву (рис. 2.3), теж має істотні недоліки, які в основному пов'язані з високою вартістю обладнання, що входить до складу таких електростанцій. Крім того, мінливість надходження сонячної енергії, також як і мінливість вітру, створює ймовірність припинення вироблення електроенергії обома джерелами одночасно, що знову змушує нас резервувати систему електропостачання ще якимось способом.

Акумуляторне резервування (рис. 2.4) в переважній більшості випадків проводиться із застосуванням електрохімічних акумуляторів.

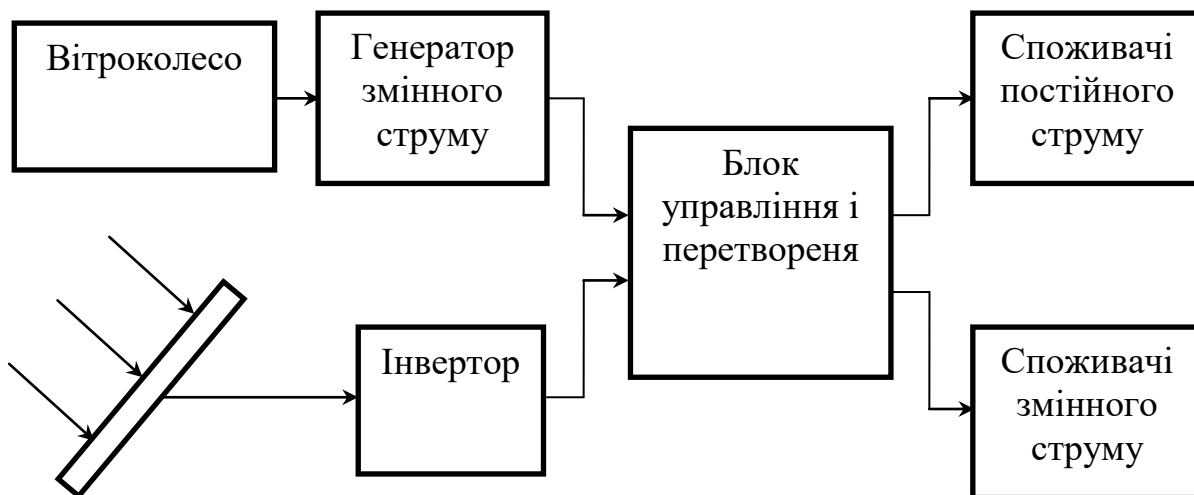


Рисунок 2.3 - Орієнтовна структурна схема автономної системи електропостачання на основі вітроенергетичної установки з резервуванням від сонячної електростанції

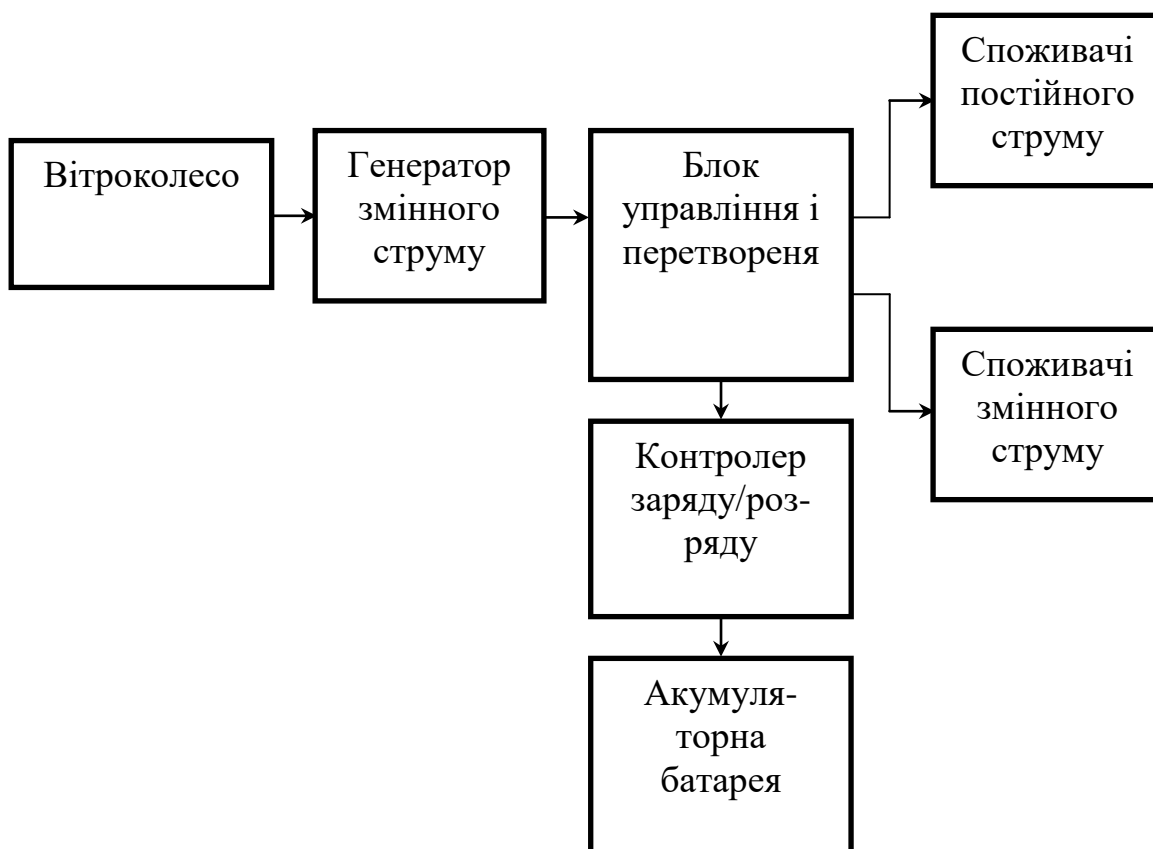


Рисунок 2.4 - Орієнтовна структурна схема автономної системи електропостачання на основі вітроенергетичної установки з акумуляторним резервом

Недоліками, такого резервування є: висока вартість електрохімічних акумуляторів, обмежена кількість циклів заряду-розряду і ін.

Однак, як уже говорилося в першому розділі, недослідженим залишається питання використання інших типів акумуляторів енергії, зокрема застосування свердловинного акумулятора енергії, який може бути гідною альтернативою або доповненням до електрохімічних акумуляторів в умовах електропостачання віддалених сільськогосподарських об'єктів.

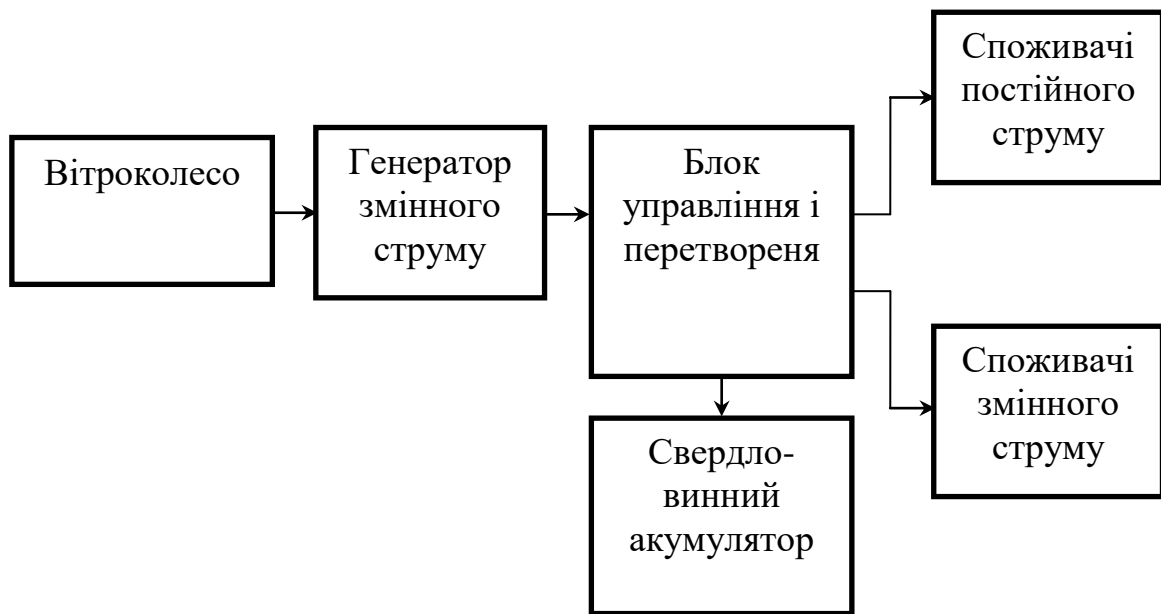
На рис. 2.5 представлені структурні схеми систем автономного електропостачання з застосуванням свердловинного акумулятора енергії.

Схема (а) працює наступним чином: отримана від вітроагрегату електроенергія подається на блок управління і перетворення, який в разі необхідності передає її споживачеві. Якщо ж необхідність в електроенергії відсутня або кількість вироблюваної вітроагрегатом електроенергії перевищує потреби в ній, то блок управління і перетворення подає напругу на погрузний насос в свердловині. В результаті відбувається закачування води з нижнього резервуара в верхній. Коли вітроустановка не може виробляти електроенергію, через відсутність вітру або недостатньої його швидкості, а потреба в електроенергії існує, відбувається скидання води з верхнього резервуара в нижній. Під впливом потоку води гідроагрегат свердловинного акумулятора починає виробляти електроенергію, яка через все той же блок управління і перетворення подається споживачеві.

Робота схеми (б) відрізняється тим, що запасання енергії відбувається як в свердловину акумуляторі енергії, так і в батареї електрохімічних акумуляторів. Батарея заряджається через контролер заряду-разряда, який забезпечує її довговічність і працездатність, а також здійснює захист від перевантажень і коротких замикань.

Тут, так само як і в попередній схемі передбачена пряма подача електроенергії від вітроустановки споживачеві, в разі збігу режимів вироблення і споживання.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22



а)



б)

Рисунок 2.5 - Структурна схема автономної системи електропостачання на основі вітроенергетичної установки

а – з свердловинним акумулятором енергії, б – зі свердловинним акумулятором енергії і електрохімічними акумуляторами



Коли вітроагрегат електроенергію не виробляє або виробляє недостатню її кількість, живлення споживачів здійснюється від свердловинного акумулятора або, якщо той розряджений, від батареї електрохімічних акумуляторів.

На рис. 2.6 приведена схема вітроелектростанції з комбінованим акумуляторним резервом, що складається з батареї електрохімічних акумуляторів і свердловинного акумулятора енергії. Схема електричних з'єднань для такої автономної вітроелектростанції представлена на рис. 2.7.

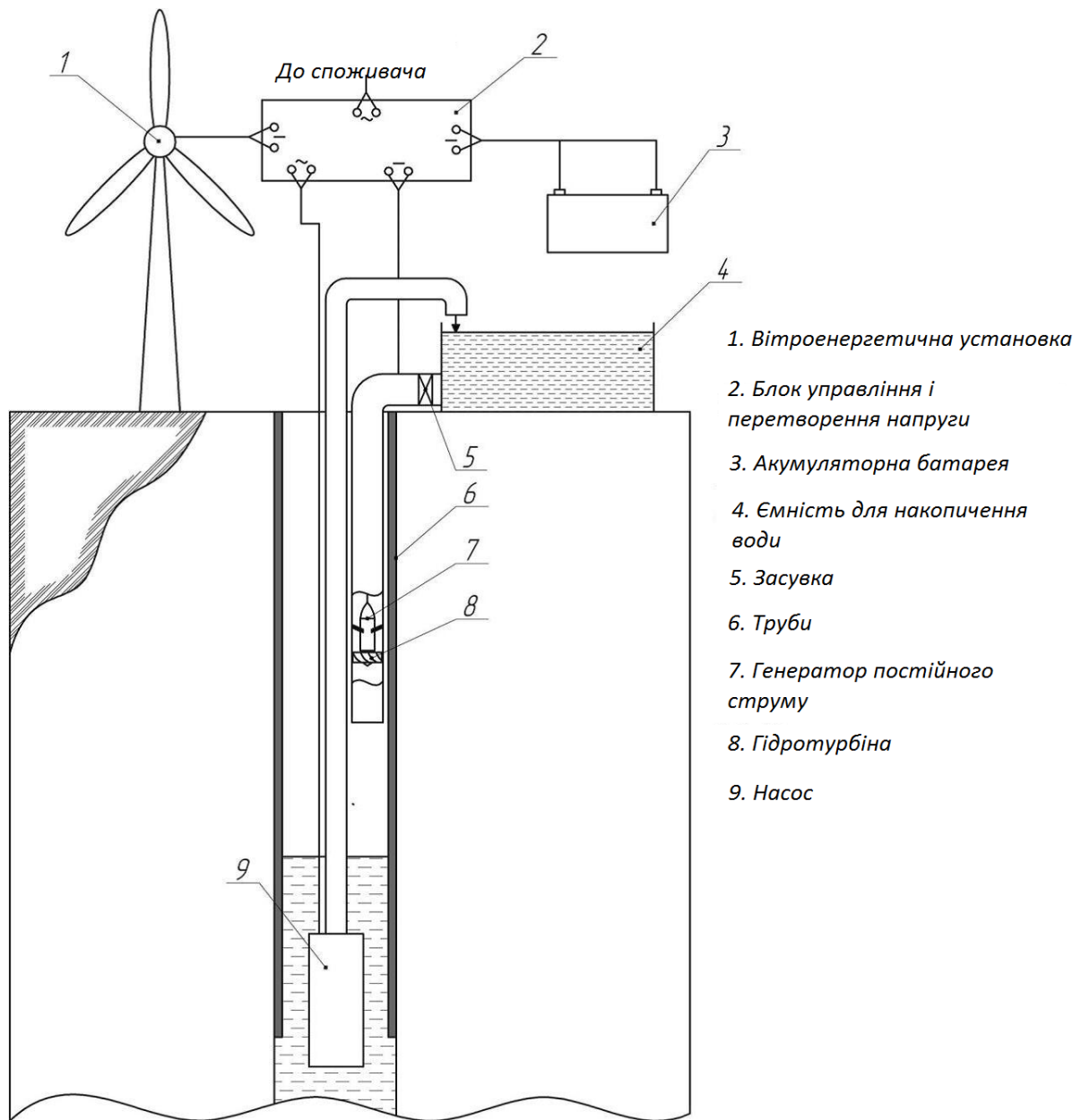


Рисунок 2.6 -Схема вітроелектростанції з комбінованим акумуляторним резервом

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

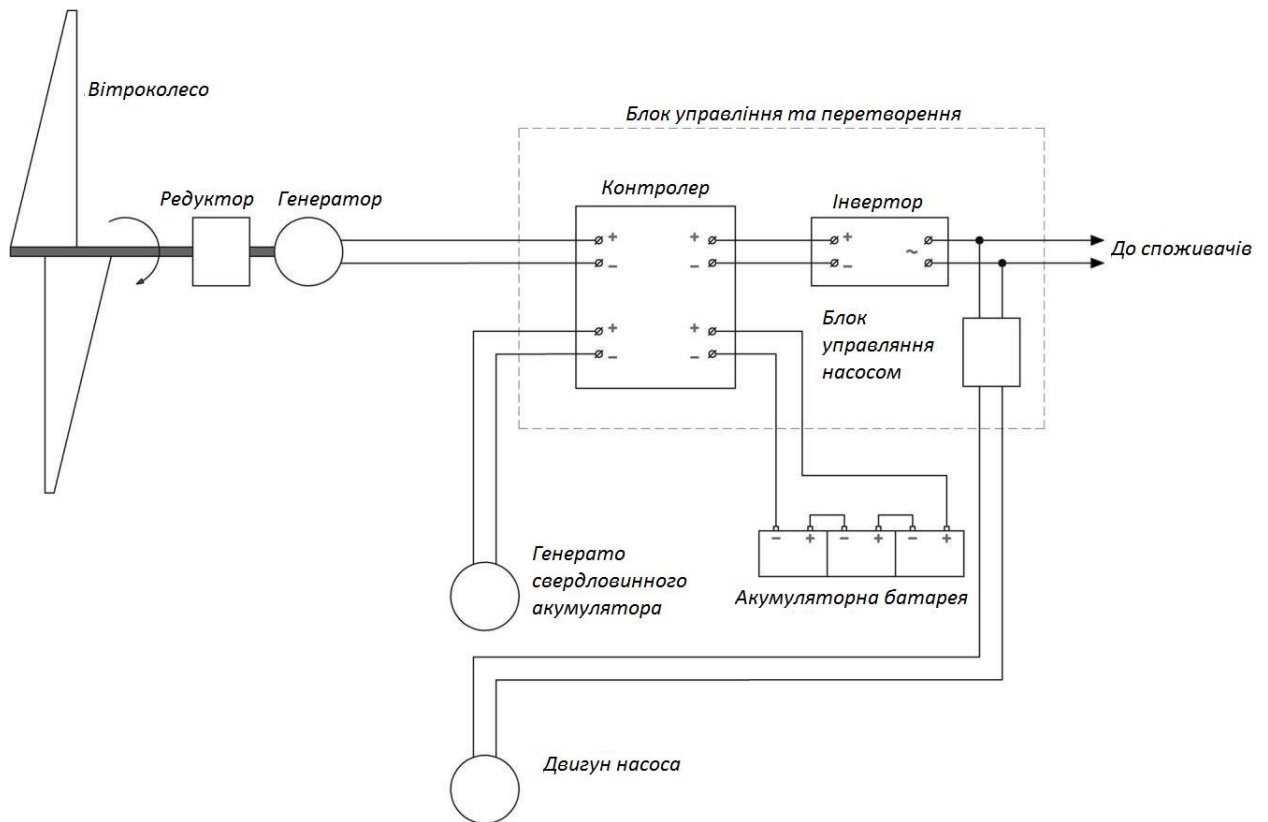


Рисунок 2.7 - Схема електричних з'єднань

Таким чином, запропоновані схеми дозволяють частково або повністю виключити застосування електрохімічних джерел енергії в якості акумуляторів, шляхом їх заміни або доповнення свердловинним акумулятором енергії, при цьому, не знижуючи рівень надійності системи. Параметри акумуляторів залежать від умов роботи автономної вітроелектростанції.

## 2.2 Аналіз умов роботи автономних вітроелектростанцій

Для ефективного і надійного електропостачання віддалених сільськогосподарських об'єктів від автономної генеруючої системи на основі вітроенергетичної установки необхідно досліджувати умови роботи такої

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

системи. В першу чергу потрібно вивчити графіки надходження і споживання електроенергії.

Раніше була запропонована класифікація малих автономних сільських споживачів [25]. Ця класифікація представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Класифікація автономних сільських споживачів електроенергії з побутової навантаженням

Група об'єктів електрифікації	Споживана потужність, кВт	Приблизний перелік об'єктів	Примітки
1. З низьким рівнем електрифікації	$P_{CP} \leq 0,2$ $P_{MAX} \leq 0,3$	Будинок рибалки, вівчарські точки, пасіки. Дачні ділянки	Працюють вахтовим методом. Відвідуються періодично
2. З середнім рівнем електрифікації	$P_{CP} \leq 0,4$ $P_{MAX} \leq 0,6$	Фермерські господарства, сезонно	Енергія потрібна сезонно
3. З високим рівнем електрифікації	$P_{CP} \geq 0,4$ $P_{MAX} \geq 1,0$	Заміські будинки, фермерські господарства, що працюють цілорічні	Енергія потрібна цілий рік

Очевидно, що застосування запропонованих схем електропостачання (рис. 2.5) найбільш доцільно для третьої групи об'єктів електрифікації. Це пов'язано з тим, що економічна і енергетична ефективність використання таких схем найбільш помітна при цілорічній потребі в електроенергії.

Для виявлення графіків навантаження різних автономних електрифікованих об'єктів існує методика [25], яка полягає в наступному:

- на підставі малої кількості дослідів (або невеликого числа експертів) визначаються значення потужності  $j$ -тих навантажень за  $i$ -тий інтервал часу доби, і будується усереднений графік навантаження;
- визначаються довірчі параметри розподілу навантаження (середнє значення і середнє стандартне відхилення потужності);
- порівнюються довірчі параметри з параметрами генеральної сукупності [26];
- змінюються значення навантаження в  $i$ -тий інтервал за правилом приведення однієї випадкової величини до іншої;
- будуються графіки навантаження, приведені до генеральної сукупності.

Дана методика дозволяє отримати типові графіки навантаження для різних автономних об'єктів сільськогосподарського виробництва, без проведення тривалих спостережень за споживанням електроенергії даними об'єктами. Таким чином, отримання графіків навантаження сільських автономних споживачів електроенергії не представляє проблем.

В автономних системах електропостачання на основі вітроенергетичної установки, потоки надходження електроенергії від генеруючого елемента є переривчастими, причому періодичність таких потоків досить низька і носить випадковий характер. Тому оцінка вітроенергопотенціалу місцевості, де передбачається установка вітроагрегату, є дуже важливим завданням, рішення якої допоможе створювати більш ефективні системи автономного електропостачання.

Короткий аналіз роботи вітроустановки [26] показав, що на параметри вітроагрегату найбільший вплив робить швидкість вітру. А для визначення параметрів акумулюючої системи необхідно мати інформацію про тривалість безперервних енергетичних (періоди зі швидкістю вітру більшою або рівною робочої швидкості) і акумуляторних (періоди зі швидкістю вітру менше робочої швидкості) періодів.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Визначити середньомісячні, середньосезонні і середньорічні швидкості вітру для різних районів можна використовуючи дані НАСА і спеціалізоване програмне забезпечення [27]. Однак, отримана інформація про середню швидкість вітру, відноситься до загальних кліматичними характеристиками для оцінки теоретичного вітроенергетичного потенціалу. Тривалість же безперервних енергетичних і акумуляторних періодів відноситься до групи кліматичних характеристик, які необхідні для оптимізації параметрів вітроенергетичної установки, тобто з їх допомогою можна оцінити реальні вітроенергетичні ресурси.

В метеорологічних довідниках дані про тривалість безперервних енергетичних і акумуляторних періодів не наводяться, однак у них інформація дозволяє визначити цікаві для нас параметри. Так в роботі [25] на основі статистичних даних Державних метеорологічних обсерваторій були отримані графіки розподілу неперервних енергетичних і акумуляторних періодів. Методика їх отримання включала в себе моделювання графіків за методом Монте-Карло. Це було пов'язано з тим, що була відсутня інформація про тривалість періодів з тією чи іншою швидкістю вітру. На сьогоднішній день у відкритому доступі знаходяться архіви погоди [28], що містять, в тому числі і інформацію про швидкість вітру за останні кілька років. Їх статистична обробка дозволить отримати графіки розподілу неперервних енергетичних і акумуляторних періодів, не використовуючи моделювання по методу Монте-Карло, так як ці архіви дають можливість визначити тривалості періодів з тією чи іншою швидкістю вітру.

Таким чином, використовуючи архів погоди, можна шляхом статистичної обробки отримати параметри законів розподілу неперервних енергетичних і акумуляторних періодів, а також статистичні характеристики цікавих для нас величин.

Безперервні енергетичні ( $t_E$ ) і акумуляторні ( $t_A$ ) періоди є випадковими величинами, тому має сенс говорити тільки про ймовірність тривалості цих

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

періодів. У загальному випадку ймовірності того, що тривалість енергетичного або акумуляторного періодів буде знаходитися всередині заданого інтервалу, залежать від закону розподілу цих величин [25].

Для визначення закону розподілу неперервних енергетичних і акумуляторних періодів вітру були отримані графіки вітру по місяцях, приклад такого графіка для травня 2012 р представлений на рис. 2.8. [29]

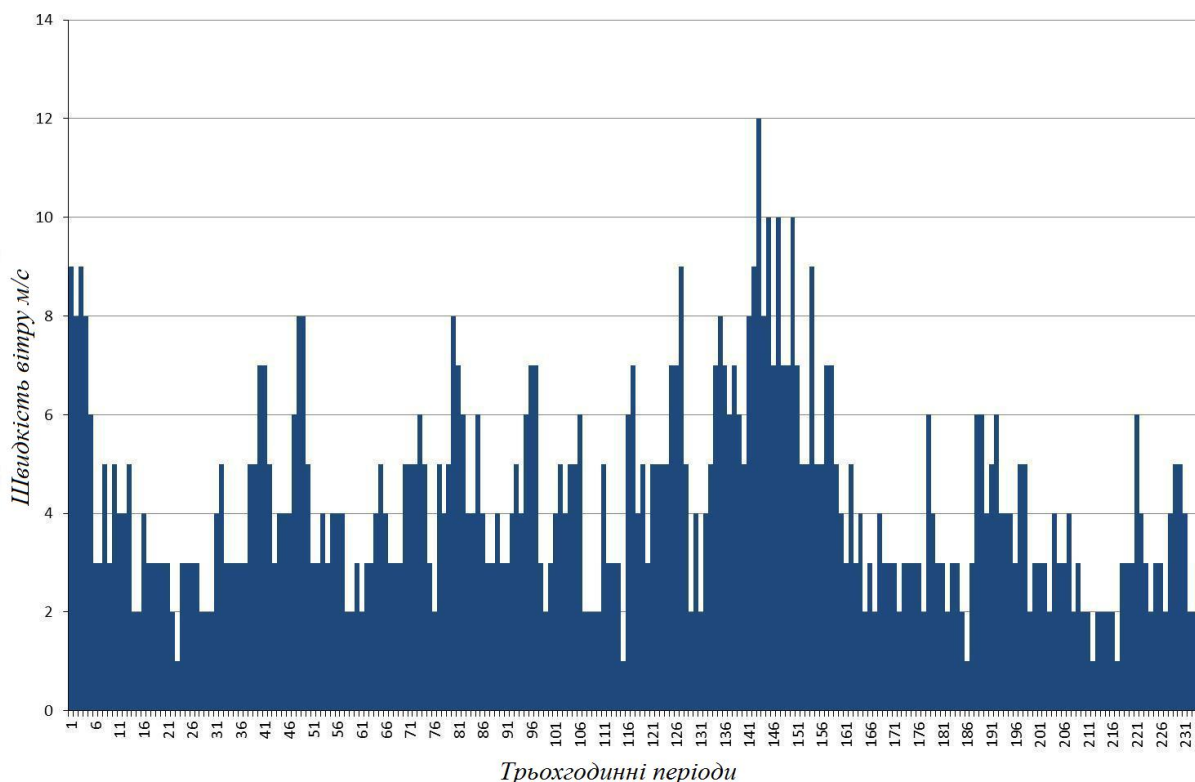


Рисунок 2.8 - Графік вітру для травня 2012 року

Кожному графіку відповідає набір даних про швидкість вітру, представлений у вигляді таблиці додатка Microsoft Office Excel (табл. 2.2). Обсяг отриманих таблиць виявився дуже великим, так як дані про швидкість вітру бралися за п'ятнадцять років. У зв'язку з цим виникла необхідність автоматизації обробки інформації, що міститься в цих таблицях. Для вирішення цієї проблеми були написані макроси на мові VBA (Visual Basic for Applications), які, працюючи за певними алгоритмами, дозволяють істотно скоротити час обробки даних.

Таблиця 2.2 - Дані про швидкість вітру в 2012 році (фрагмент)

Інтервали	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	грудень
Швидкість вітру м/с												
1	3	10	2	8	9	1	2	5	2	2	2	2
2	4	9	4	9	8	2	4	4	3	3	4	2
3	4	8	4	9	9	2	3	5	2	3	4	3
4	4	8	5	13	8	2	3	5	3	3	5	2
5	3	8	5	12	6	2	4	9	4	3	7	2
6	5	7	3	13	3	2	5	7	3	2	5	1
7	4	6	4	9	3	2	4	5	2	2	5	3
8	3	3	5	6	5	2	5	3	4	5	7	4
9	5	4	4	5	3	2	6	3	4	3	7	2
10	5	3	5	4	5	4	4	3	4	4	7	4
11	5	1	6	3	4	7	5	4	4	5	9	6
12	5	1	5	4	4	8	7	3	3	5	11	6
13	6	3	4	7	5	9	6	5	4	5	10	6
14	7	2	3	9	2	10	5	8	3	5	8	7
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

### 2.3 Висновки до розділу

1. Спосіб резервування вітроелектростанції – це одне з основних питань, які необхідно вирішити при виборі структурної схеми автономної системи електропостачання.

2. Запропонована схема вітроелектростанції з комбінованим акумуляторним резервом, що складається з батареї електрохімічних акумуляторів і свердловинного акумулятора енергії.

3. Розроблена схема електричних з'єднань для автономної вітроелектростанції.

4. Використовуючи архів погоди, можна шляхом статистичної обробки отримати параметри законів розподілу неперервних енергетичних і акумуляторних періодів. Безперервні енергетичні ( $t_E$ ) і акумуляторні ( $t_A$ ) періоди є випадковими величинами, тому має сенс говорити тільки про ймовірність тривалості цих періодів. У загальному випадку ймовірності того, що тривалість енергетичного або акумуляторного періодів буде знаходитися всередині заданого інтервалу, залежать від закону розподілу цих величин.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31



### 3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Оптимізація параметрів автономної вітроелектростанції з акумуляторним резервом

Критерієм оптимальності параметрів автономної системи електропостачання на основі вітроенергетичної установки з акумуляторним резервом найдоцільніше прийняти вартість даної системи [25], так як надійність її буде явно нижче надійності централізованого електропостачання. Таким чином, чим нижче вартість проєктованої системи, тим вище ймовірність її впровадження. При цьому надійність електропостачання повинна фіксуватися для всіх варіантів на договірному рівні.

Вартість вітроелектростанції з акумуляторним резервом, в основному, складається з вартості двох її елементів: вітроустановки і резервної акумуляуючої системи (акумуляторів). Ціни цих двох елементів знаходяться в певній залежності від робочої швидкості вітру проєктованої системи, так як при збільшенні робочої швидкості вітроустановки остання стає більш компактною, отже, її вартість зменшується, але при цьому збільшуються періоди з недостатньою для її роботи швидкістю вітру, що обумовлює збільшення ємності резервних акумуляторів і їх вартість. Таким чином, вартість вітроустановки і резервних акумуляторів знаходяться в протилежних залежностях від швидкості вітру, а загальна вартість автономної системи електропостачання описується екстремальною функцією.

За згаданою вище методикою [25] наводиться цільова функція вартості автономної системи, яка має вигляд:

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ</b>				
<i>Розробив</i>	<i>Олашин Е.І.</i>			<i>Літ.</i>				<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Коваль В.П.</i>							32	
<i>Консульт.</i>	<i>Коваль В.П.</i>			<i>гр.ЕТс-41, ФПТ, ТНТУ</i>					
<i>Н. Контр.</i>	<i>Вакуленко О.О.</i>								
<i>Зав каф.</i>	<i>Тарасенко М.Г.</i>								

$$S = N_P \left( 2k_B \frac{1 + \frac{t_A}{t_E \eta_A}}{\rho_v v_P^3 \eta_{BEC}} + k_A \frac{t_A}{U_H \eta_A} \right) \rightarrow \min, \quad (3.1)$$

де  $N_P$  – споживана потужність, Вт;

$k_B$  – питома вартість вітроустановки, грн/м<sup>2</sup>;

$t_E, t_A$  – тривалість енергетичного і акумуляторного періоду;

відповідно, год;

$\eta_A$  – ККД акумулятора, в.о. ;

$\eta_{BEC}$  – ККД вітроенергетичної установки, в.о. ;

$v_P$  – робоча швидкість вітру, м/с;

$k_A$  – питома вартість акумулятора, грн/А.год;

$U_H$  – номінальна для споживача напруга, В;

$\rho_v$  – густина повітря при вітрі, кг/м<sup>3</sup>.

Для реалізації представленої цільової функції необхідно знати, як залежать вартості вітроустановки і резервної акумуляуючої системи від робочої швидкості вітру. У виразі 3.1 цю залежність характеризують коефіцієнти  $k_B$  і  $k_A$ . Знаходження цих коефіцієнтів передбачає аналіз прайс-листів виробників акумуляторів і вітрогенераторів, побудова графіків залежності вартості цих елементів від їх визначальних параметрів (для акумуляторів – це їх ємність, а для вітрогенераторів – площа, ометаєма вітроколесом), апроксимацію отриманих графіків і, нарешті, визначення коефіцієнтів з використанням аналітичних виразів апроксимуючих кривих.

На рис. 3.1 – 3.3 представлені графіки залежності вартості найбільш популярних на сьогоднішній день свинцево-кислотних акумуляторів, абсорбованим електролітом (AGM) і гелеподібним електролітом (GEL), від їх ємності для роботи на 24 В. Як видно з рисунка, отримані криві добре апроксимуються прямими лініями, рівняння яких представлені на тому ж самому рисунку. Тангенс кута нахилу лінійної функції до осі абсцис і буде шуканим коефіцієнтом  $k_A$ .

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

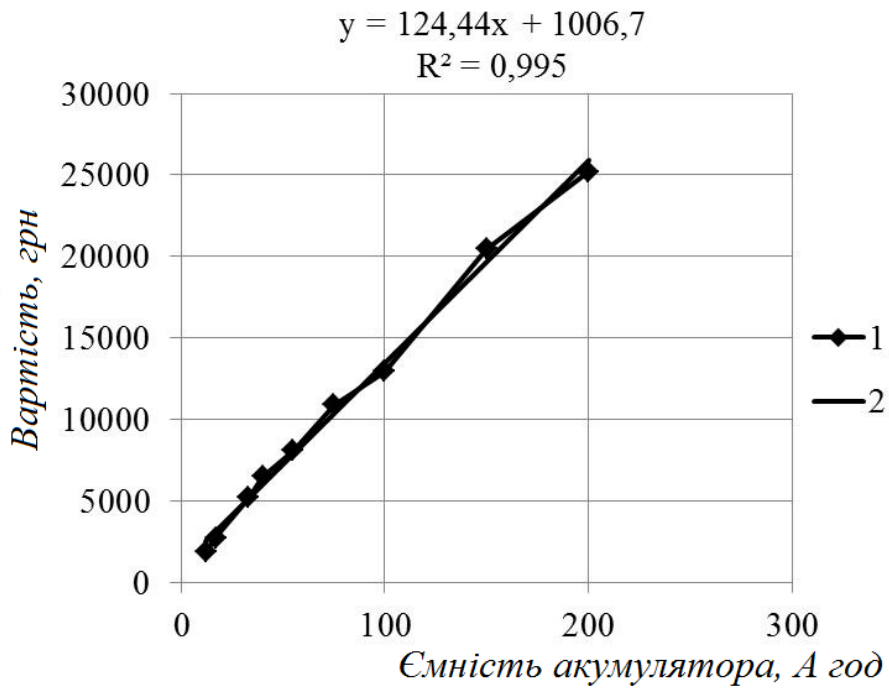


Рисунок 3.1 - Графік залежності вартості гелевих акумуляторних батарей серії GX12 виробництва Delta від їх ємності

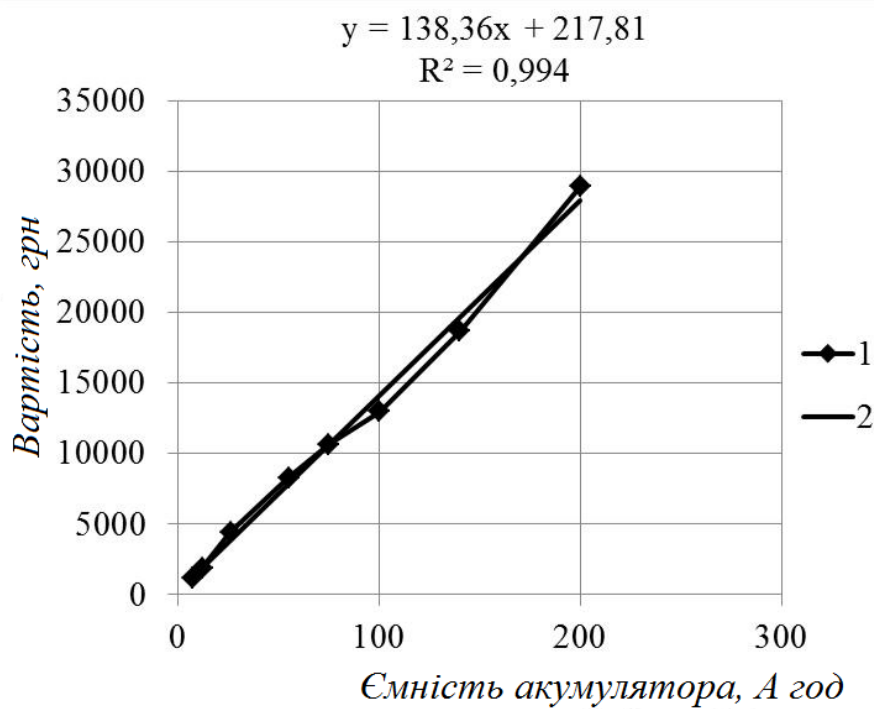


Рисунок 3.2 - Графік залежності вартості AGM акумуляторних батарей серії HRL12 виробництва Delta від їх ємності

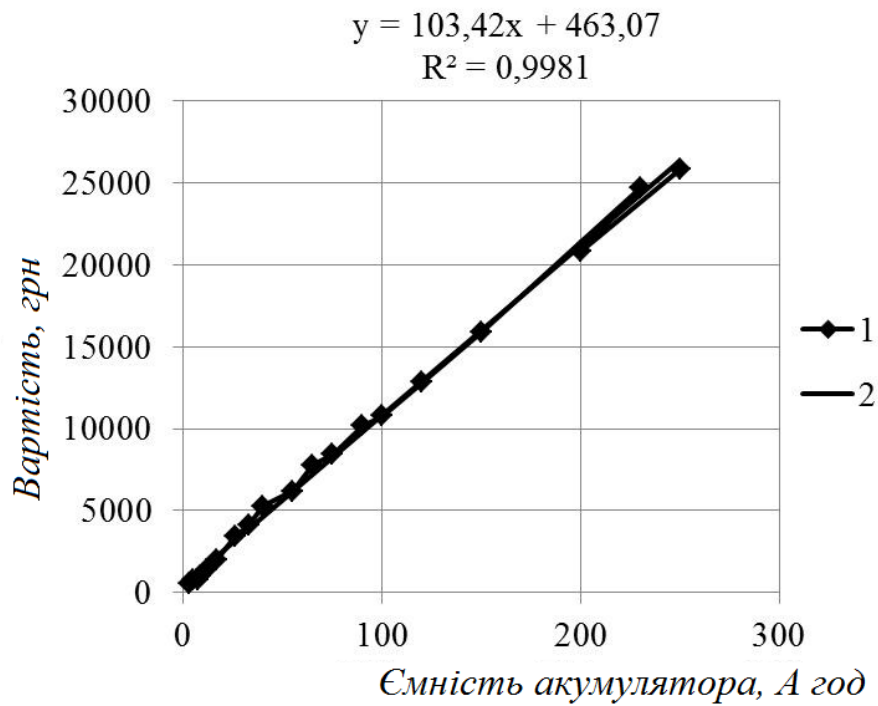


Рисунок 3.3 - Графік залежності вартості AGM акумуляторних батарей серії DTM12 виробництва Delta від їх ємності

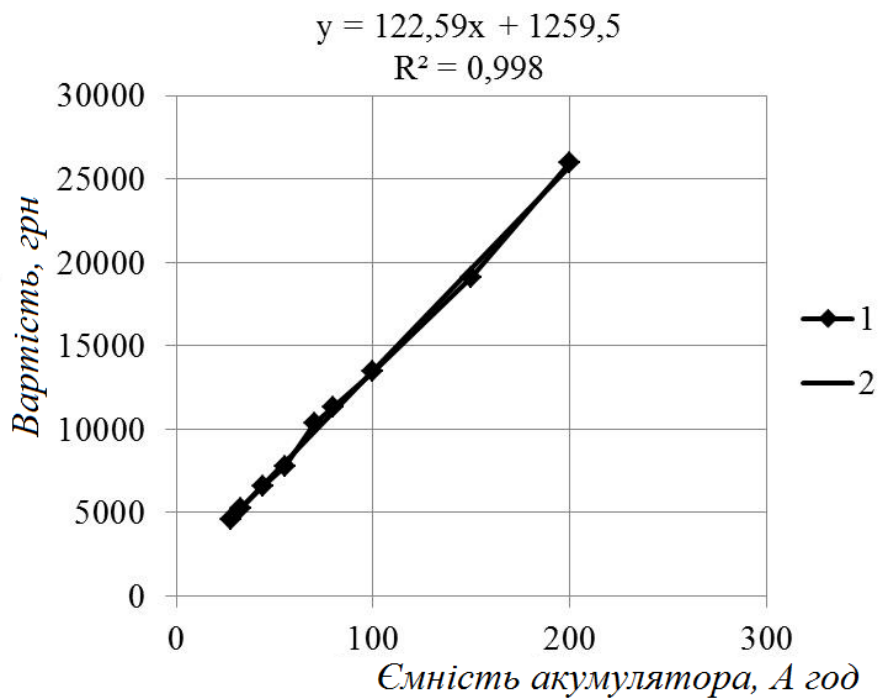


Рисунок 3.4 - Графік залежності вартості AGM акумуляторних батарей серії HZB12 виробництва Haze від їх ємності

Значення коефіцієнта  $k_A$  визначаються наступним чином:

$$k_A = \frac{S_{Amax} - S_{Amin}}{C_{Amax} - C_{Amin}}, \quad (3.2)$$

де  $S_{Amax}$ ,  $S_{Amin}$  – знайдені з використанням лінійної функції максимальна і мінімальна вартість акумулятора відповідно, грн;

$C_{Amax}$ ,  $C_{Amin}$  – максимальна і мінімальна ємності акумулятора, А.год.  
Значення коефіцієнта  $k_A$  для розглянутих типів акумуляторів представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 -Питомі вартості різних типів акумуляторів, з'єднаних послідовно на 24 В

Тип і серія акумулятора	Питома вартість $k_A$ , грн/А.год
Гелеві акумуляторні батареї серії GX12	124,4
AGM акумуляторні батареї серії HRL12	138,4
AGM акумуляторні батареї серії DTM12	103,4
AGM акумуляторні батареї серії HZB12	122,6

З таблиці 3.1 видно, що питомі вартості різних акумуляторів відрізняються один від одного на невелику величину.

Для знаходження коефіцієнта  $k_B$  були побудовані графіки залежності вартості вітрогенераторів від захопленої площі вітроколеса (рис. 3.5 – 3.7). Як і у випадку з акумуляторами, отримані криві добре апроксимуються прямими лініями. Таким чином, значення коефіцієнта  $k_B$  визначається з виразу:

$$k_B = \frac{S_{BVmax} - S_{BVmin}}{F_{BVmax} - F_{BVmin}}, \quad (3.3)$$

де  $S_{BVmax}$ ,  $S_{BVmin}$  – знайдені з використанням лінійної функції максимальна і мінімальна вартість вітроустановки відповідно, грн;

$F_{BYmax}$ ,  $F_{BYmin}$  – максимальна і мінімальна ометаєма поверхня вітроколеса,  $m^2$ .

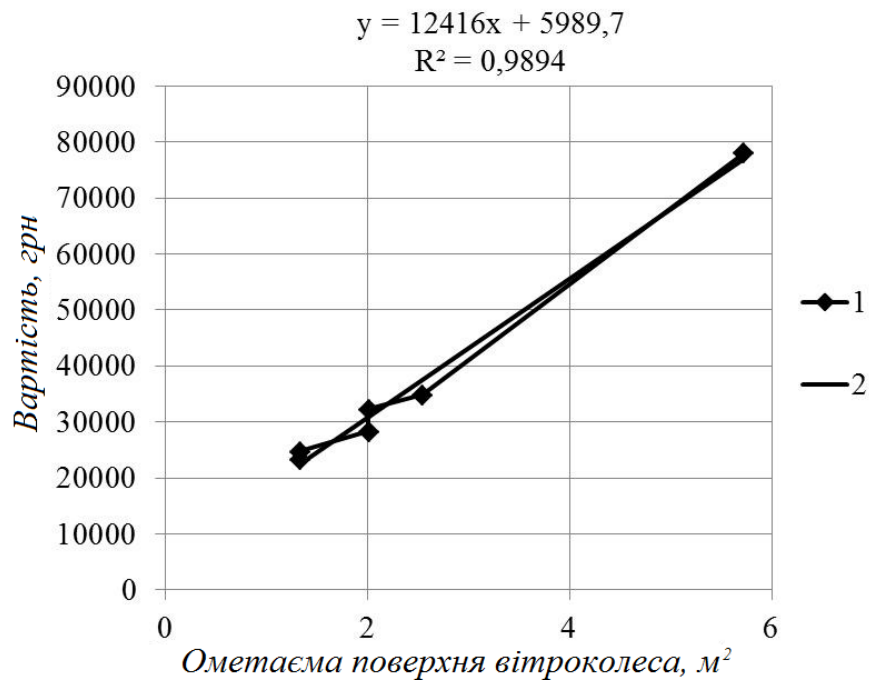


Рисунок 3.5 - Графік залежності вартості вітрогенераторів серії NE від ометаємої площі вітроколеса

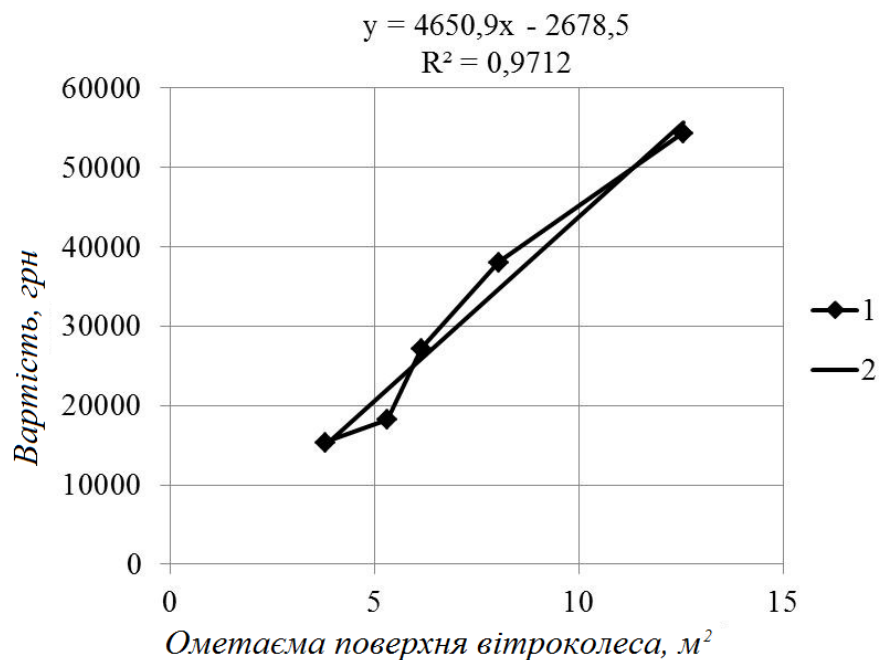


Рисунок 3.6 - Графік залежності вартості вітрогенераторів серії FD від ометаємої площі вітроколеса

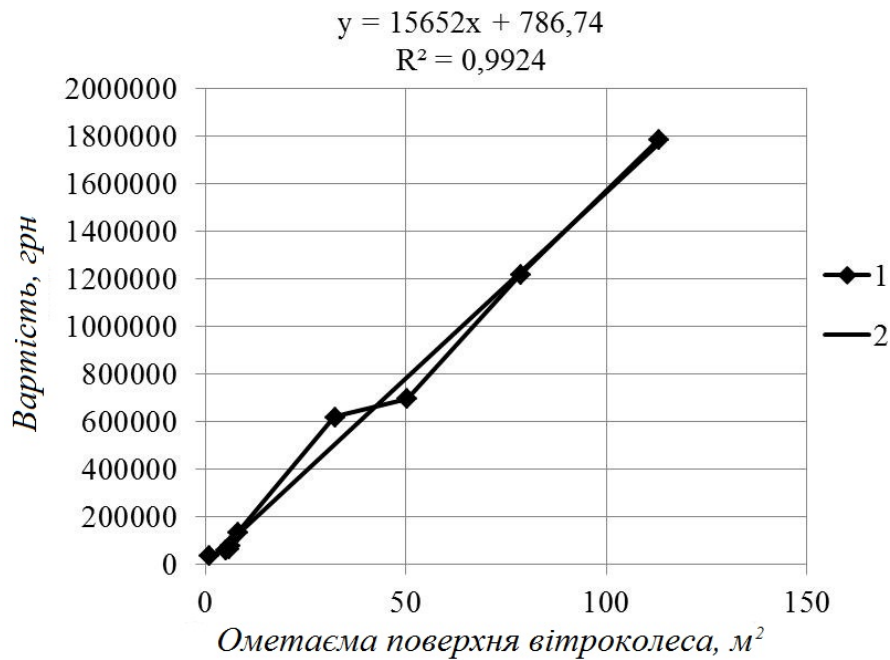


Рисунок 3.7 - Графік залежності вартості вітрогенераторів серії EuroWind (постачальник – ТОВ «Українська Альтернативна Енергетика») від ометаємої площі вітроколеса

Результати розрахунку коефіцієнтів для вітрогенераторів представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Питомі вартості різних типів вітрогенераторів

Серія вітрогенератора	Питома вартість $k_B$ , грн/м <sup>2</sup>
NE	12416
FD	4651
EuroWind	15652

З таблиці 3.2 видно, що питомі вартості різних типів вітрогенераторів значно відрізняються один від одного.

Для того щоб з'ясувати, як значення коефіцієнтів будуть впливати на вибір оптимальної робочої швидкості вітру, після отримання результатів за статистичною обробкою архіву погоди необхідно побудувати графік

залежності критерію оптимальності автономної системи електропостачання від робочої швидкості вітру, використовуючи цільову функцію (3.1).

Для запропонованої нами системи автономного електропостачання (рис. 3.6), цільова функція 3.1 приймає дещо інший вигляд. Крім вартості вітроустановки і вартості акумуляторних батарей, вона містить ще вартість свердловинного акумулятора енергії.

Так як більшість віддалених від ЛЕП сільськогосподарських об'єктів мають в своєму розпорядженні вже свердловину, то розглянемо цільову функцію, коли вартість свердловинного акумулятора пропорційна вартості обсадних труб, тобто глибині  $h$  і вартості гідроагрегату. Цільова функція в такому випадку прийме наступний вигляд:

$$S = N_P \left( 2k_B \frac{1 + \frac{(t_A - X)}{t_E \eta_A \eta_G}}{\rho_6 v_P^3 \eta_{BEC}} + k_A \frac{(t_A - X)}{U_H \eta_A} + k_H \frac{3600X}{mg \eta_G} + k_{GA} \right) \rightarrow \min, \quad (3.4)$$

де  $k_H$  – питома вартість труб, грн/м;

$k_{GA}$  – питома вартість гідроагрегату, грн/Вт;

$\eta_G$  – ККД свердловинного акумулятора, в.о. ;

$m$  – маса води, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$X$  – час роботи свердловинного акумулятора на навантаження, год.

Як видно з виразу 3.4, доданок  $k_{GA}$  не залежить від робочої швидкості вітру на відміну від інших складових, а, отже, може не враховуватися при визначенні оптимальної робочої швидкості вітру, на яку повинна бути розрахована вітроустановка. Коефіцієнт  $k_{GA}$  повинен враховуватися тільки при визначенні реальної вартості спорудження вітроелектростанції з акумуляторним резервом. Таким чином, виключаючи цей коефіцієнт з виразу 3.4 отримуємо цільову функцію:

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39



$$S = N_p \left( 2k_B \frac{1 + \frac{(t_A - X)}{t_E \eta_A \eta_\Gamma}}{\rho_e v_p^3 \eta_{BEC}} + k_A \frac{(t_A - X)}{U_H \eta_A} + k_H \frac{3600X}{mg \eta_\Gamma} \right) \rightarrow \min, \quad (3.5)$$

Реалізація даної цільової функції дозволить визначити оптимальну робочу швидкість вітру для автономної вітроелектростанції з комбінованим акумулюванням енергії.

### 3.2 Процес перетворення накопиченої в свердловинному акумуляторі енергії в електроенергію

Перетворення накопиченої в свердловинному акумуляторі енергії в електроенергію відбувається наступним чином: вода з накопичувального резервуара скидається в свердловину, потік води впливає на лопатки гідротурбіни гідроагрегату, яка в свою чергу обертає якор генератора постійного струму. Як відомо, електрорушійна сила якоря машини постійного струму пропорційна частоті обертання якоря і магнітного потоку збудження [30].

$$E_{я} = \Phi_z n \left( \frac{\pi D}{60} l N \frac{1}{S} \right), \quad (3.6)$$

де  $E_{я}$  – електрорушійна сила якоря машини постійного струму, В;

$\Phi_z$  – магнітний потік збудження, Вб;

$n$  – частота обертання якоря, об/хв;

$l$  – активна довжина провідника, м;

$S$  – перетин поверхні полюса, м<sup>2</sup>.

Величини, які знаходяться в дужках, визначаються конструкцією і є постійними для однієї і тієї ж машини, тому зазвичай замінюються

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

коефіцієнтом  $C_e$ . Таким чином, вираз для визначення електрорушійної сили якоря приймає вид:

$$E_{я} = \Phi_z n C_e. \quad (3.7)$$

У створеній фізичній моделі свердловинного акумулятора, як генератор, що входить до складу гідроагрегату, виступала машина постійного струму ДПМ25Н1 зі збудженням від постійних магнітів з наступними технічними характеристиками:  $U_H = 15\text{В}$ ,  $P_H = 1,28\text{Вт}$ .

Так як збудження в цій машині походить від постійних магнітів, то магнітний потік збудження є постійною величиною. Отже, електрорушійна сила якоря такої машини пропорційна тільки частоті обертання якоря.

$$E_{я} = n. \quad (3.8)$$

Якір генератора жорстко з'єднаний з гідротурбіною, обертання якої відбувається під дією потоку води. Відомо, що частота обертання гідротурбіни залежить від напору і витрати води. Витрата води обмежена дебітом свердловини і може бути визначена з виразу:

$$Q = v_e S, \quad (3.9)$$

де  $Q$  – витрата води,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$v_e$  – швидкість потоку води,  $\text{м}/\text{год}$ ;

$S$  – площа перетину через яке йде вода,  $\text{м}^2$ .

Витрата води в свердловині приблизно дорівнює дебету свердловини, і змінювати її можна тільки в сторону зменшення.

Напір у випадку зі свердловиною залежить від глибини установки гідроагрегату, чим нижче він встановлений, тим більше натиск, і відповідно більше частота обертання.

Таким чином, можна зробити припущення, що якщо знехтувати коливаннями дебету свердловини через зміну насиченості водоносного шару,

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

то частота обертання гідротурбіни, а значить і якоря машини постійного струму, повністю залежить від глибини установки гідроагрегату.

Це припущення передбачається перевірити шляхом зняття характеристик генератора, в тому числі і частоти обертання якоря (гідротурбіни), при різних глибинах установки.

### 3.3 Опис експериментальної установки

Для експериментальних досліджень характеристик свердловинного акумулятора енергії використовувалася створена фізична модель. Перелік обладнання експериментальної установки представлений в таблиці 3.3, а перелік вимірювальних приладів – в таблиці 3.4. Схема підключення вимірювальних приладів зображена на рис. 3.8.

Таблиця 3.3 - Перелік обладнання експериментальної установки

Найменування обладнання	Функціональне призначення
Пластикова ємність для води, 100 л	Імітація накопичувального резервуара
Каналізаційні труби з розтрубами і відводи для них	Імітація свердловини (обсадних труб свердловини)
З'єднання сталеве Ду25 (1 ")	З'єднання пластикової ємності з каналізаційними трубами
Крани кульові	Вкл./вик. подачі води
Машина постійного струму ДПМ25Н1	Імітація генератора постійного струму
Пропелер від кулера Gembird D50BM12AS	Імітація радіальноосевої гідротурбіни
Магазин опору вимірювальний	Імітація електричного навантаження

Таблиця 3.4 - Перелік використовуваних вимірювальних приладів

Найменування	Тип	Кількість	Характеристика
амперметр	M104	1	0 ... 30 А, точність $\pm 0,5\%$
вольтметр	M1106	1	0 ... 750 В, точність $\pm 0,2\%$

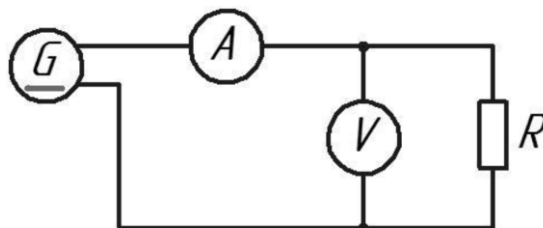


Рисунок 3.8. Схема підключення вимірювальних приладів

На рис. 3.9,а зображений модуль, що імітує роботу гідроагрегату.

На рис. 3.9, б зображено підключення вимірювальних приладів.



а) модуль, що імітує роботу гідроагрегату



б) вимірювальні прилади

Рисунок 3.9 - Експериментальна установка

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

### 3.4 Методика проведення експериментальних досліджень

Теоретично, кількість збереженої енергії в свердловину акумуляторі енергії прямо пропорційно глибині установки гідроагрегату і об'ємом води в накопичувальній ємності:

$$E = \rho_B Vgh, \quad (3.10)$$

де  $E$  – кількість збереженої енергії, Дж;

$\rho_B$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм збереженої води, м<sup>3</sup>;

$h$  – глибина установки гідроагрегату, м.

Таким чином, змінюючи ці два параметри можна отримати свердловинний акумулятор з необхідними характеристиками. Тому досліджувати режими роботи гідроагрегату необхідно було при різній глибині установки.

Кількість одержуваної електроенергії при розрядці акумулятора менша теоретично запасеної і визначається коефіцієнтом корисної дії гідроагрегату.

Дослідження режимів роботи гідроагрегату в створеній фізичній моделі здійснювалося на кожній з глибин установки наступним чином. Спочатку водою заповнювався накопичувальний резервуар, і підключалися вимірювальні прилади відповідно до схеми (рис. 3.8). Потім, за допомогою відкриття кульового крана, розташованого в нижній частині установки, що імітує свердловину, проводився пуск установки. При цьому під впливом потоку води генератор, що входить до складу гідроагрегату, починав виробляти електроенергію.

Електроенергія, що виробляється надходила на магазин опорів, що імітує реальне електричне навантаження. Значення опору встановлювалося

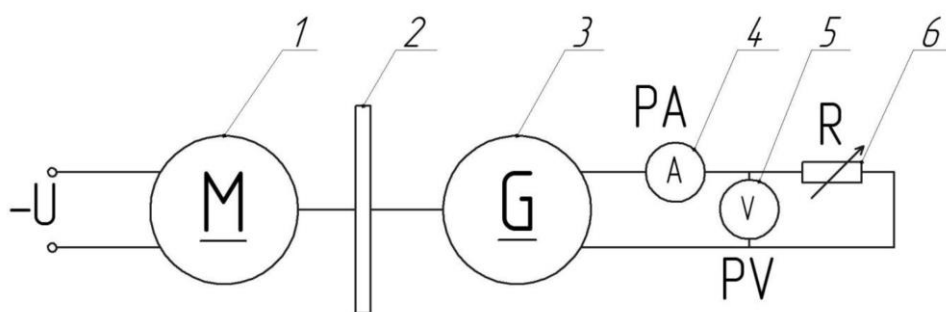
					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

від 10 до 150 Ом з кроком 10 Ом. Також були виміряні значення струму і напруги в режимах холостого ходу і короткого замикання.

Повторність зняття даних визначалася відповідно до рекомендацій [29].

Для отримання характеристик генератора, використовуваного в моделі, була зібрана установка (рис. 3.10), що дозволяє регулювати частоту обертання валу генератора, тим самим регулюючи його вихідні параметри.

Вали двигуна і генератора жорстко пов'язані між собою і з диском, що дозволяє визначити частоту обертання за допомогою лазерного тахометра. Регулювання величини напруги на затискачах двигуна постійного струму дозволяє регулювати частоту обертання якоря генератора, а, отже, і вихідні характеристики генератора.



1 – двигун постійного струму; 2 – допоміжний диск для визначення частоти обертання; 3 – генератор постійного струму; 4 – амперметр; 5 – вольтметр; 6 – магазин опорів

Рисунок 3.10 - Схема установки для отримання характеристик генератора

### 3.5 Обробка експериментальних даних

Обробка експериментальних даних, отриманих в ході проведення наукових досліджень, згідно з програмою зводилася: до виявлення середніх значень виміряних величин за п'ятикратними випробуваннями; до визначення промахів за правилом  $3\sigma$ ; до перевірки відтворюваності

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

експерименту за критерієм Кохрена; до складання регресійних рівнянь і перевірка значущості регресійної моделі за критерієм Фішера.

Перевірка відтворюваності експерименту за критерієм Кохрена проводиться за наступною методикою [31]:

1. Для перевірки проводиться серія паралельних дослідів.
2. Для кожної серії дослідів обчислюється середнє арифметичне значення вимірюваної величини за формулою:

$$\bar{y}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_{ij} \quad (j=1,2,\dots,N) \quad (3.11)$$

де  $k$  – кількість паралельних дослідів;

$N$  – кількість вимірювань в одній серії дослідів.

3. Потім обчислюється оцінка дисперсії для кожної серії паралельних дослідів:

$$s_j^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (y_{ij} - \bar{y}_j)^2 \quad (3.12)$$

4. Знаходиться розрахункове значення критерію Кохрена, як відношення найбільшої з оцінок дисперсій до суми всіх оцінок дисперсій:

$$C_p = \frac{\max s_j^2}{\sum_{j=1}^N s_j^2} \quad (3.13)$$

5. Розрахункове значення критерію Кохрена  $C_p$  порівнюється з табличним  $C$ . Якщо виконується умова  $C_p < C$ , то досліді вважаються відтворюваними, а оцінки дисперсій однорідними. Щоб знайти табличне значення критерію Кохрена  $C_p$  потрібно знати загальну кількість оцінок дисперсій  $N$  і число ступенів свободи  $f$ , пов'язаних з кожною з них, причому  $f = k - 1$ .

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Для регресійної моделі Критерій Фішера показує, наскільки добре ця модель пояснює загальну дисперсію залежною змінною. Перевірка значимості регресійної моделі за критерієм Фішера проводиться відповідно до методики [32]:

1. Визначається число ступенів свободи пояснене дисперсії  $f_1$ , дорівнює кількості пояснюючих змінних.

2. Обчислюється число ступенів свободи непоясненої дисперсії  $f_2$ :

$$f_2 = N - k - 1, \quad (3.14)$$

де  $N$  – кількість експериментальних точок;

$k$  – кількість пояснюючих змінних.

3. Знаходиться табличне значення критерію Фішера, як число ступенів свободи  $f_1$  і  $f_2$  на обраному рівні значущості.

4. Обчислюється критерій Фішера:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{f_2}{f_1}, \quad (3.15)$$

де  $R$  – коефіцієнт кореляції.

5. Обчислення значення критерію Фішера порівнюється з табличним. У тому випадку, якщо знайдене значення критерію Фішера вище, ніж табличне, то пояснена дисперсія істотно більша, ніж можна було пояснити, і модель є значущою.

### 3.6 Результати статистичної обробки даних про швидкість вітру

Внаслідок виконання першого макросу (рис. 3.11) були отримані таблиці, в яких міститься інформація про тривалість енергетичних і акумуляторних періодів вітру для кожного року по місяцях. Наприклад, дані за 20016 рік для швидкості вітру 6 м/с представлені в таблиці 3.5. Повні

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



результати обробки, що відображають інформацію про енергетичні та акумуляторні періоди вітру в Тернопільській області за останні п'ятнадцять років, містяться у відповідних таблицях, які неможливо тут привести через їх великий розмір.

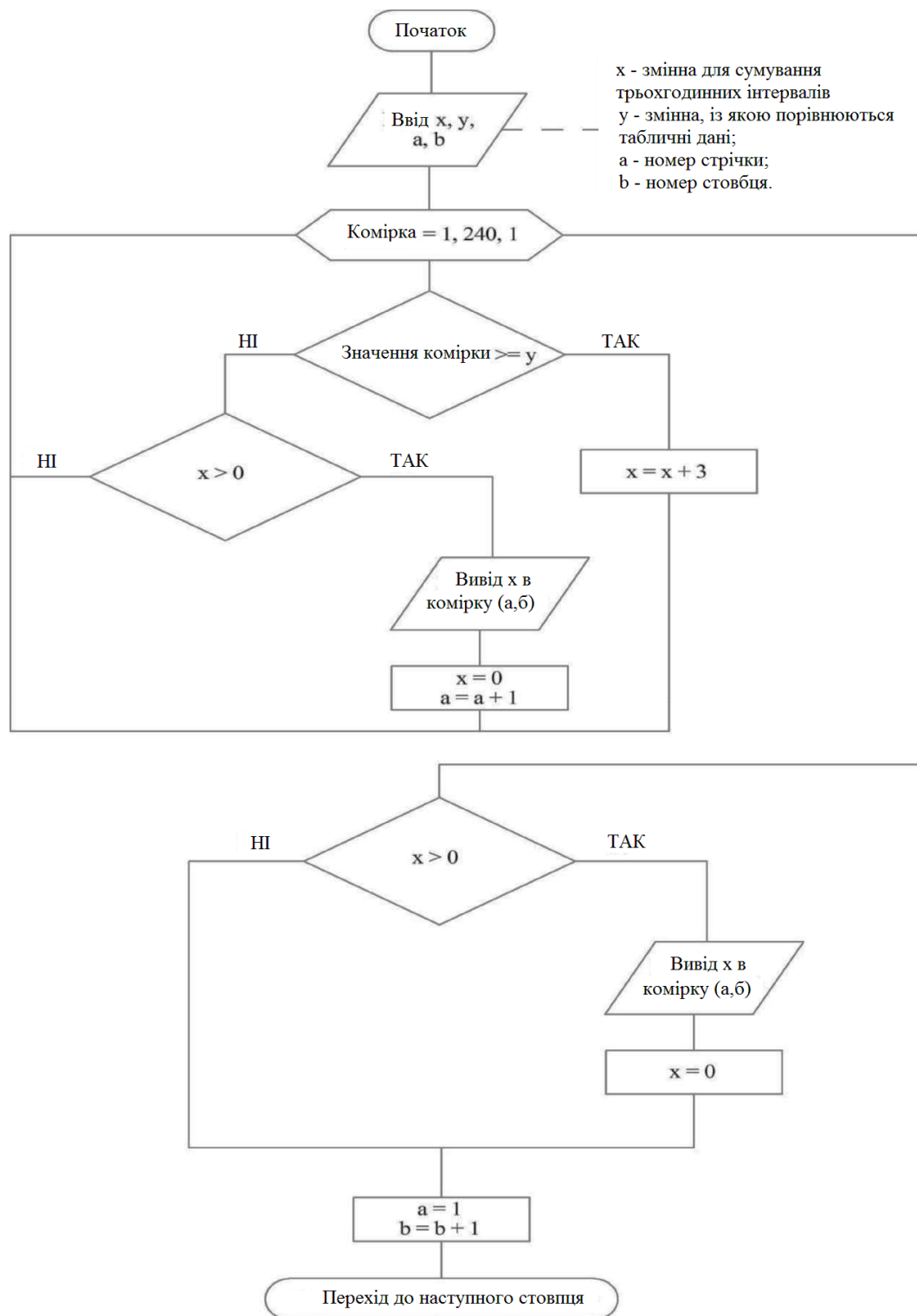


Рисунок 3.11 - Блок-схема алгоритму роботи макросу зі стовпцем таблиці даних

Таблиця 3.5 - Дані про тривалість періодів зі швидкістю вітру  $\geq 6$  м/с і  $< 6$  м/с в 2016 році

Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Тривалість періодів зі швидкістю вітру $\geq 6$ м/с, годин											
6	3	12	3	6	6	3	3	3	3	6	6
3	6	15	9	9	12	12	12	9	3	3	3
6		9		9	3	3	9	3	3	3	6
6		6		6	3	3	6	9		3	6
		12		15	15	3	3	9		6	39
		12		6	15	3	12	3		3	3
		18		3	3	3	6	3		3	15
		3		9	3	3	6	3		3	18
				3	6	6	9	3		6	6
				6	9	18	3	6		18	36
				9	6	3	15	6		3	
				9	6	3	3	3		9	
					3	3	3	6		3	
						6	3	57		3	
						6	6	18		3	
						6	3	6		9	
						3	12	3			
						6	6	21			
						3		9			
						9		3			

Продовження таблиці 3.5

Тривалість періодів зі швидкістю вітру <6 м/с, годин											
36	186	6	357	81	36	24	60	48	174	9	3
3	36	6	102	15	9	6	15	27	84	6	6
372	369	12	192	12	48	57	3	3	201	6	30
255		198		6	3	24	6	3	222	33	225
		21		3	93	21	72	12		6	66
		3		42	69	18	15	21		60	3
		6		3	66	3	12	195		12	117
		42		36	3	9	30	3		15	12
		312		153	84	18	3	3		12	18
				15	18	9	6	66		3	36
				90	12	9	27	18		63	30
				108	33	6	3	3		21	
				27	33	6	33	6		39	
					81	9	126	21		12	
						30	75	9		6	
						30	60	15		87	
						69	3	21		183	
						63	6	3			
						18	12	6			
						114		3			
						60		15			

Підготовка даних до роботи з другим макросом (рис. 3.12) включала в себе створення зведеної таблиці, в якій містилася інформація про тривалість енергетичних або акумуляторних періодів за всі п'ятнадцять років спостережень, для різних робочих швидкостей вітру (2, 4, 6, ... м/с ). В результаті виконання макросу були отримані дані про частоту появи

					КРБ 19-038.00.00.000ПЗ						Арк.
											50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

однакових за тривалістю безперервних енергетичних і акумуляторних періодів вітру (таблиця 3.6). Дані отримані у вигляді таблиць, які занадто великі, щоб привести їх тут повністю. Тому показаний тільки фрагмент однієї з таблиць.

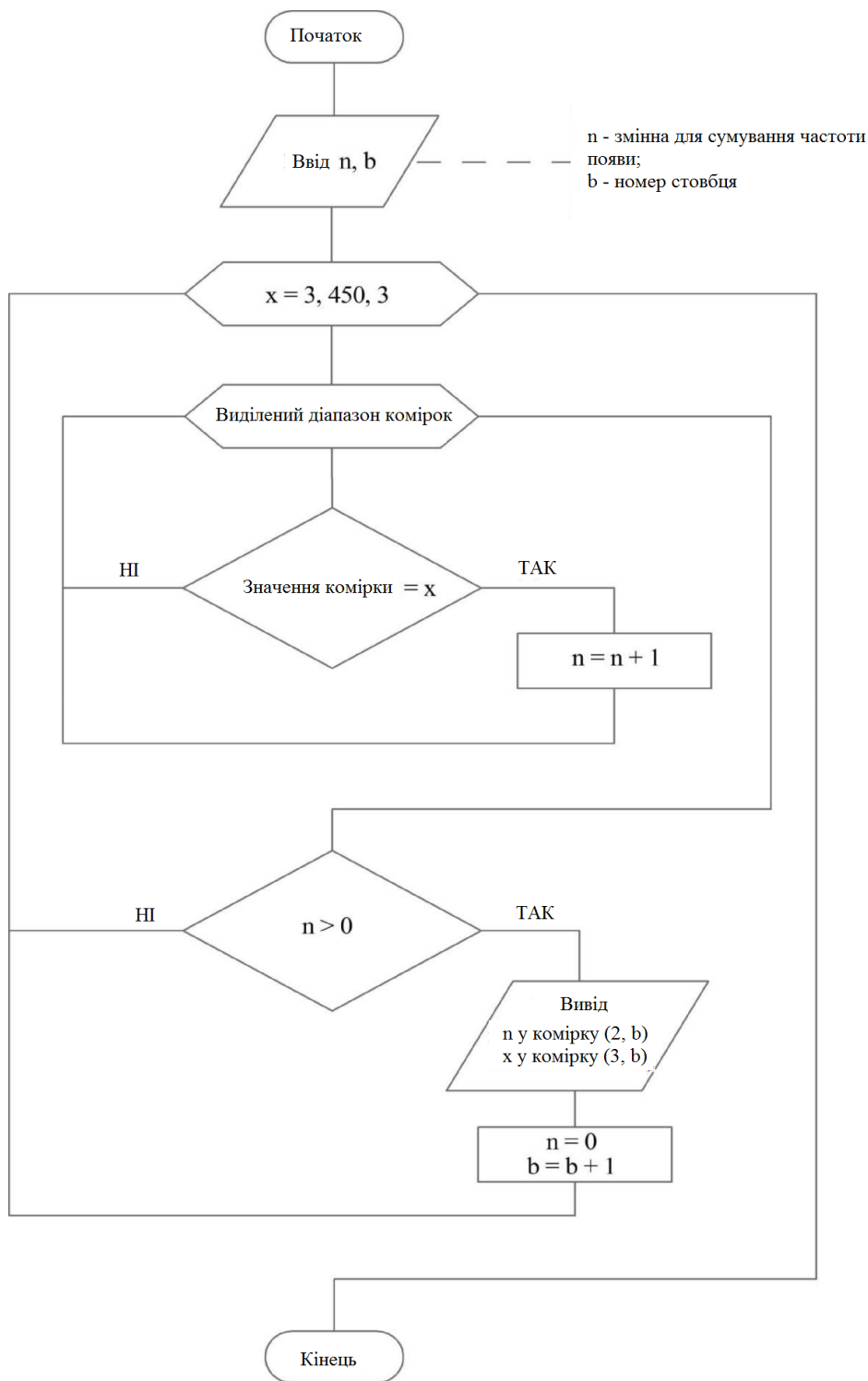


Рисунок 3.12 - Блок-схема алгоритму роботи макросу зі зведеною таблицею

Дані про частоту появи однакових за тривалістю енергетичних періодів  
(фрагмент)

Частота	781	421	338	322	178	138	120	...
Тривалість періоду з швидкістю вітру $\geq 2$ м/с	3	6	9	12	15	18	21	...
Частота	1168	542	389	282	155	141	98	...
Тривалість періоду з швидкістю вітру $\geq 4$ м/с	3	6	9	12	15	18	21	...
Частота	724	368	232	119	71	58	27	...
Тривалість періоду з швидкістю вітру $\geq 6$ м/с	3	6	9	12	15	18	21	...
Частота	341	178	100	43	38	23	18	...
Тривалість періоду з швидкістю вітру $\geq 8$ м/с	3	6	9	12	15	18	21	...

На підставі отриманих даних були побудовані графіки частоти безперервних енергетичних і акумуляторних періодів, приклади яких наведені на рис. 3.13 і 3.14. Аналіз і обробка отриманих графіків дозволили встановити, що найбільш точно дані випадкові величини описуються статичним законом розподілу.

Алгебраїчні вирази законів розподілу енергетичних і акумуляторних періодів, а також коефіцієнти детермінації для різних робочих швидкостей вітру представлені в таблиці 3.7.

З огляду на імовірнісний характер енергетичних і акумуляторних періодів, необхідні їх статистичні параметри. Так як математичні сподівання енергетичного і акумуляторного періодів визначаються робочою швидкістю вітру, то для кожної обраної або заданої швидкості вони матимуть певні значення. Отримані графіки функції зміни математичного сподівання цих величин представлені на рис. 3.15 і 3.16.

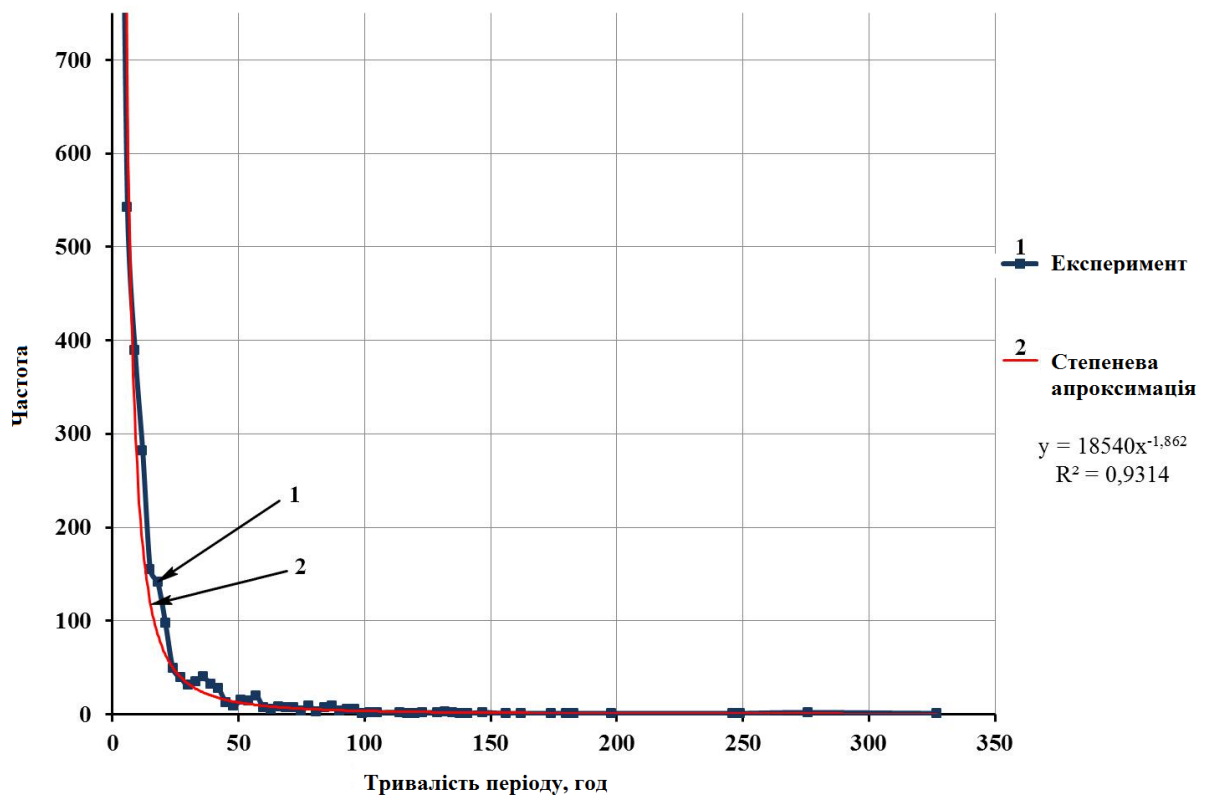


Рисунок 3.13 - Розподіл періодів зі швидкістю вітру  $\geq 4$  м/с

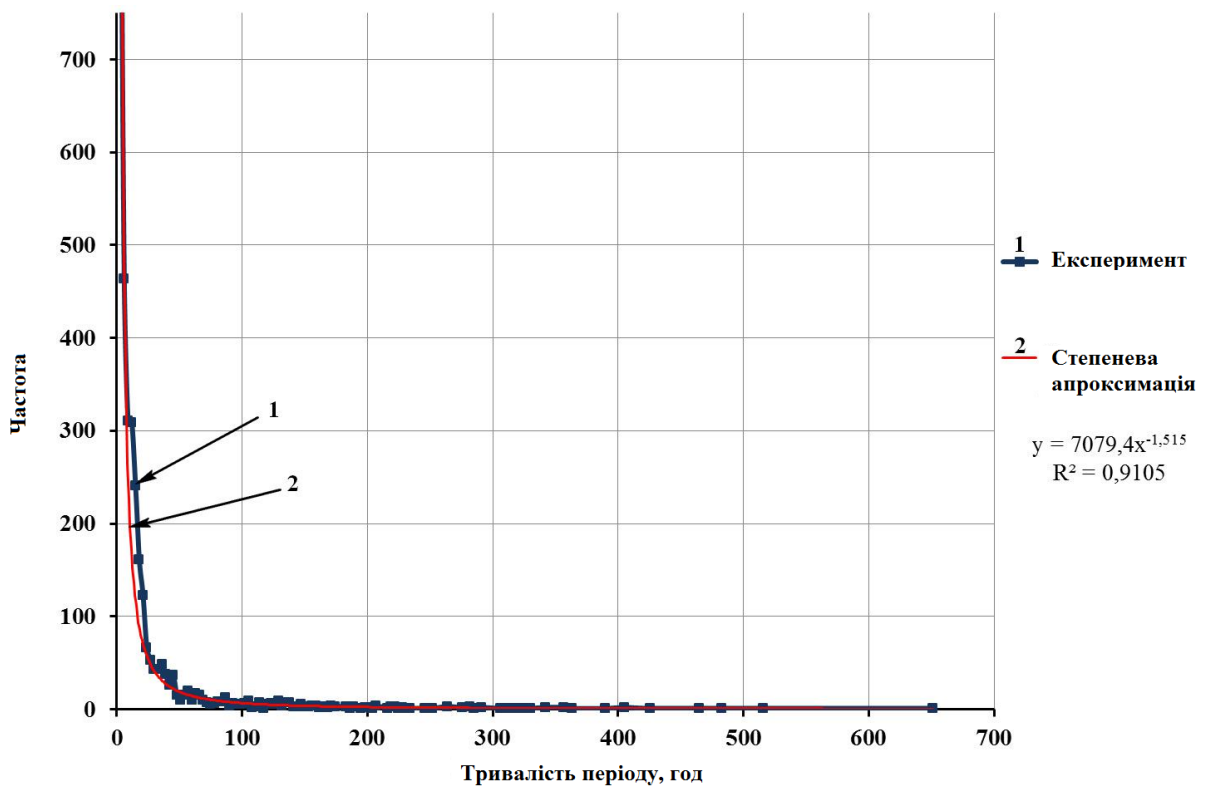


Рисунок 3.14 - Розподіл періодів зі швидкістю вітру  $< 4$  м/с

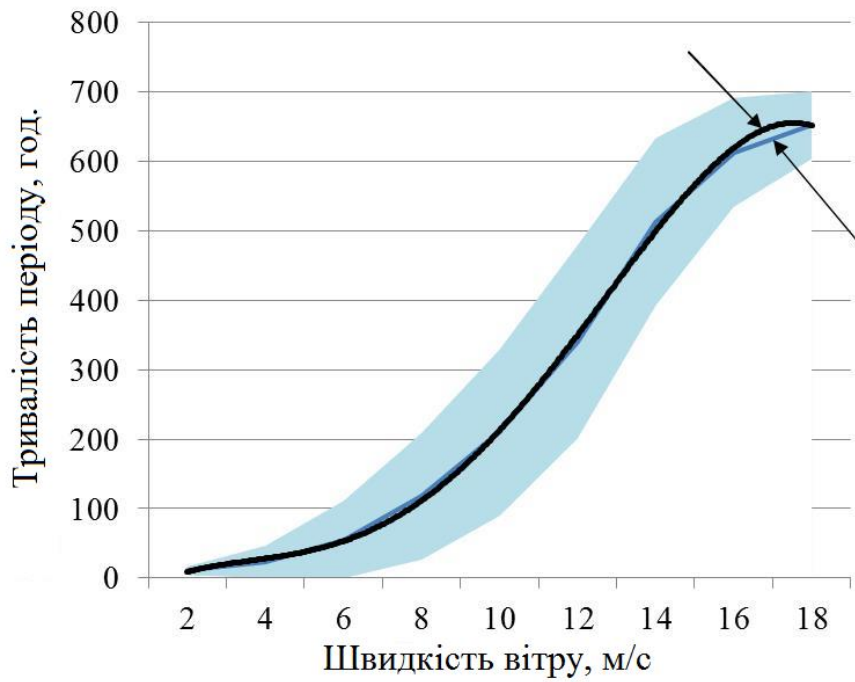
Таблиця 3.7

Алгебраїчні вирази законів розподілу енергетичних і акумуляторних періодів

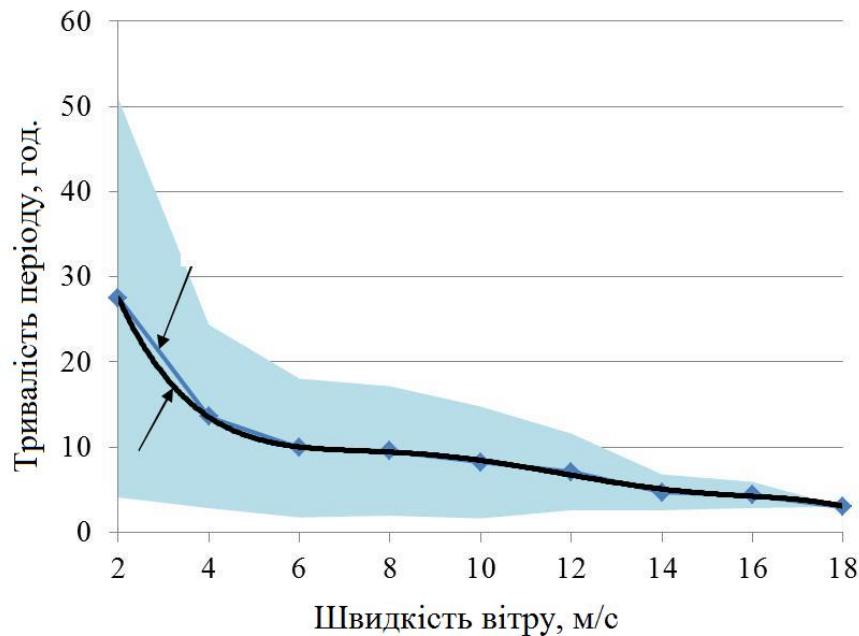
Робоча швидкість вітру, м/с	Математичний вираз закону розподілу	Коефіцієнт кореляції, $R$	Коефіцієнт детермінації, $R^2$	Фактичне значення F-критерію, $F$	Табличне значення F-критерію, $F_T$
Енергетичні періоди вітру					
2	$12932 \cdot x^{-1,625}$	0,959	0,920	1116,0	3,94
4	$18540 \cdot x^{-1,862}$	0,965	0,931	603,6	4,02
6	$5458 \cdot x^{-1,764}$	0,958	0,917	533,5	4,12
8	$1890,7 \cdot x^{-1,621}$	0,930	0,865	344,2	4,28
10	$765,37 \cdot x^{-1,555}$	0,946	0,895	116,9	4,41
12	$387,99 \cdot x^{-1,566}$	0,918	0,843	66,3	4,96
14	$262,86 \cdot x^{-1,959}$	0,965	0,932	69,8	7,71
Акумуляторні періоди вітру					
2	$45837 \cdot x^{-2,205}$	0,970	0,941	522,9	4,12
4	$7079,4 \cdot x^{-1,515}$	0,935	0,874	663,5	3,94
6	$1502,9 \cdot x^{-1,174}$	0,905	0,819	652,3	3,91
8	$229,38 \cdot x^{-0,822}$	0,903	0,675	309,4	3,90
10	$33,671 \cdot x^{-0,498}$	0,901	0,449	131,4	3,90

Для того щоб застосовувати отримані функції зміни математичного сподівання для оптимізації параметрів автономної системи електропостачання на основі вітроенергетичної установки з акумуляторним резервом, необхідно знайти аналітичні вирази даних залежностей.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54



1 – експериментальна залежність; 2 – поліноміальна апроксимація  
 Рисунок 3.15 - Залежність тривалості (математичного сподівання)  
 акумуляторного періоду



1 – експериментальна залежність; 2 – поліноміальна апроксимація  
 Рисунок 3.16 - Залежність тривалості (математичного сподівання)  
 енергетичного періоду



Тому графіки (рис. 3.15 і 3.16) були апроксимовані поліномами:

- для акумуляторного періоду

$$t_A = -47,717 - 0,0444 \cdot v^4 + 1,4513 \cdot v^3 - 12,213 \cdot v^2 + 47,459 \cdot v, \quad (3.16)$$

- для енергетичного періоду

$$t_E = 65,454 - 0,0004 \cdot v^5 + 0,0232 \cdot v^4 - 0,5197 \cdot v^3 + 5,5091 \cdot v^2 - 28,088 \cdot v \quad (3.17)$$

де  $t_A, t_E$  – математичне сподівання акумуляторного та енергетичного періоду відповідно.

Коефіцієнт детермінації для обох рівнянь не нижче 0,999. Ймовірність електропостачання на основі вітроелектростанції визначається ймовірністю того, що протягом періоду не менше  $t_E$  матиме місце вітер зі швидкістю не менше робочої, а швидкість вітру нижче робочої буде спостерігатися протягом періоду не більше  $t_A$ . Математично це можна записати в такий спосіб:

$$P(t) = P(t_E < t < T)P(0 < t < t_A) \quad (3.18)$$

де  $P(t)$  – ймовірність електропостачання на основі вітроелектростанції.

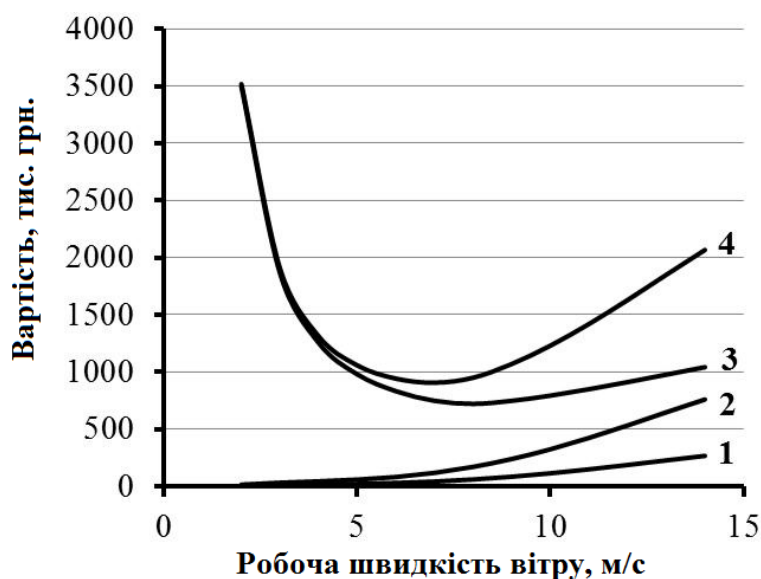
### 3.7 Реалізація цільової функції оптимізації параметрів вітроелектростанції з комбінованим акумулюванням енергії

Ставлячи вихідні дані і підставляючи вирази (3.16) і (3.17) в цільову функцію (3.5), можна визначити робочу швидкість вітроустановки, при якій вартість автономної системи електропостачання буде мінімальною.

Наприклад, задавшись наступними вихідними даними  $N_P = 1000$  Вт,  $k_B = 4651$  грн/м<sup>2</sup>,  $\eta_A = 0,85$ ,  $\eta_{BEC} = 0,4$ ,  $k_A = 124,4$  грн/А·год,  $U_H = 220$  В,  $X = 0,2 t_A$ ,  $k_H = 160$  грн/м,  $m = 5000$  кг,  $\eta_{\Gamma} = 0,7$  і використовуючи вирази (3.16) і (3.17),

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отримуємо графік залежності вартості автономної системи електропостачання від робочої швидкості вітру (рис. 3.17).



1 – вартість електрохімічного акумулятора; 2 – вартість свердловинного акумулятора; 3 – вартість вітроустановки; 4 – сумарна вартість.

Рисунок 3.17 - Графік залежності вартості автономної системи електропостачання від робочої швидкості вітру

Як видно з рис. 3.17 графік цільової функції має яскраво виражений мінімум, що підтверджує припущення, висунуте в теоретичних дослідженнях, і передбачає можливість оптимізації параметрів автономної сільської вітроелектростанції з акумуляторним резервом. Так, наприклад, при максимальній потужності навантаження 1 кВт і робочої швидкості 7 м/с, діаметр вітроколеса дорівнюватиме 4,5 м, ємність акумуляторних батарей 400 А·год, об'єм накопичувальної ємності 23 м<sup>3</sup>, потужність генератора гідроагрегату 300 Вт.

### 3.8 Частка свердловинного акумулятора в акумуляторному резерві

Якщо допустити, що витрата води при роботі свердловинного акумулятора залишається постійною, і підібрати (виготовити) гідроагрегат

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

таким чином, щоб при цій витраті води він би працював в номінальному режимі, то час його роботи визначається як:

$$t = \frac{V}{Q}, \text{ год} \quad (3.19)$$

де  $V$  – об'єм запасеної води,  $\text{м}^3$ ;  
 $Q$  – витрата води  $\text{м}^3/\text{год}$ .

Математичне сподівання часу роботи всієї акумулюючої системи  $t_A$  залежить від обраної робочої швидкості вітру і визначається відповідно до викладеної вище методикою.

Таким чином, час роботи свердловинного акумулятора в процентному співвідношенні визначається як:

$$\Delta = \frac{t}{t_A} 100\%, \quad (3.20)$$

або

$$\Delta = \frac{V}{Q \cdot t_A} 100\%. \quad (3.21)$$

На підставі цього виразу, задавшись витратою води, який для кожної свердловини індивідуальний, можна побудувати поверхню, яка відобразить який відсоток часу роботи акумулюючого резерву буде припадати на свердловини акумулятор, в залежності від швидкості вітру і обсягу запасеної води.

Так при середньому дебіті артезіанської свердловини  $5 \text{ м}^3/\text{год}$ . дана поверхня виглядає наступним чином (рис. 3.18).

З рис. 3.18 видно, що при витраті  $5 \text{ м}^3/\text{год}$ . зменшення частки електрохімічних акумуляторів в акумуляторному резерві автономної вітроелектростанції для тваринницьких комплексів за рахунок застосування свердловинного акумулятора енергії може реально досягати 45 %, в середньому цей показник знаходиться на рівні 15 %.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

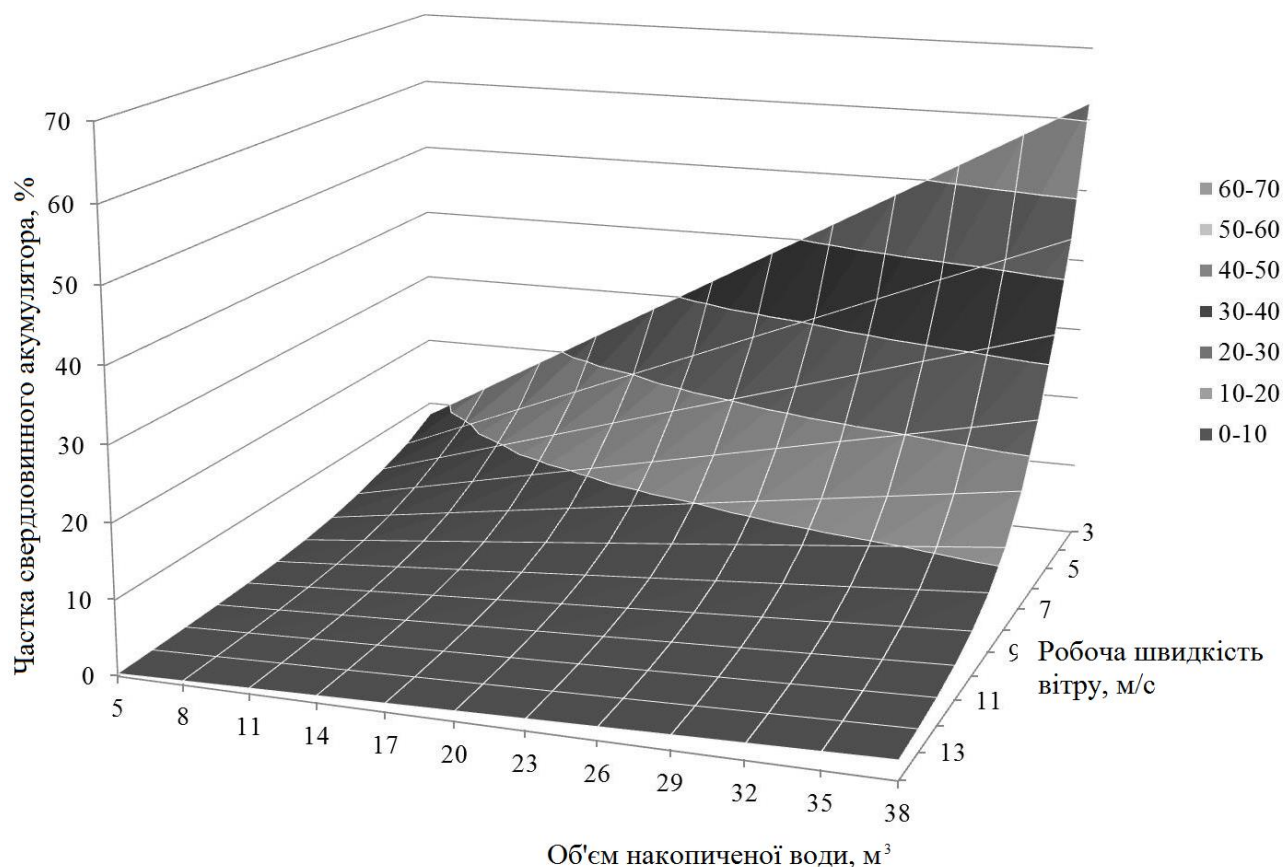


Рисунок 3.18 - Поверхня відгуку процентної частки свердловинного акумулятора в акумуляторному резерві в залежності від обсягу збереженої води і робочої швидкості вітру

### 3.9 Висновки до розділу

1. Визначено коефіцієнти пропорційності елементів автономної вітроелектростанції з акумуляторним резервом від їх характеристик (ємність електрохімічних акумуляторів, охоплювана площа вітроколеса, маса води) і уточнена цільова функція.

2. Встановлено, що безперервні енергетичні та акумуляторні періоди підкоряються степеневому закону розподілу з показником степеня, що залежить від швидкості вітру. Математичні сподівання цих періодів описуються поліномами п'ятого і четвертого степеня відповідно.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

3. Встановлено, що графік функції при спільному застосуванні свердловинного і електрохімічного акумуляторів зсувається не суттєво. Реалізація цільових функцій після отримання статистичних параметрів енергетичного і акумуляторного періодів підтвердила правильність теоретичних досліджень.

4. Теоретично встановлено, що для умов Тернопільської області оптимальна робоча швидкість вітру для автономної вітроелектростанції з акумуляторним резервом, що складається з батареї електрохімічних акумуляторів і свердловинного акумулятора енергії, знаходиться в діапазоні 6 – 8 м/с.

5. Потужність, що виробляється має максимум при певному значенні опору навантаження (для використовуваного генератора – це опір рівний 90 Ом), причому це значення опору не залежить від глибини установки гідроагрегату.

6. Зі збільшенням глибини установки збільшується частота обертання якоря, що призводить до збільшення потужності генератора аж до номінального значення.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Можливість виникнення статичної електрики та заходи боротьби з нею

Статична електрика - це процес утворення і розділення зарядів у просторі при контакті двох матеріалів, якщо хоча б один з них є діелектриком. Підвищений рівень статичної електрики відноситься до групи фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів [34].

Суть електризації заключається в тому, що діелектрики за певних умов стають електрично зарядженими. При цьому заряди не виникають і не зникають, а переходять з одного електризованого тіла на інше, накопичуються на поверхнях їх стикання чи переміщуються в межах одного й того ж тіла. Статична електрика може з'являтися на тілах і через індукцію, тобто через взаємодію на відстані. В основному виробництві харчової промисловості це можуть бути процеси помелу зерна, просіювання, транспортування трубопроводах борошна, процеси, пов'язані з приготуванням цукрової пудри, перевезенням чи транспортуванням по трубопроводах спирту, сухих дріжджів, розміщенням і фільтруванням рідин; технологічні процеси, пов'язані із застосуванням плоскопасових передач, транспортерів і т.д.

Якщо напруженість електричного поля перевищує електричну міцність середовища (повітря), то відбувається розряд статичної електрики. Основною причиною, що характеризує здатність різних матеріалів проводити струм, а також визначає їх здатність до електризації, є питомий електричний опір. Умовно прийнято, що при питомому електричному опорі речовин і матеріалів порядку менше 10 Ом·м заряди не накопичують і безпеки не являють. Якщо ж опір високий і велика швидкість відриву поверхні, то заряди зберігаються.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Олашин Е.І.</i>						61	
<i>Перевірів</i>	<i>Коваль В.П.</i>					<b>зр.ЕТс-41, ФПТ, ТНТУ</b>		
<i>Консульт.</i>	<i>Гурик О.Я.</i>							
<i>Н. Контр.</i>	<i>Вакулєнко О.О.</i>							
<i>Зав каф.</i>	<i>Тарасенко М.Г.</i>							

Величина зарядів визначається природою матеріалу і швидкістю розділення поверхонь, тобто інтенсивністю технологічного процесу.

Розряди статичної електрики являються одними з можливих імпульсів спалахування і вибухів в харчовій промисловості, що зв'язано, в першу чергу, із застосуванням сильно електризуючих речовин і матеріалів (горючі рідини, пил органічного походження). Електризація рідин приводить до спалахування і вибухів втричі частіше, ніж електризація дрібнодисперсних матеріалів, оскільки мінімальна енергія запалювання пилово-вітряних сумішей з 10...100 раз менше. При протіканні рідин величина заряду залежить від діелектричної сталої, її забрудненості, шорсткості стінок, швидкості протікання і діаметра труб.

Захист від статичної електрики та її небезпечних проявів повинен здійснюватись в двох напрямках: усунення електричних зарядів або зменшення їх до безпечних величин.

Апарати, машини, пристрої, які можуть стати джерелами виникнення зарядів статичної електрики, повинні бути заземлені не менше ніж у двох місцях незалежно від заземлення усього технологічного ланцюга.

Звичайні заземлюючі пристрої для захисту від розрядів статичної електрики об'єднують із заземлюючими пристроями для електрообладнання.

Заземлення повинно бути здійснене тільки паралельним приєднанням захисного обладнання. Допустимий опір заземленого пристрою для захисту від статичної електроенергії у вигляді малих струмів витрат допускається не більше 100 Ом.

Гнучкі трубопроводи для перекачування рідин, які здатні генерувати заряди (спирт, бензин, гас тощо), повинні мати металеве заземлене оплетення, а вихідні штуцери мають бути виконані із кольорових металів і з'єднані із заземленим металевим оплетенням.

Серед інших заходів, направлених на заземлення небезпечних проявів розрядів статичної електрики, слід відмітити такі, як заміна плоских пасів текстурними (клиновими); недопущення розприскування рідин при їх розливанні в ємності шляхом опущення завантажувальних труб на відстань не більше 0,2 м від днища приймальної посудини; зміна швидкості переміщення твердих і рідких матеріалів та ін.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

## 4.2 Фізичні основи електробезпеки

Величина струму, що проходить через тіло людини при її попаданні під напругу, в найбільшій мірі визначає тяжкість ураження. Для розробки технічних і організаційно-технічних заходів і засобів профілактики електротравм важливо знати, від яких конструктивних особливостей електроустановок, їх робочих параметрів і стану залежить можлива величина струму через людину при потраплянні під напругу. Крім того, важливо, щоб весь електротехнічний персонал, усі працівники, робота яких пов'язана з експлуатацією електроустановок, чітко розуміли, чим обумовлена, що є причиною тієї чи іншої вимоги з електробезпеки. Таке знання, розуміння вимог чинних нормативів з електробезпеки сприятиме дотриманню їх працівниками, і якраз розуміння цих вимог відрізняє працівників п'ятої групи з електробезпеки від четвертої, і є обов'язковою складовою їх професійної підготовки з питань безпеки [34].

У реальній електричній мережі (повітряній чи кабельній) опір ізоляції проводів відносно землі розподіляється по всій довжині мережі — опорні, підвісні, натяжні ізолятори, ізоляція кабелю. Чим більша протяжність мережі, тим більше ізоляторів, які працюють паралельно, і менший загальний опір ізоляції проводів відносно землі. Необхідний опір ізоляції регламентується чинними нормативами. На практиці ізоляція струмопроводів виконується з реальних діелектриків, питомий опір яких не дорівнює нескінченності. Внаслідок старіння ізоляції, її частого зволоження, забруднення, нагріву, дії агресивного середовища тощо, питомий опір ізоляції знижується. Тому кожна ділянка довжини проводу має опір ізоляції певного значення або провідність, яка відрізняється від нуля, а при роботі реальної мережі мають місце постійні втрати струму (виток струму) через ізоляцію і землю. Таким чином, незважаючи на наявність ізоляції, токопроводи електромережі електрично зв'язані між собою і землею провідниками (ізоляцію) з великим опором.

Відповідно до зазначеного вище, кожна ділянка довжини проводу електромережі, що знаходиться під напругою, крім опору ізоляції має певну ємність відносно землі. Тому при дотиці людини до неізольованої струмовідної

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ 19-038.00.00.000ПЗ

Арк.

63



частини (проводу тощо) функціонуючої електромережі струм через людину обумовлюється величиною напруги дотику і ємністю зазначеної вище системи. Ємнісна складова струму через людину при потраплянні під напругу в розгалужених мережах може досягати небезпечних для людини значень. Тому навіть при відключенні мережі від джерела живлення для ремонтно-профілактичних робіт тощо, необхідно заземлити кожен провід переносним заземленням і тільки після цього та перевірки відсутності напруги допускати персонал до роботи.

### 4.3 Зонування територій за ступенем небезпеки

З метою диференційованого підходу до планування запобіжних заходів здійснюється зонування територій країни, регіонів, міст і населених пунктів за територіями природного і техногенного ризиків.

Територія міста з урахуванням переважного функціонального призначення поділяється на селітебну, виробничу і ландшафтно-рекреаційну.

Селітебна територія має таке призначення: розміщення житлового фонду, громадських будівель і споруд (в т.ч. науково-дослідних комплексів), а також окремих комунальних і промислових об'єктів, які не вимагають утворення санітарно-захисних зон; будівництво шляхів міського сполучення, вулиць, площ, парків, бульварів та інших місць загального користування.

Виробничу територію призначено для розміщення промислових підприємств і пов'язаних з ними об'єктів, комплексів наукових установ з дослідними виробництвами, комунально-складських об'єктів, споруд зовнішнього та приміського транспорту.

Ландшафтно-рекреаційна територія включає міські ліси, лісопарки, лісозахисні зони, водойми, сільськогосподарські угіддя, які разом з парками і скверами селітебної території формують систему відкритого простору. Крім того, на територіях виділяються небезпечні зони.

Зона можливого небезпечного землетрусу – територія, в межах якої інтенсивність сейсмічного впливу становить сім і більше балів ( визначається за картами сейсмічного районування відповідно до ДБН).

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Зона вірогідного затоплення – територія, межі якої можуть бути вкриті водою внаслідок стихійного лиха або руйнування гідротехнічних споруд.

Зона вірогідного катастрофічного затоплення – територія, на якій можлива загибель людей, сільськогосподарських тварин і рослин пошкодження або знищення матеріальних цінностей ( в першу чергу будівель і споруд), а також збитки навколишньому середовищу.

Зона можливих небезпечних геологічних явищ – територія, у межах якої передбачається виникнення небезпечних геологічних явищ, що становлять загрозу життю і здоров'ю людей, завдають збитків економіці.

Зона можливого радіоактивного забруднення - територія або акваторія, на якій є можливим забруднення поверхні ґрунту, будівель і споруд, атмосфери, води. продуктів харчування радіоактивними речовинами, яке може викликати перевищення нижнього критичного значення доз опромінення населення.

Зона можливого хімічного зараження – територія. В межах якої внаслідок пошкодження або руйнування ємностей з хімічно небезпечними речовинами можливий викид в довкілля цих речовин в концентраціях або кількостях, які становлять загрозу для людей , тварин і рослин впродовж певного періоду.

Зона можливих руйнувань – територія міст. Інших населених пунктів і ОГ, на якій можливе виникнення надмірного тиску у фронті повітряної ударної хвилі, який складає 30 кПа і більше, а також сейсмічний вплив, що спричиняє руйнування будівель, споруд, комунікацій.

Зона можливого утворення завалів – частина зони можливих руйнувань, яка включає ділянки розташування будівель і споруд з прилеглою до них місцевістю, де слід очікувати обвалення будівельних конструкцій та утворення завалів.

Позаміська зона – територія, розташована за межами зон можливих руйнувань, можливого радіоактивного та хімічного забруднення, вірогідного катастрофічного затоплення, і може бути використана для евакуації населення.

Можливе часткове або повне накладання двох і більше зон можливої безпеки. На такі території запобіжні заходи проводяться від усіх видів небезпек відповідно до накладених зон.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що використання свердловинного акумулятора є ефективним те не збільшує вартість вітроелектростанції в цілому якщо його змонтовано на існуючій артезіанській свердловині для водопостачання.

2. Запропонована схема вітроелектростанції з комбінованим акумуляторним резервом, що складається з батареї електрохімічних акумуляторів і свердловинного акумулятора енергії.

3. Розроблена схема електричних з'єднань для автономної вітроелектростанції.

4. Встановлено, що при комбінованому використанні свердловинного акумулятора енергії та електрохімічних акумуляторів частка останніх може бути зменшена до 45 % при витраті води в свердловині 5 м<sup>3</sup>/год. В середньому цей показник знаходиться на рівні 15 %

5. Встановлено, що для умов Тернопільської області енергоефективна швидкість вітру вартості автономної вітроелектростанції з акумуляторним резервом становить 6 – 8 м/с. Ця швидкість визначається параметрами енергоустановки та вартістю автономної вітроелектростанції з батареєю електрохімічних акумуляторів і свердловинного акумулятора енергії.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Олашин Е.І.</i>			<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Коваль В.П.</i>					66	
<i>Консульт.</i>		<i>Коваль В.П.</i>				<b>гр.ЕТс-41, ФПТ, ТНТУ</b>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Вакуленко О.О.</i>						
<i>Зав каф.</i>		<i>Тарасенко М.Г.</i>						

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Амерханов, Р.А. Проектирование ветроэнергетических установок / Р.А. Амерханов, Б.Х. Драганов. – Краснодар, 2001. – 160 с.
2. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Схвалено. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071
3. Возобновляемые источники энергии в мире и в России [Электронный ре-сурс]. – URL: [www.reenfor.org/upload/files/77f24b05ec0fe4d2d44dbb6e666f1c7f.pdf](http://www.reenfor.org/upload/files/77f24b05ec0fe4d2d44dbb6e666f1c7f.pdf)
4. Григораш, О.В. Возобновляемые источники энергии: монография / О.В. Григораш, Ю.П. Степура, Р.А. Сулейманов, Е.А. Власенко, А.Г. Власов. – Под общ.ред. О.В. Григораш. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – 272 с.
5. Баскаков, А.П. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Учебное пособие. Ч.1. / А.П. Баскаков – Екатеринбург: ГОУ ВПО УПИ, 2004. – 86 с.
6. Писаревский, Ю.В. Проблемы создания энергетических установок преобразующих энергию возобновляемых источников. / Ю.В. Писаревский, С.В. Насонов, И.П. Майоршин // Высокие технологии энергосбережения. Труды международной школы-конференции. Воронеж – 2005. – с.132 – 133.
7. Плотников, Д.В. Перспективы использования ветроэнергетических установок в XXI веке / Д.В. Плотников, В.П. Харитонов // Энергосбережение. – 2001. – №1. с. 34-37.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>					
<i>Розробив</i>	<i>Олашин Е.І.</i>							<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Коваль В.П.</i>								67	
<i>Консульт.</i>	<i>Коваль В.П.</i>							<b>гр.ЕТс-41, ФПТ, ТНТУ</b>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Вакуленко О.О.</i>									
<i>Зав каф.</i>	<i>Тарасенко М.Г.</i>									

8. Пугачев, Р.В. Совершенствование методов расчета основных энергетиче-ских показателей и характеристик ветроэнергетики : автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.14.08 / Пугачев Роман Викторович – Москва, 2006. – 19 с.
9. Харитонов, В.П. Автономные ветроэнергетические установки / В.П. Хари-тонов. – М. ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.
10. Харитонов, В.П. Особенности развития ветроэнергетики / В.П. Харитонов. // Электроснабжение. – 2001. - №3. – с. 50-52.
11. Литвиненко, А.М. Ветроэнергетическая установка для районов с малой энер-гией ветра. / А.М. Литвиненко, А.В. Тикунов // Высокие технологии энерго-сбережения. Труды международной школы-конференции. Воронеж, 2005. – с.128 – 129.
12. Воронин, С.М. Работа ветроустановки при изменении направления ветра / С.М. Воронин, Л.В. Бабина // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – №1. с. 98-101.
13. Астахов, Ю.Н. Функциональные возможности накопителей электроэнергии в энергосистемах / Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, А.М. Иванов и др. // Элек-тричество. – 1983. – № 4. – с.3-7.
14. Борзенко, В.И. Водородное аккумулирование энергии ВИЭ для автономных систем энергообеспечения / В.И. Борзенко, Д.О. Дуников, С.П. Малышенко // Сборник материалов первого Международного форума "Возобновляемая энергетика: Пути повышения энергетической и экономической эффективно-сти". – М.: ОИВТ РАН, 2013. – с. 99-103.
15. Жданов, В.В. Высоковольтные накопители электрической энергии на базе литий-ионных аккумуляторов / В.В. Жданов, А.С. Рыкованов // Сборник ма-териалов первого Международного форума "Возобновляемая энергетика: Пути повышения энергетической и экономической эффективности". – М.: ОИВТ РАН, 2013. – с. 186-187.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

16. Деньщиков, К.К. Гибридный накопитель электроэнергии для ЕНЭС на базе аккумуляторов и суперконденсаторов / К.К. Деньщиков, А.З. Жук // Сборник материалов первого Международного форума "Возобновляемая энергетика: Пути повышения энергетической и экономической эффективности". – М.: ОИВТ РАН, 2013. – с. 140-143.
17. Груздев, А.И. Инновационные литий-ионные электрические накопители для энергоустановок, использующих возобновляемые источники энергии / А.И. Груздев // Сборник трудов российской конференции «Физико-химические проблемы возобновляемой энергетика». – СПб: Издательство Политехнического университета, 2013. – с. 262-263.
18. Колосницын, В.С. О роли электролита в литий-серных аккумуляторах / В.С. Колосницын, Е.В. Карасева, Е.В. Кузьмина, Л.В. Шеина, А.Л. Иванов, С.Э. Мочалов // Сборник трудов российской конференции «Физико-химические проблемы возобновляемой энергетика». – СПб: Издательство Политехнического университета, 2013. – с. 156-157.
19. Пат. 1707350 СССР F16F15/30 Супермаховик / Е.И. Салиева, В.И. Проценко В.Н. Егоров, М.Ю. Очан. – № 750159 ; заявл. 14.05.1986 ; опубл. 23.01.1992, Бюл. № 3. – 2с.
20. Накопители электрической энергии для их использования в энергоустановках на возобновляемых источниках энергии [Электронный ресурс]. – URL: [jiht.ru/study/courses/Курс\\_накопители.pdf](http://jiht.ru/study/courses/Курс_накопители.pdf)
21. Пат. 2328619 Российская Федерация F03B13 Способ жидкостного аккумуля-рования электроэнергии / Н.П. Буданов – № 2007127628/06 ; заявл. 19.07.2007 ; опубл. : 10.07.2008, Бюл. № 19. – 5с.
22. Пат. 2371638 Российская Федерация F24D15/04 F24H4/02 Скважинная система теплоснабжения с подземным теплогидроаккумулятированием / А.Д. Елисеев – № 2008111776/03 ; заявл. 27.03.2008 ; опубл. :

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

- 27.10.2009, Бюл. № 30. – 17с.
23. Пат. 2431015 Российская Федерация E02B9/00 F03B13/00 Деривационная скважинная гидроэлектростанция / В.В. Нескромных, Е.Н. Павлюкова, А.Д. Елисеев – № : 2010106101/21 ; заявл. 19.02.2010 ; опубл. : 10.10.2011, Бюл. № 28. – 29с.
24. Пат. 2373431 Российская Федерация F03G7/04 F03B13/00 Скважинная гидро-электростанция / А.Д. Елисеев – № 2007139652/06 ; заявл. 25.10.2007 ; опубл. : 20.11.2009, Бюл. № 32. – 25с.
25. Воронин, С.М. Формирование автономных систем электроснабжения сель- скохозяйственных объектов на возобновляемых источниках энергии: моно- графия / С.М. Воронин. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2010. – 304 с.
26. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. – М.: Сельэнергопроект, 1981.
27. Assessment of the capacity credit of wind power in Mexico / Juan Pablo Yáñez, Alexander Kunith, Roberto Chávez-Arroyo, Alejandro Romo-Perea, Oliver Probst // Renewable Energy. – 2014. – № 72. – p. 62–78.
28. Погода в 243 странах мира [Электронный ресурс]. – URL: <http://rp5.ru/> (дата звертання 10.05.2018).
29. Воронин, С.М. Обоснование рабочей скорости ветра для автономных ветро- электростанций / С.М. Воронин, И.В. Закиров, Ф.В. Закиров // Материали за X международна научна практична конференция «Научният потенциал на света – 2014», – 2014. – Том 6 – с. 72-77.
30. Проскуряков, В.С. Электротехника. Электрические машины постоянного тока Учебное пособие / В.С. Проскуряков, С.В. Соболев // Екатеринбург: ГОУ-ВПО УГТУ-УПИ, 2008. – 41 с.
31. Сидняев, Н.И. Введение в теорию планирования эксперимента / Н.И. Сид- няев, Н.Т. Вилисова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 463 с.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

32. Тьюки, Дж. Анализ результатов наблюдений / Дж. Тьюки. – М.: Мир, 1981. – 693 с.
33. Накопители электрической энергии для их использования в энергоустановках на возобновляемых источниках энергии [Электронный ресурс]. – URL: [jih.ru/study/courses/Курс\\_накопители.pdf](http://jih.ru/study/courses/Курс_накопители.pdf) (дата звернення 28.04.2018)
34. Купчик М.П., Гандзюк М.П , Степанец І Ф, Вендичанський В.Н., Литвиненко А.М., Іваненко. О. В. Основи охорони праці. - К.: Основа, 2000. - 416 с.

					<b>КРБ 19-038.00.00.000ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71